

ÍNDICE

5.2.5 -	Macrófitas aquáticas	1/40
5.2.5.1 -	Composição taxonômica	1/40
5.2.5.1.1 -	Riqueza taxonômica.....	2/40
5.2.5.1.2 -	Cobertura de macrófitas	3/40
5.2.5.1.3 -	Densidade numérica absoluta e relativa.....	4/40
5.2.5.1.4 -	Equitabilidade e diversidade específica	6/40
5.2.5.1.5 -	Biomassa absoluta e relativa	8/40
5.2.5.1.6 -	Dominância das populações de macrófitas	9/40
5.2.5.1.7 -	Diversidade beta e gama	10/40
5.2.5.1.8 -	Análises estatísticas.....	11/40
5.2.5.2 -	Composição química.....	25/40
5.2.5.2.1 -	Matéria orgânica, carbono orgânico total e teores de cinzas ...	26/40
5.2.5.2.2 -	Macronutrientes: sódio, potássio, cálcio e magnésio	29/40
5.2.5.2.3 -	Elementos-traço	32/40
5.2.5.3 -	Discussão	38/40

5.2.5 - Macrófitas aquáticas

5.2.5.1 - Composição taxonômica

A análise das comunidades de macrófitas aquáticas em julho de 2014, período de vazante, evidenciou uma composição taxonômica com poucas espécies, para as quais foram registrados sete táxons no total, pertencentes a seis diferentes famílias de plantas (Quadro 5.2.5-1). Todas as espécies identificadas já haviam sido identificadas nas campanhas passadas.

Quadro 5.2.5-1 - Composição taxonômica e riqueza total de macrófitas aquáticas no rio Madeira na área de influência da UHE Santo Antônio do rio Madeira, em julho de 2014. Não houve ocorrência de macrófitas nos tributários e no lago Cuniã nesta campanha.

Família	Gênero/Espécie
Araceae	
	<i>Pistia stratiotes</i>
Hydrocharitaceae	
	<i>Limnobium laevigatum</i>
Poaceae	
	<i>Paspalum repens</i>
Polygonaceae	
	<i>Polygonum hispidum</i>
Pontederiaceae	
	<i>Eichhornia crassipes</i>
	<i>Pontederia rotundifolia</i>
Salviniaceae	
	<i>Salvinia minima</i>
TOTAL	7

5.2.5.1.1 - Riqueza taxonômica

Rio Madeira

Nas estações do rio Madeira foram registradas 7 espécies ao todo, estando representadas as famílias Araceae, Hydrocharitaceae, Poaceae, Polygonaceae, Pontederiaceae e Salviniaceae em julho de 2014. Na Figura 5.2.5-1 observa-se que a família Pontederiaceae contribuiu com 30% para a riqueza total da comunidade de macrófitas no rio Madeira. Já as demais famílias contribuíram com 14% cada uma para a riqueza total.

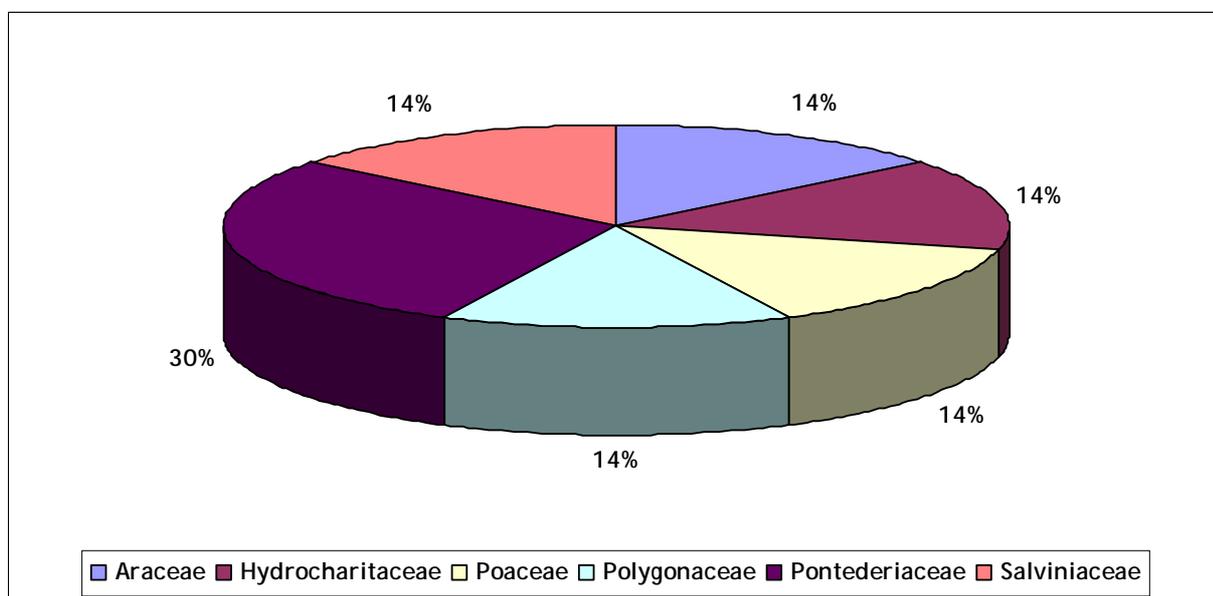


Figura 5.2.5-1 - Representatividade do número de táxons por família, expressa em porcentagem, na riqueza de macrófitas no rio Madeira, na área de influência da UHE Santo Antônio no rio Madeira, em julho de 2014.

O Quadro 5.2.5-2 apresenta a composição taxonômica de macrófitas nas estações do rio Madeira em julho de 2014. A estação MON.03 apresentou a maior riqueza, totalizando quatro táxons. A estação MON.02 veio logo em seguida, apresentando uma riqueza de três táxons e, por último, a estação MON.01 apresentou uma riqueza de um único táxon. Não foi registrado nenhum táxon para as estações MON.05, MON.04, JUS.01, JUS.02 e JUS.03.

Quadro 5.2.5-2 - Composição taxonômica (presença ou ausência) das macrófitas no rio Madeira em julho de 2014.

COMPOSIÇÃO TAXONÔMICA	MON.03	MON.02	MON.01
Araceae			
<i>Pistia stratiotes</i>	x		
Hydrocharitaceae			
<i>Limnobium laevigatum</i>	x		
Poaceae			
<i>Paspalum repens</i>		x	
Polygonaceae			
<i>Polygonum hispidum</i>		x	
Pontederiaceae			
<i>Eichhornia crassipes</i>	x	x	
<i>Pontederia rotundifolia</i>			X
Salviniaceae			
<i>Salvinia minima</i>	x		
TOTAL	4	3	1

Tributários

Não houve ocorrência de nenhum táxon de macrófitas nos tributários do rio Madeira na campanha de julho de 2014 referente ao período de vazante.

Lago Cuniã

Não houve ocorrência de nenhum táxon de macrófitas no lago Cuniã na campanha de julho de 2014 referente ao período de vazante.

5.2.5.1.2 - Cobertura de macrófitas

Os bancos de macrófitas com ocorrência nas diferentes estações amostradas na área de influência da UHE Santo Antônio do rio Madeira, para julho de 2014, estão apresentados no Quadro 5.2.5-3. A classificação quanto à dominância foi obtida com base na avaliação da extensão dos *stands* e identificação dos táxons, realizada visualmente.

Quadro 5.2.5-3 - Áreas dos bancos de macrófitas e respectivas espécies dominantes para cada estação de amostragem no rio Madeira, na área de influência da UHE Santo Antônio do rio Madeira em julho de 2014. Não houve ocorrência de macrófitas nos tributários e no Lago Cuniã nesta campanha.

Julho de 2014		
	Área do banco (m ²)	Dominância
Rio Madeira		
MON.03	15	<i>Eichhornia crassipes</i>
MON.02		<i>Eichhornia crassipes</i>
MON.01	150	<i>Pontederia</i> sp

5.2.5.1.3 - Densidade numérica absoluta e relativa

Rio Madeira

Em julho de 2014, a maior densidade absoluta foi registrada na estação MON.03, com uma densidade de 303 ind m⁻², e a menor foi registrada na estação MON.01, com uma densidade de 4 ind m⁻² (Figura 5.2.5-2). A família Pontederiaceae foi a única com ocorrência em todas as estações de amostragem (Quadro 5.2.5-4).

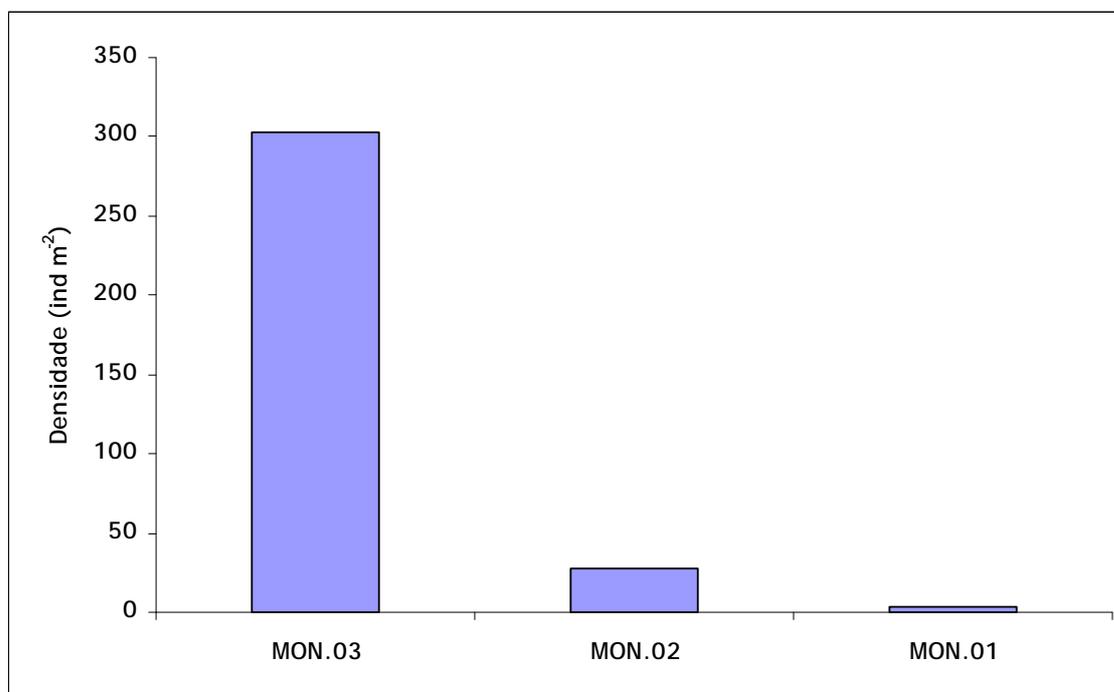


Figura 5.2.5-2 - Densidade numérica absoluta (ind m⁻²) dos táxons de macrófitas registrados no rio Madeira, na área de influência da UHE Santo Antônio do rio Madeira, em julho de 2014.

Quadro 5.2.5-4 - Densidade absoluta (ind m⁻²) das macrófitas no rio Madeira, na área de influência da UHE Santo Antônio do rio Madeira, em julho de 2014.

COMPOSIÇÃO TAXONÔMICA	MON.03	MON.02	MON.01
Araceae			
<i>Pistia stratiotes</i>	6		
Hydrocharitaceae			
<i>Limnobium laevigatum</i>	24		
Poaceae			
<i>Paspalum repens</i>		4	
Polygonaceae			
<i>Polygonum hispidum</i>		4	
Pontederiaceae			
<i>Eichhornia crassipes</i>	24	20	
<i>Pontederia rotundifolia</i>			4
Salviniaceae			
<i>Salvinia minima</i>	249		
TOTAL	303	28	4

Em julho de 2014, a maior contribuição em abundância relativa na estação MON.03 foi dada pela família Salviniaceae, enquanto que nas estações MON.2 e MON.01, as maiores contribuições em abundância relativa foram dadas pela família Pontederiaceae (Figura 5.2.5-3).

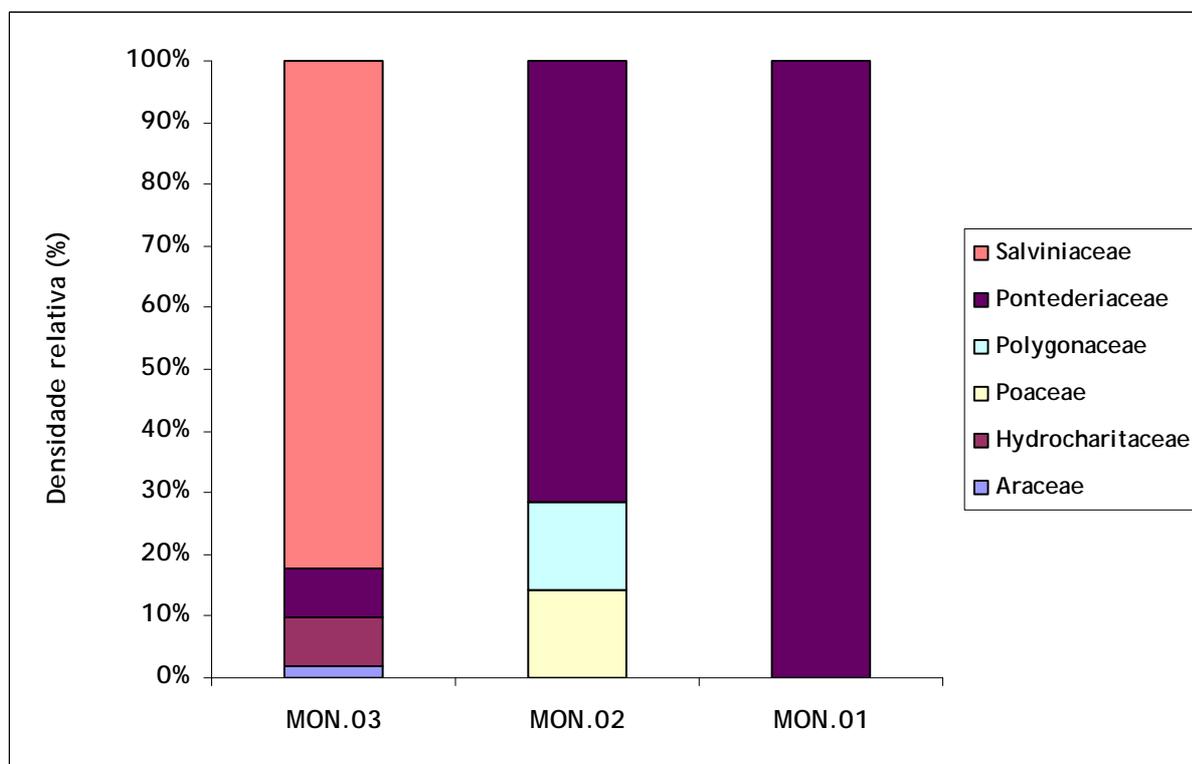


Figura 5.2.5-3 - Densidade relativa (%) dos representantes das diferentes famílias de macrófitas no rio Madeira, na área de influência da UHE Santo Antônio do rio Madeira, em julho de 2014.

5.2.5.1.4 - Equitabilidade e diversidade específica

Rio Madeira

Das estações que registraram a presença de macrófitas em julho de 2014, a diversidade específica, avaliada pelo índice de diversidade de Shannon-Wiener, foi maior na estação MON.02 (0,80 bits ind⁻¹) e menor na estação MON.01 (0,00 bits ind⁻¹; Figura 5.2.5-4). De maneira semelhante, a equitabilidade foi maior na estação MON.02 (0,72) e menor na estação MON.01 (0,00) (Figura 5.2.5-5).

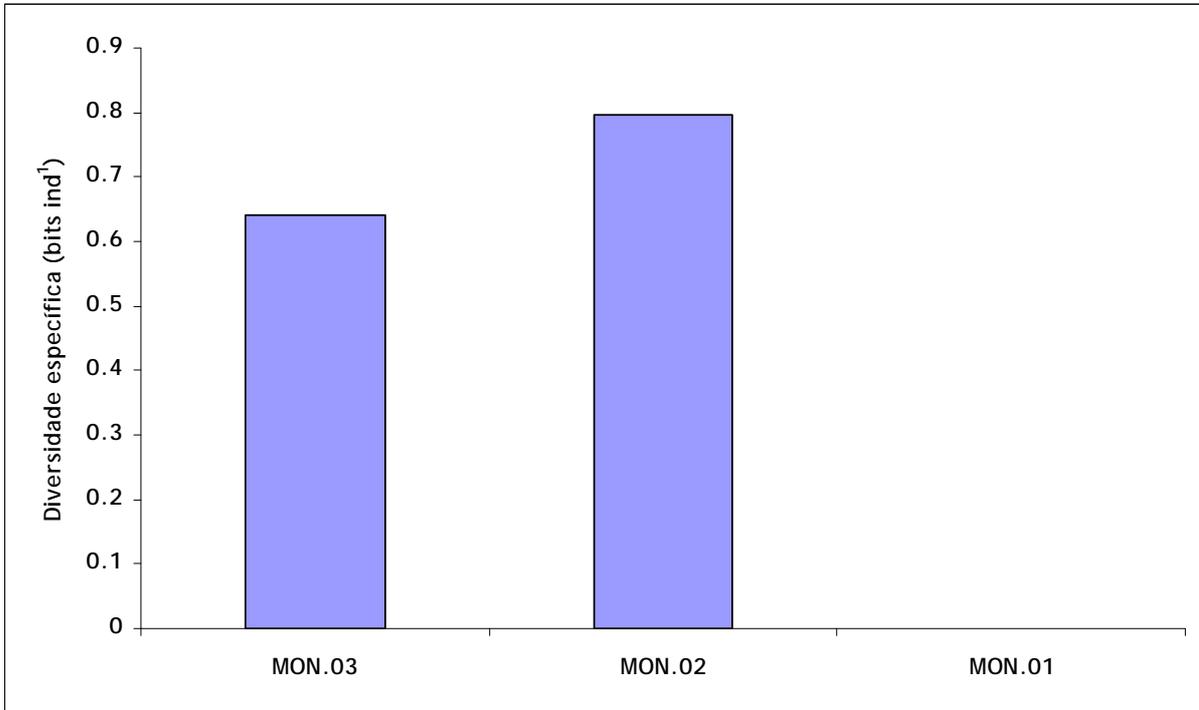


Figura 5.2.5-4 - Valores do índice de diversidade de Shannon-Wiener para as espécies da comunidade de macrófitas no rio Madeira, na área de influência da UHE Santo Antônio do rio Madeira, em julho de 2014.

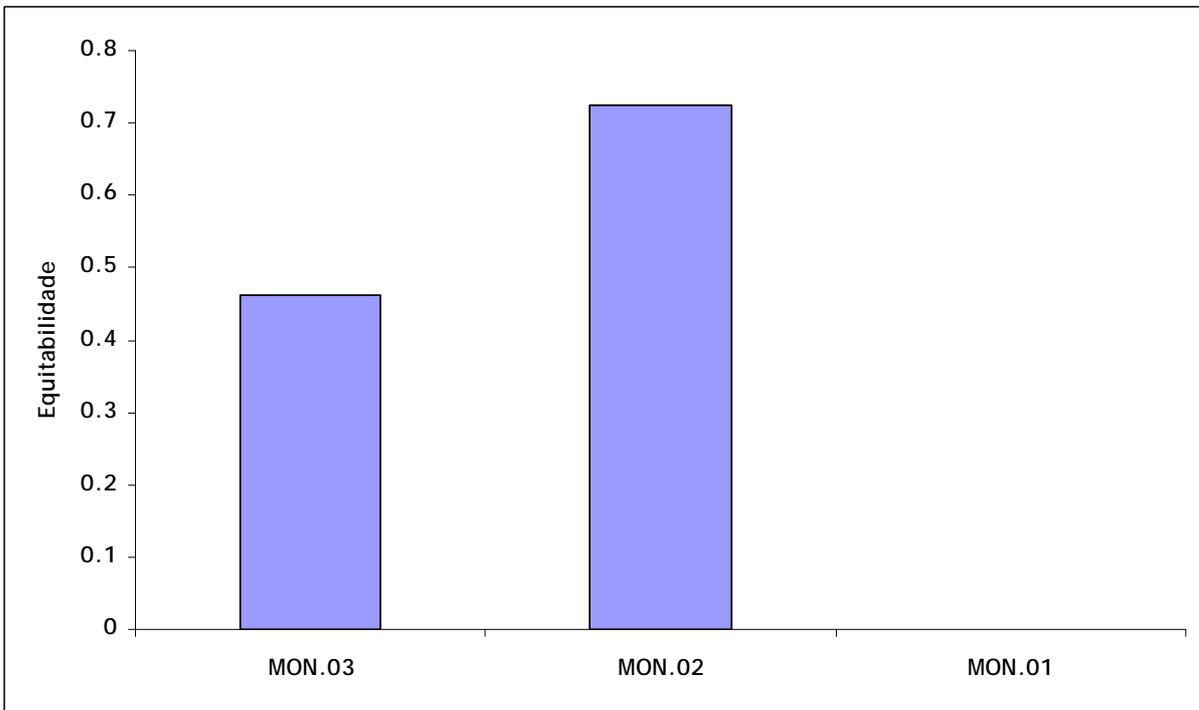


Figura 5.2.5-5 - Valores de equitabilidade para as espécies da comunidade de macrófitas no rio Madeira, na área de influência da UHE Santo Antônio do rio Madeira, em julho de 2014.

5.2.5.1.5 - Biomassa absoluta e relativa

Rio Madeira

Em julho de 2014, o maior valor de biomassa absoluta no rio Madeira foi 749,77 g PS m⁻² (MON.02) e o menor valor foi 290,70 g PS m⁻² (MON.01; Figura 5.2.5-6 e Quadro 5.2.5-5).

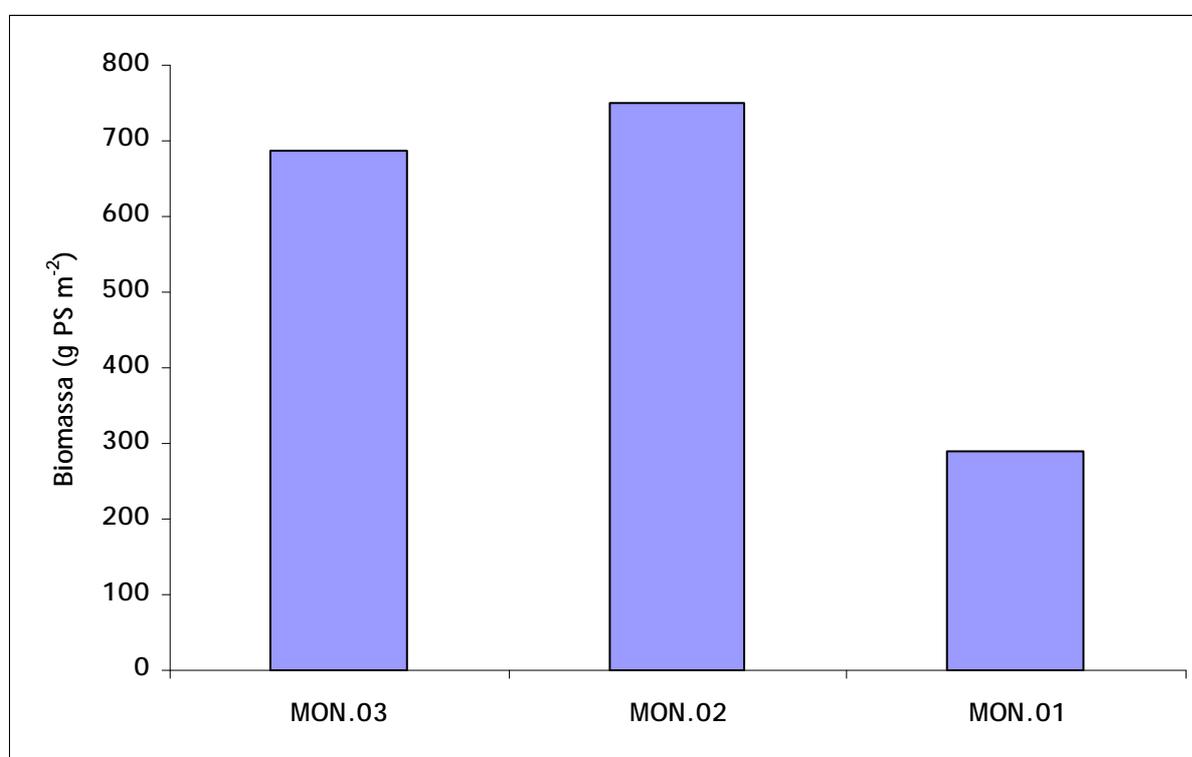


Figura 5.2.5-6 - Biomassa absoluta (g PS m⁻²) dos táxons de macrófitas registrados no rio Madeira, na área de influência da UHE Santo Antônio do rio Madeira em julho de 2014.

Quadro 5.2.5-5 - Biomassa absoluta (g PS m⁻²) dos táxons de macrófitas no rio Madeira, na área de influência da UHE Santo Antônio do rio Madeira, em julho de 2014.

COMPOSIÇÃO TAXONÔMICA	MON.03	MON.02	MON.01
Araceae			
<i>Pistia stratiotes</i>	0,54		
Hydrocharitaceae			
<i>Limnobium laevigatum</i>	0,84		
Poaceae			
<i>Paspalum repens</i>		46,12	

COMPOSIÇÃO TAXONÔMICA	MON.03	MON.02	MON.01
Polygonaceae			
<i>Polygonum hispidum</i>		59,34	
Pontederiaceae			
<i>Eichhornia crassipes</i>	678,59	644,31	
<i>Pontederia rotundifolia</i>			290,75
Salviniaceae			
<i>Salvinia minima</i>	6,76		
TOTAL	686,73	749,77	290,7

Em julho de 2014, as maiores contribuições em biomassa relativa em todas as estações de amostragem foram dadas pela família Pontederiaceae (Figura 5.2.5-7).

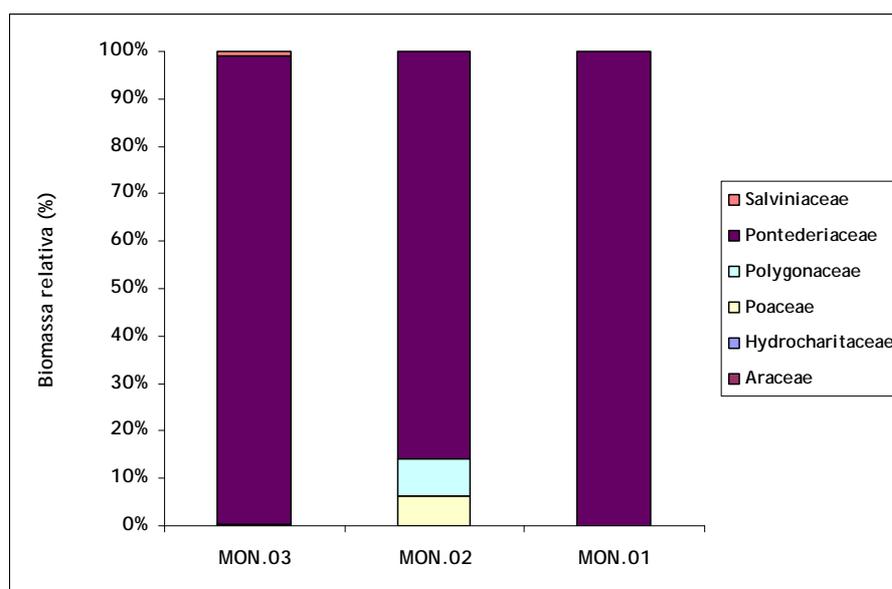


Figura 5.2.5-7 - Biomassa relativa (%) dos representantes das diferentes famílias de macrófitas no rio Madeira, na área de influência da UHE Santo Antônio do rio Madeira, em julho de 2014.

5.2.5.1.6 - Dominância das populações de macrófitas

Rio Madeira

Em julho de 2014, com base na abundância relativa, estimada à partir dos valores de biomassa, a espécie *Eichhornia crassipes* foi classificada como abundante e a espécie *Pontederia rotundifolia*

foi classificada como pouco abundante, enquanto que as demais espécies foram classificadas como raras (Quadro 5.2.5-6).

Quadro 5.2.5-6 - Valores de abundância relativa e classificação com relação à dominância (com base na biomassa) das espécies de macrófitas no rio Madeira, na área de influência da UHE Santo Antônio do rio Madeira, em julho de 2014.

COMPOSIÇÃO TAXONÔMICA	Abundância relativa (%)	Dominância
Araceae		
<i>Pistia stratiotes</i>	0.03	Rara
Hydrocharitaceae		
<i>Limnobium laevigatum</i>	0.05	Rara
Poaceae		
<i>Paspalum repens</i>	2.67	Rara
Polygonaceae		
<i>Polygonum hispidum</i>	3.44	Rara
Pontederiaceae		
<i>Eichhornia crassipes</i>	76.59	Abundante
<i>Pontederia rotundifolia</i>	16.83	Pouco abundante
Salviniaceae		
<i>Salvinia minima</i>	0.39	Rara

5.2.5.1.7 - Diversidade beta e gama

Diversidade beta espacial

Em julho de 2014, as diversidades beta das comunidades de macrófitas (entre o rio Madeira e os tributários, entre os tributários e o lago Cuniã e entre o rio Madeira e o lago Cuniã) não foram possíveis serem determinadas devido à ocorrência de macrófitas somente ter sido observada no rio Madeira.

Diversidade gama

Em julho de 2014, a diversidade gama espacial de macrófitas somente foi dada pelo rio Madeira e ela foi de 7 espécies (Figura 5.2.5-8).

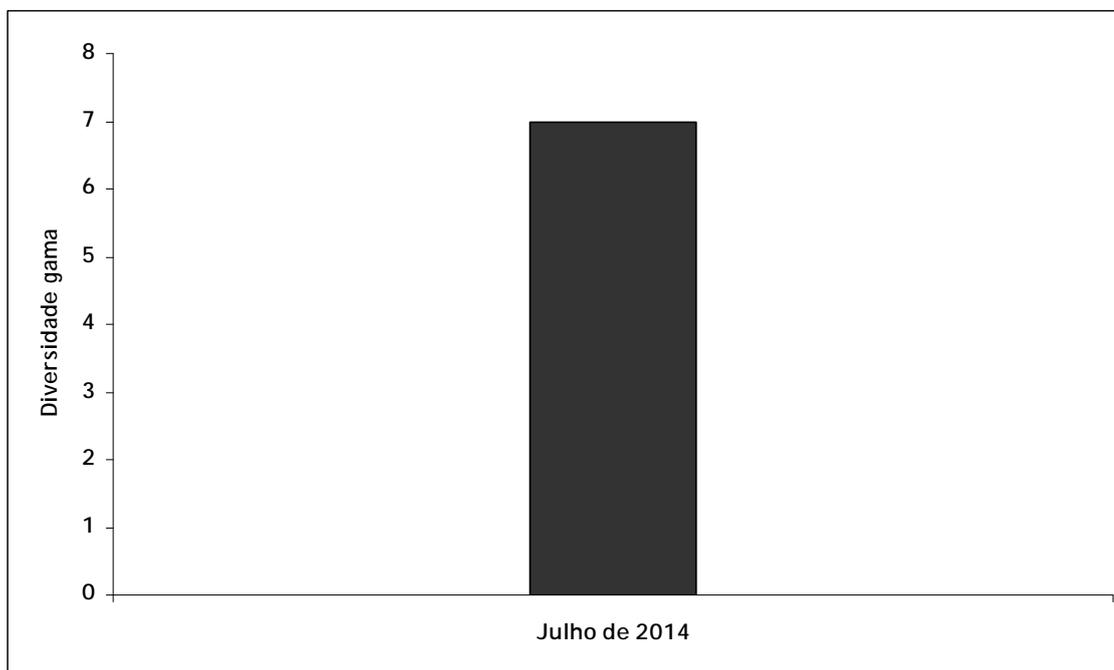


Figura 5.2.5-8 - Diversidade gama das comunidades de macrófitas dos sistemas monitorados na área de influência da UHE Santo Antônio do rio Madeira em julho de 2014.

5.2.5.1.8 - Análises estatísticas

5.2.5.1.8.1 - Análise de ordenação

Rio Madeira

Em julho de 2014, a análise de correspondência canônica avaliando a relação dos fatores abióticos com a comunidade de macrófitas evidenciou que as variáveis profundidade e temperatura foram significativas ($p < 0,05$) e estiverem correlacionadas positivamente com a família Pontederiaceae. Também a análise evidenciou que as variáveis condutividade elétrica e turbidez foram significativas ($p < 0,05$) e estiverem correlacionadas positivamente com as famílias Araceae, Hydrocharitaceae e Salviniaceae (Figura 5.2.5-9). Na análise de ordenação canônica dos elementos presentes na água, a concentração de zinco foi significativa ($p < 0,05$) e esteve associada com as famílias Poaceae e Polygonaceae. Também evidenciou que as concentrações dos elementos bário, magnésio, cálcio e sódio foram significativos ($p < 0,05$) e estiveram correlacionados positivamente com as famílias Araceae, Hydrocharitaceae e Salviniaceae (Figura 5.2.5-9). A análise de correspondência canônica dos metais contidos nas macrófitas não pode ser obtida devido à baixa densidade das espécies analisadas.

UHE Santo Antônio no Rio Madeira

2541-00-MLM-RL-0008-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas -
Relatório 8 / Fase de Operação

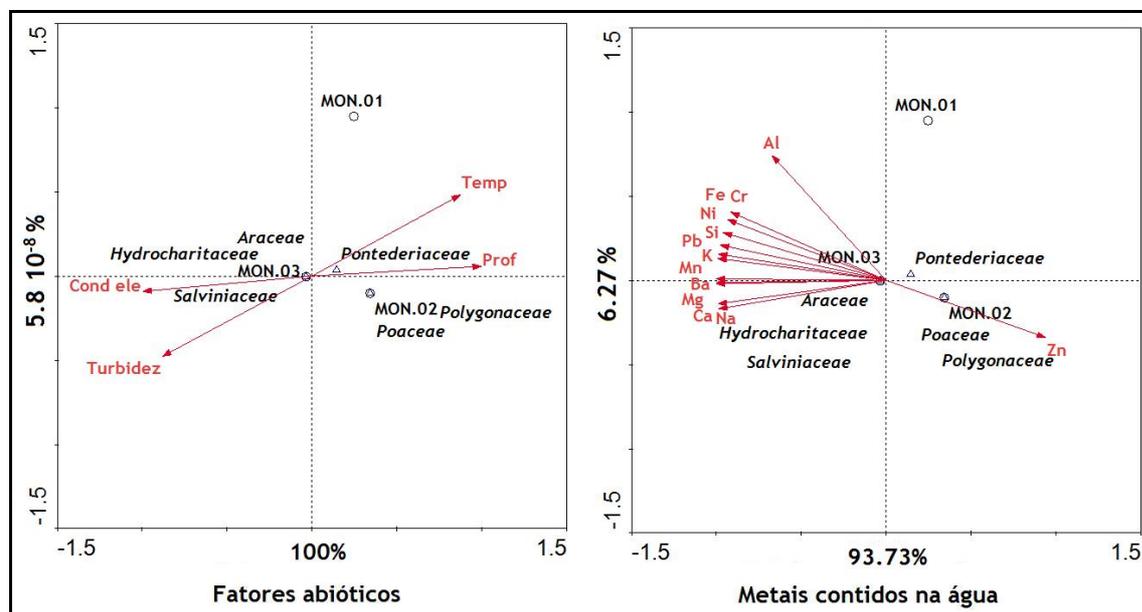


Figura 5.2.5-9 - Posição das estações de coleta do rio Madeira de acordo com os fatores abióticos e metais contidos na água em julho de 2014. A explicabilidade dos dois primeiros eixos dos fatores abióticos foi de 100% (Eixo 1: 100%; Eixo 2: $5,8 \cdot 10^{-8}\%$) e dos metais contidos na água também foi de 100% (Eixo 1: 93,73%; Eixo 2: 6,27%). A análise de correspondência canônica para os metais contidos nas macrófitas não pode ser obtida.

5.2.5.1.8.2 - Jackknife de primeira ordem e Chao de segunda ordem da riqueza de espécies

Rio Madeira

Na campanha de julho de 2014 no rio Madeira, as riquezas máximas de espécies estimadas pelos estimadores Jackknife de primeira ordem e Chao de segunda ordem foram de 11 táxons e 10 táxons, respectivamente (Figura 5.2.5-10). Os valores encontrados são próximos ao valor registrado nas estações do rio Madeira (7 táxons).

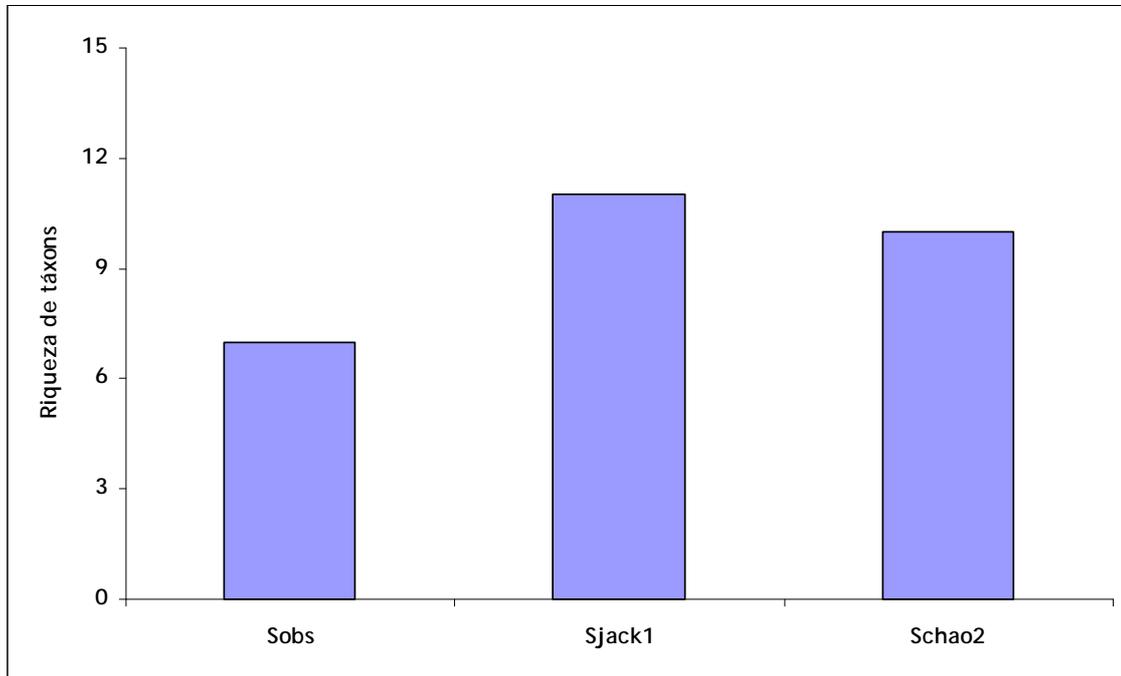


Figura 5.2.5-10 - Estimadores Jackknife de primeira ordem e Chao de segunda ordem para a riqueza de espécies no rio Madeira na área de influência da UHE Santo Antônio no rio Madeira em julho de 2014.

5.2.5.1.8.3 - Curvas de riqueza observada e estimadores de riqueza

Rio Madeira

A riqueza de táxons de macrófitas aquáticas acumulada para o rio Madeira, considerando-se os dados das campanhas entre junho de 2009 e julho de 2014 é de 32 táxons. O valor obtido é inferior aos valores de riqueza previstos pelos estimadores Jackknife de primeira ordem e Chao de segunda ordem, que são da ordem de 67 e 56 táxons, respectivamente (Figura 5.2.5-11).

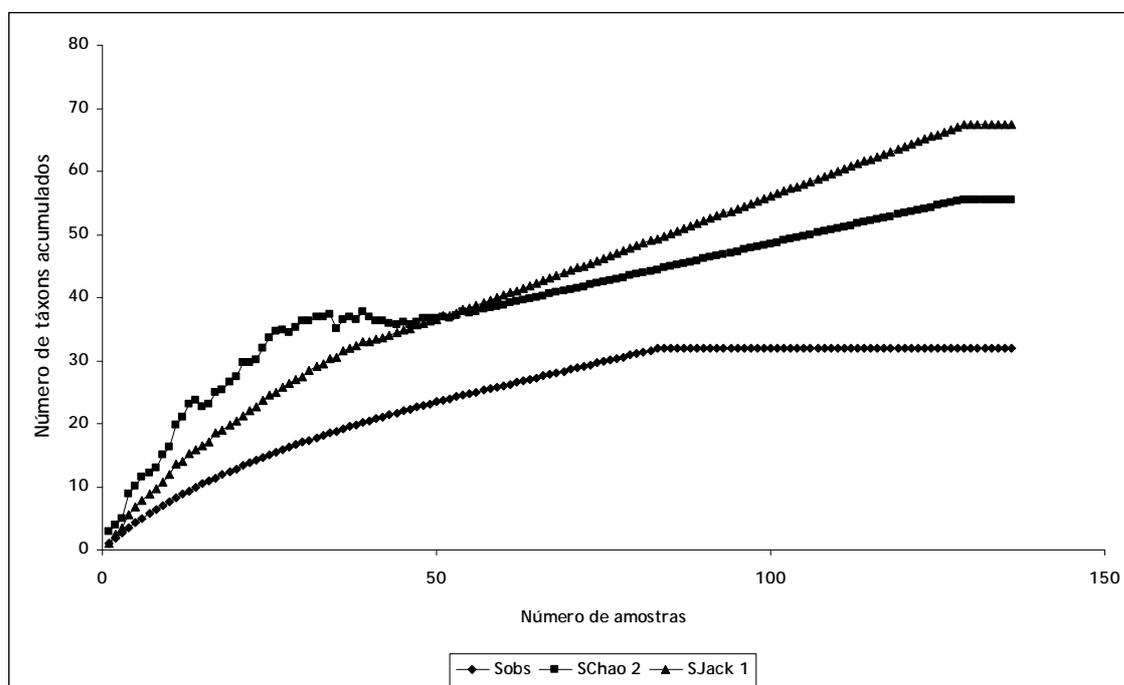


Figura 5.2.5-11 - Curvas de riqueza obtidas por meio do acúmulo de táxons de macrófitas observados e aqueles previstos pelos estimadores Jackknife de primeira ordem e Chao de segunda ordem para o rio Madeira, na área de influência da UHE Santo Antônio. O número de amostras corresponde às estações de coleta avaliadas entre junho de 2009 e julho de 2014.

Tributários

A riqueza de táxons de macrófitas aquáticas acumulada para os tributários, considerando-se os dados das campanhas entre junho de 2009 e julho de 2014 é de 51 táxons. O valor obtido é inferior aos valores de riqueza previstos pelos estimadores Jackknife de primeira ordem e Chao de segunda ordem que são de 80 e 87 táxons, respectivamente (Figura 5.2.5-12).

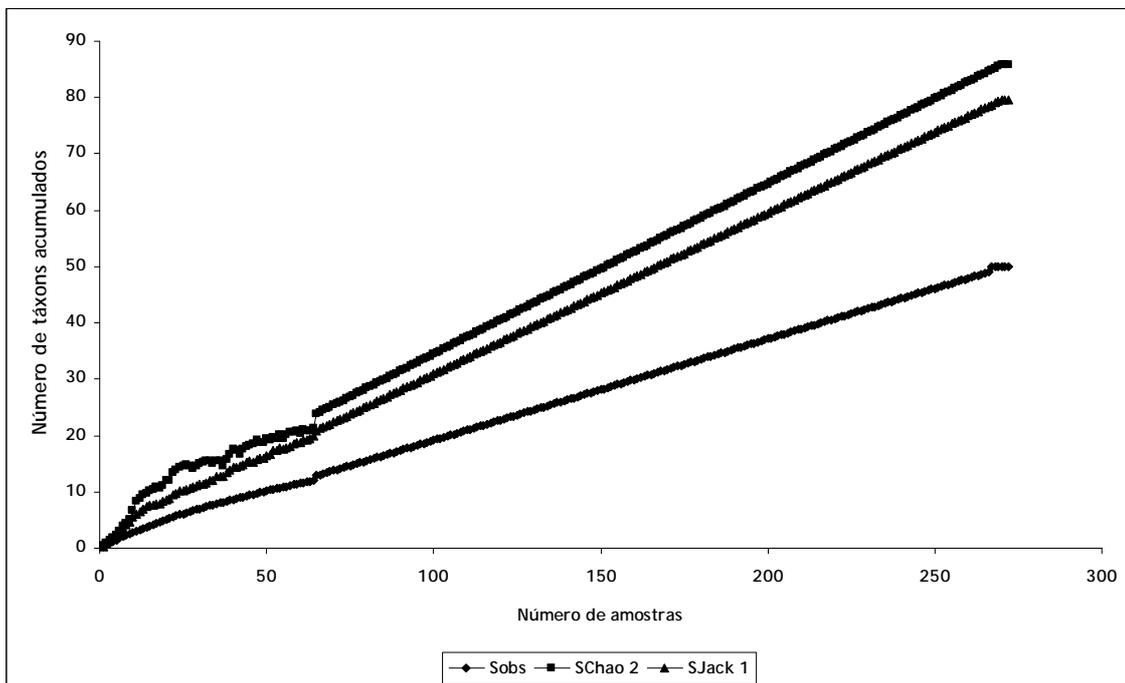


Figura 5.2.5-12 - Curvas de riqueza obtidas por meio do acúmulo de táxons de macrófitas observados e aqueles previstos pelos estimadores Jackknife de primeira ordem e Chao de segunda ordem para os tributários, na área de influência da UHE Santo Antônio. O número de amostras corresponde às estações de coleta avaliadas entre junho de 2009 e julho de 2014.

Lagos e Canais

A riqueza de táxons de macrófitas aquáticas acumulada para os lagos e canais, considerando-se os dados das campanhas entre junho de 2009 e julho de 2014 é de 66 táxons. O valor obtido é inferior aos valores de riqueza previstos pelos estimadores Jackknife de primeira ordem e Chao de segunda ordem, que são de 111 e 98 táxons, respectivamente (Figura 5.2.5-13).

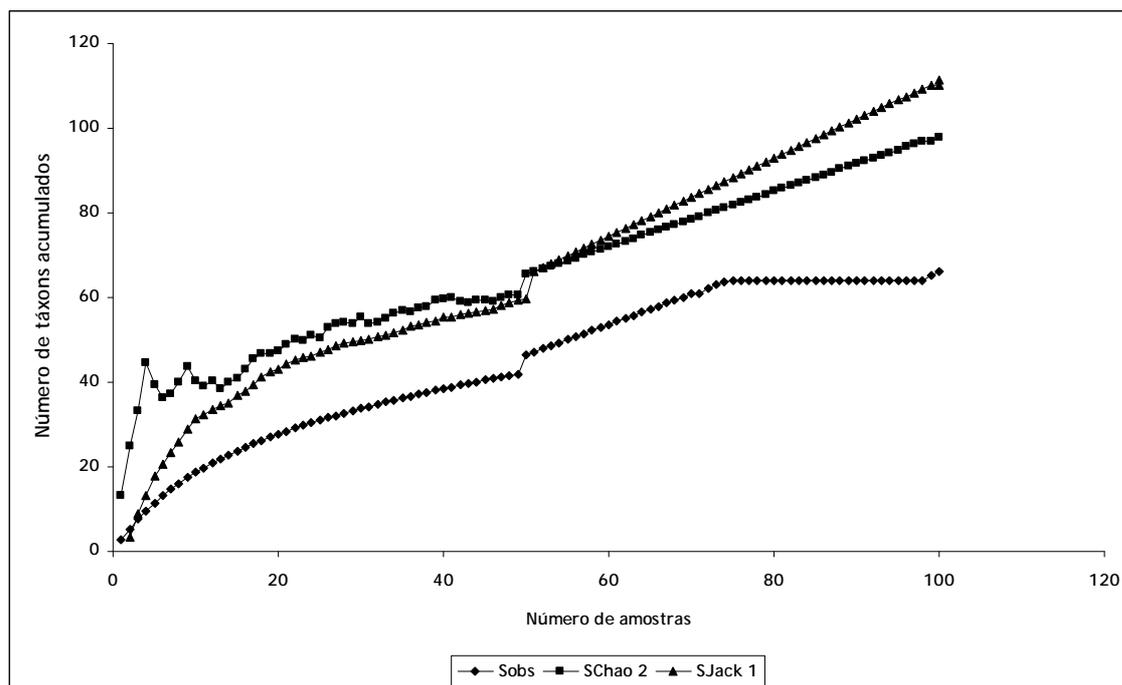


Figura 5.2.5-13 - Curvas de riqueza obtidas por meio do acúmulo de táxons de macrófitas observados e aqueles previstos pelos estimadores Jackknife de primeira ordem e Chao de segunda ordem para os lagos e canais, na área de influência da UHE Santo Antônio. O número de amostras corresponde às estações de coleta avaliadas entre junho de 2009 e julho de 2014.

5.2.5.1.8.4 - Curva de rarefação das espécies de macrófitas

A rarefação é uma técnica que permite a comparação de riqueza de espécies de comunidades diferentes, pois equivale os dados amostrais das comunidades, permitindo estimar o esforço para amostrar um mesmo número de indivíduos em cada uma (Magurran, 2004). A curva de rarefação gera o número de espécies encontrado numa comunidade à medida que se amostra. Ela é estimada a partir de uma curva de acumulação correspondente, que é a curva confeccionada com o total de espécies reveladas durante a coleta dos dados (Gotelli & Colwell, 2001). A curva de rarefação é gerada a partir de permutações envolvendo todas as espécies, aleatoriamente. Cada ponto da curva representa a média dessas permutações (1000).

Considerando-se que apenas as estações de amostragem com presença de macrófitas foram consideradas como amostras representativas na confecção da curva de rarefação por amostra, tendo por base uma mesma unidade de esforço amostral, a riqueza tendeu a ser maior nos lagos e canais (aproximadamente 57 táxons), seguido dos tributários (aproximadamente 52 táxons) e, por fim, do rio Madeira (aproximadamente 34 táxons). A riqueza máxima registrada, até o momento, é maior nos lagos e canais (66 táxons), seguida dos tributários (51 táxons) e, por fim, do rio Madeira (34 táxons). Nas campanhas entre junho de 2009 e julho de 2014, todas as curvas de acumulação de espécies indicaram uma tendência à estabilização, sendo esta, porém, menos pronunciada nos tributários (Figura 5.2.5-14)

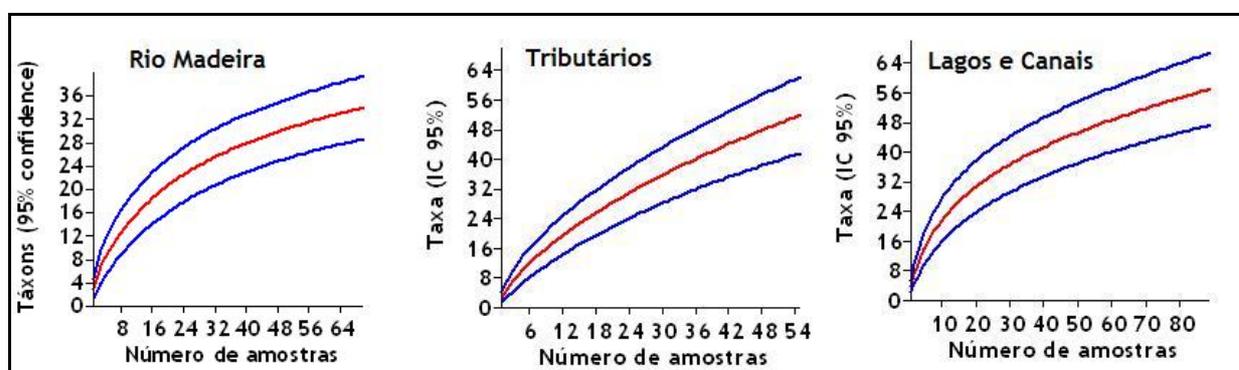


Figura 5.2.5-14 - Curva de rarefação das espécies de macrófitas dada por amostra para o rio Madeira, tributários e os lagos e canais adjacentes, na área de influência da UHE Santo Antônio no rio Madeira, entre junho de 2009 e julho de 2014. A linha vermelha indica a tendência no número acumulado de táxons à medida que se aumenta o esforço de amostragem; a linha azul corresponde ao intervalo de confiança.

5.2.5.1.8.5 - Dissimilaridade (*Bray-Curtis*)

Em julho de 2014, pode-se observar que as estações mais similares foram MON.02 e MON.03, com cerca de 12,1% de similaridade, um valor considerado baixo. A estação mais dissimilar com as demais foi à estação MON.01. Claramente percebe-se que essa estação possui uma assembléia inteiramente distinta das demais estações de amostragem (Figura 5.2.5-15).

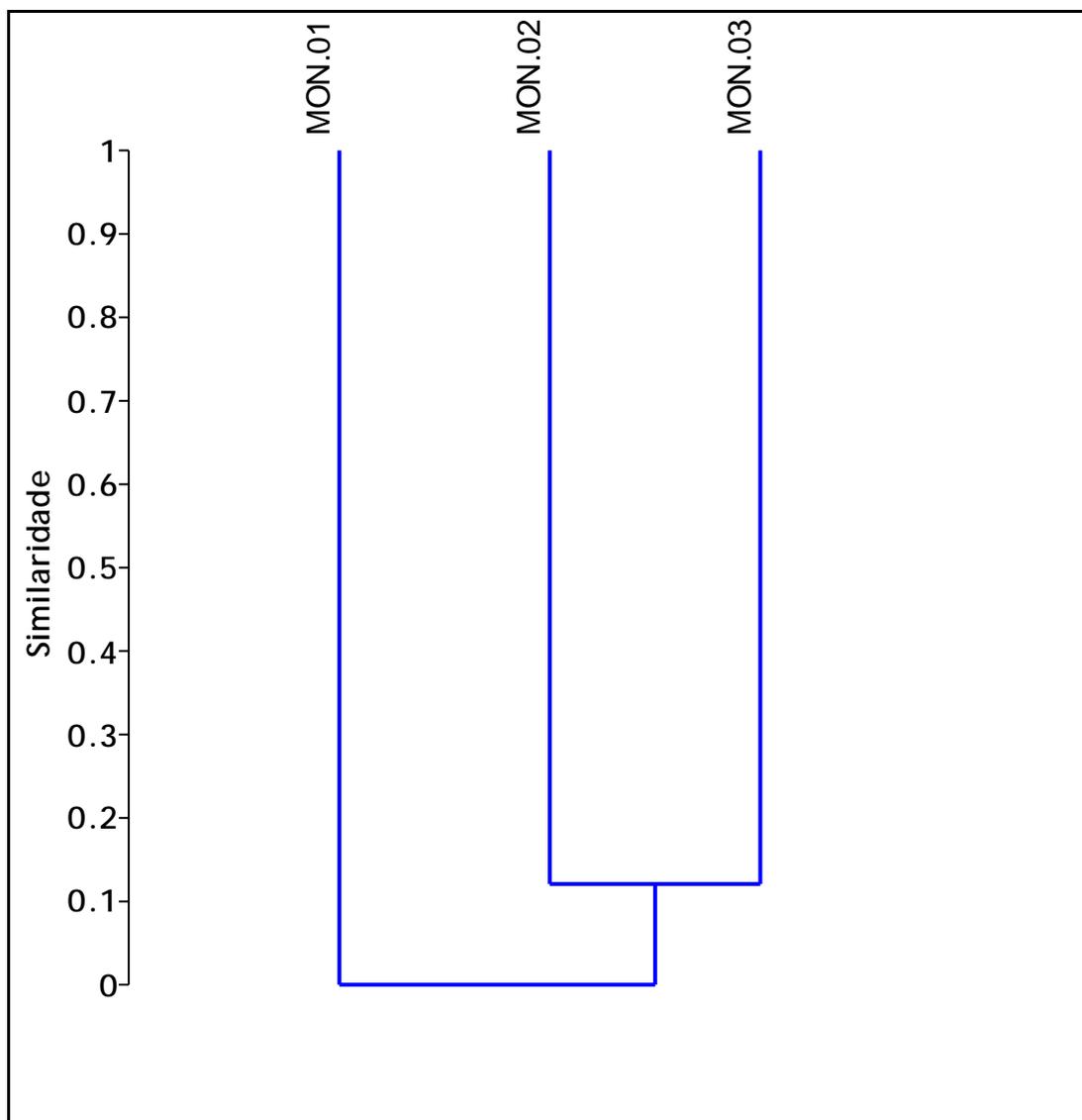


Figura 5.2.5-15 - Dendrograma de similaridade/dissimilaridade entre as comunidades de macrófitas amostradas na área de influência da UHE Santo Antônio no rio Madeira em julho de 2014 (coeficiente cofenético = 1,00).

5.2.5.1.8.6 - Ordenação da composição (NMDS)

Para o período hidrológico de vazante, compreendido entre 2009 a 2014, os resultados da NMDS (stress = 0,001) mostraram que a composição e abundância das macrófitas aquáticas foram separadas em três grupos distintos: 1) RM Fase 1 e T Fase 1; 2) RM Fase 2 e 3, T Fase 2 e LC Fase 3; e 3) LC Fase 1 (Figura 5.2.5-16).

Para o rio Madeira, a composição da comunidade na Fase 1 (Pré-Enchimento) teve uma similaridade de 6% com a Fase 2 (Enchimento + Estabilização) e de 13,5% com a Fase 3 (Operação).

Para os tributários, a composição da comunidade na Fase 1 (Pré-Enchimento) teve uma similaridade de 9,96% com a Fase 2 (Enchimento + Estabilização), não tendo ocorrência de macrófitas nesse sistema para a Fase 3 (Operação) no período da vazante.

Para o lago Cuniã, a Fase 1 (Pré-Enchimento) teve uma similaridade de 0,41% com a Fase 3 (Operação), não tendo ocorrência de macrófitas nesse sistema para a Fase 2 (Enchimento + Estabilização) no período da vazante.

Tanto o diagrama quanto o dendograma de ordenação gerado pela análise de agrupamento Cluster (Coph.corr = 0,98; Figura 5.2.5-16) indicam que, para o período de vazante compreendido entre 2009 e 2014, houve uma baixa similaridade na composição e na abundância das macrófitas aquáticas nas Fases 2 e 3 do empreendimento quanto comparadas com a Fase 1.

UHE Santo Antônio no Rio Madeira

2541-00-MLM-RL-0008-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas -
Relatório 8 / Fase de Operação

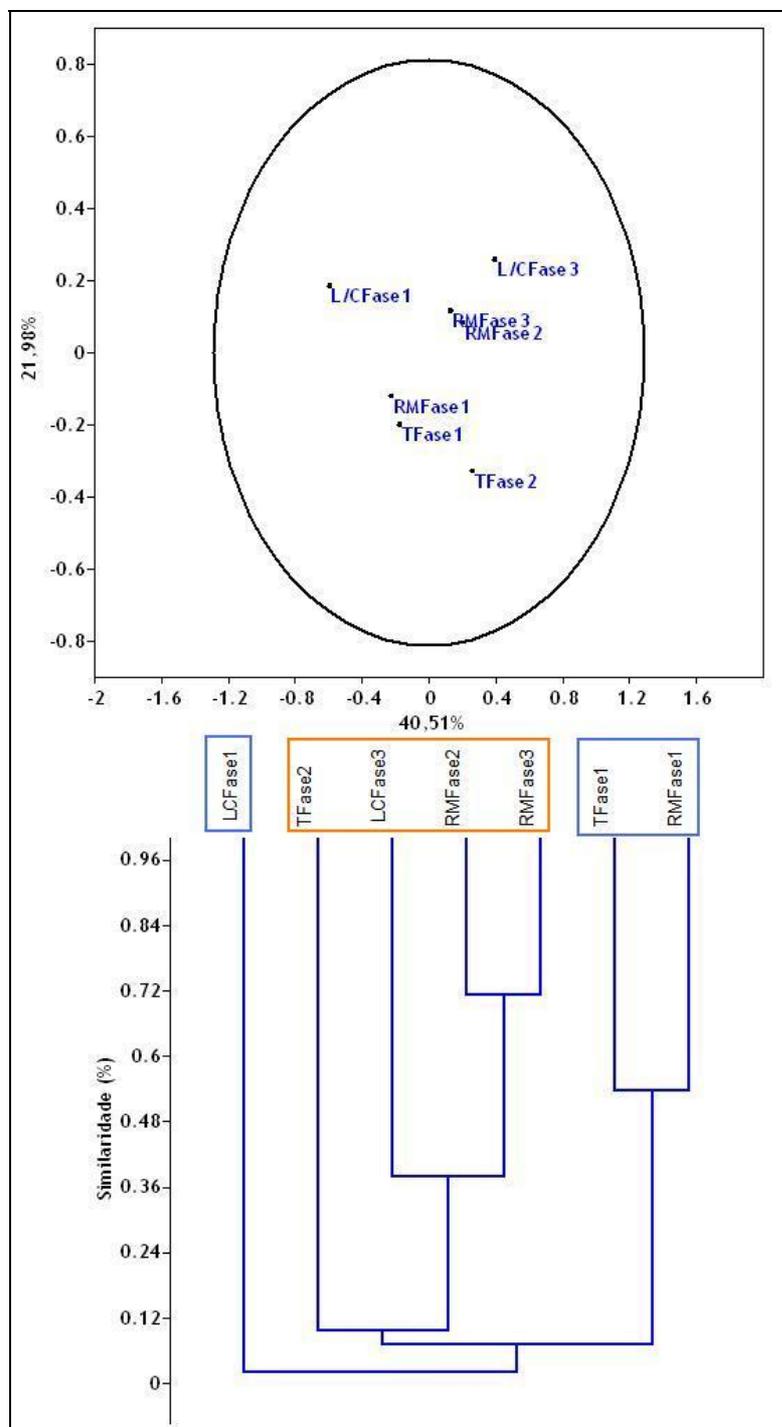


Figura 5.2.5-16 - Diagrama de Ordenação da similaridade NMDS e dendrograma de similaridade, índice de Bray-Curtis da composição de macrófitas aquáticas no rio Madeira (RM), seus tributários (T) e lago Cuniã (LC) no período hidrológico de vazante entre 2009 a 2014 para as três fases do empreendimento: 1) Pré-enchimento, 2) Enchimento + Estabilização e 3) Operação.

5.2.5.1.8.7 - Avaliação das tendências com relação à densidade, à riqueza, à diversidade e à biomassa das macrófitas

Com o objetivo de avaliar possíveis mudanças na densidade, na biomassa, na riqueza e na diversidade de espécies das macrófitas durante o período de vazante entre 2009 e 2014 nos sistemas rio Madeira, tributários e lago Cuniã, foram comparadas as três diferentes fases do empreendimento (Fase 1 - pré-enchimento; Fase 2 - enchimento + estabilização; Fase 3 - operação) por meio de análises de variância dos dados (ANOVA). Quando os dados tiveram uma distribuição normal e variâncias homogêneas, o teste de significância aplicado foi o teste de Tukey ($p < 0,05$). Por outro lado, quando os dados não tiveram distribuição normal e/ou variâncias não homogêneas, o teste de significância aplicado foi o teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Rio Madeira

O rio Madeira (Figura 5.2.5-17) não apresentou nenhuma diferença estatística significativa em relação à densidade ($H = 1,22$, $p = 0,54$), à biomassa ($H = 2,79$, $p = 0,25$), à riqueza ($F_{2,17} = 0,50$, $p = 0,61$) e à diversidade específica ($F_{2,11} = 0,31$, $p = 0,74$) quando os períodos de vazante das fases 1, 2 e 3 do empreendimento foram comparadas.

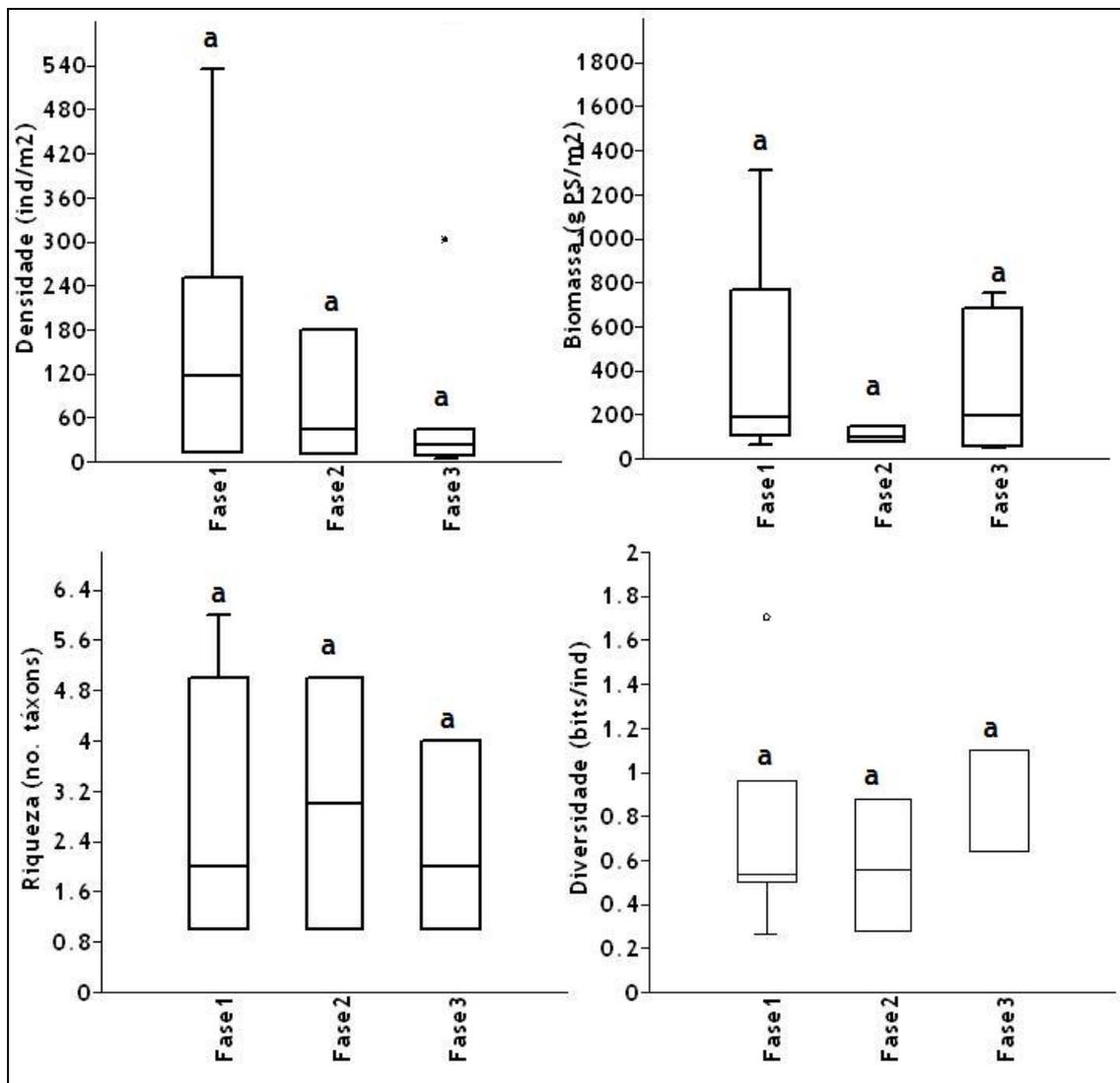


Figura 5.2.5-17 - "Box-plot" da densidade (ind m⁻²), biomassa (g PS m⁻²), riqueza (número de táxons) e diversidade (bits ind⁻¹) no rio Madeira. A linha no interior das caixas representa a mediana, o limite das caixas e os traços abrangem 75 e 95% dos dados, respectivamente. As letras acima das caixas, quando diferentes, indicam a ocorrência de diferenças significativas ($p < 0,05$).

Tributários

Os tributários (Figura 5.2.5-18) não apresentaram nenhuma diferença estatística significativa em relação à densidade ($F_{2,9} = 1,03$, $p = 0,41$), à biomassa ($F_{2,9} = 0,79$, $p = 0,49$), à riqueza ($H = 4,55$, $p = 0,14$) e à diversidade específica de espécie ($H = 2,35$, $p = 0,47$) quando os períodos de vazante das fases 1, 2 e 3 do empreendimento foram comparadas.

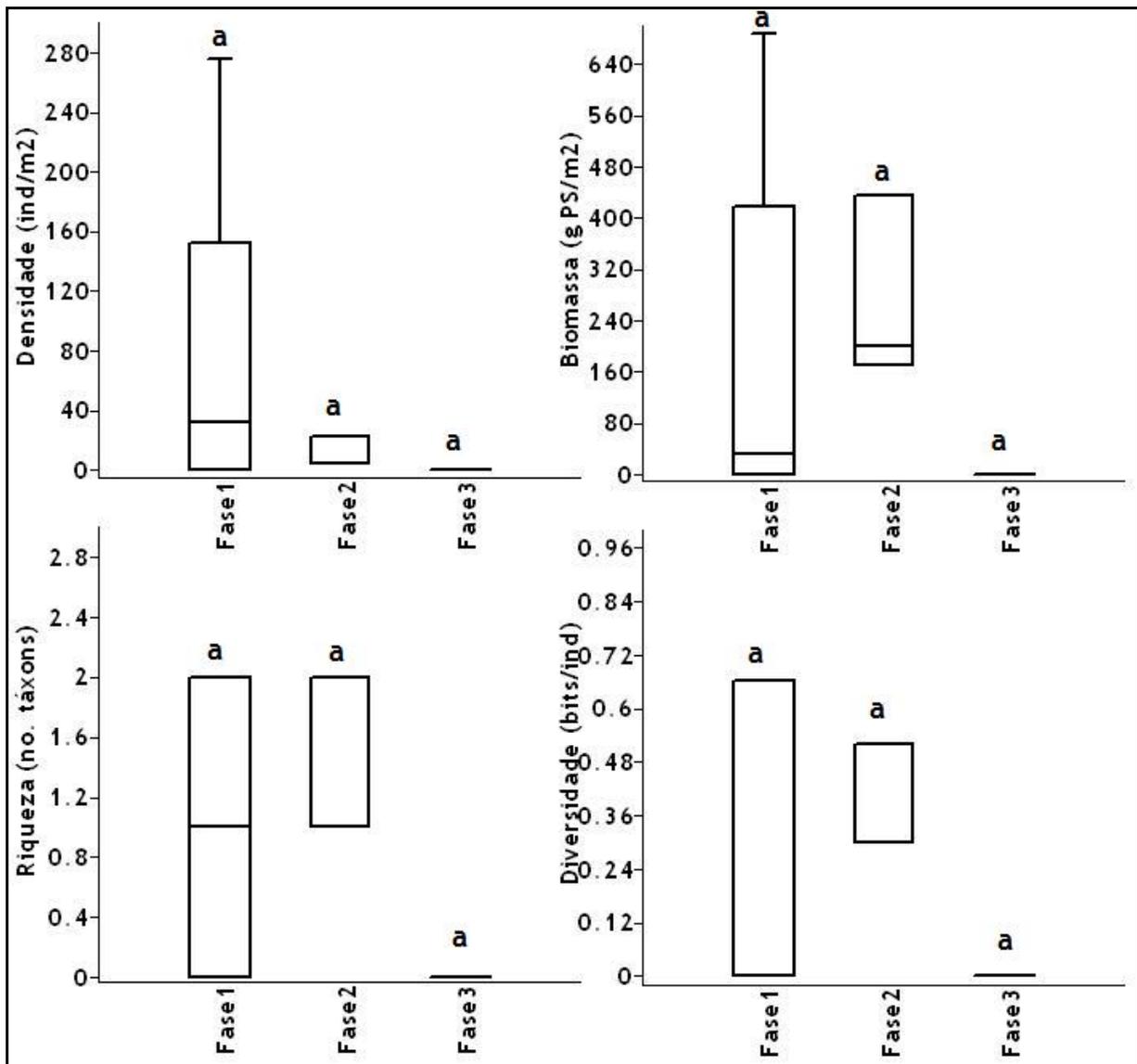


Figura 5.2.5-18 - "Box-plot" da densidade (ind m⁻²), biomassa (g PS m⁻²), riqueza (número de táxons) e diversidade (bits ind⁻¹) nos tributários. A linha no interior das caixas representa a mediana, o limite das caixas e os traços abrangem 75 e 95% dos dados, respectivamente. As letras acima das caixas, quando diferentes, indicam a ocorrência de diferenças significativas ($p < 0,05$).

Lago Cuniã

O lago Cuniã (Figura 5.2.5-19) não apresentou nenhuma diferença estatística significativa em relação à biomassa ($F_{1,4} = 1,44$, $p = 0,32$), à riqueza ($F_{1,4} = 2,79$, $p = 0,19$) e à diversidade ($F_{1,4} = 1,77$, $p = 0,28$) quando os períodos de vazante das fases 1, 2 e 3 do empreendimento foram comparadas. No entanto, em relação à densidade, houve uma redução da fase 1 para a fase 3 do empreendimento ($F_{1,4} = 12,50$, $p = 0,04$).

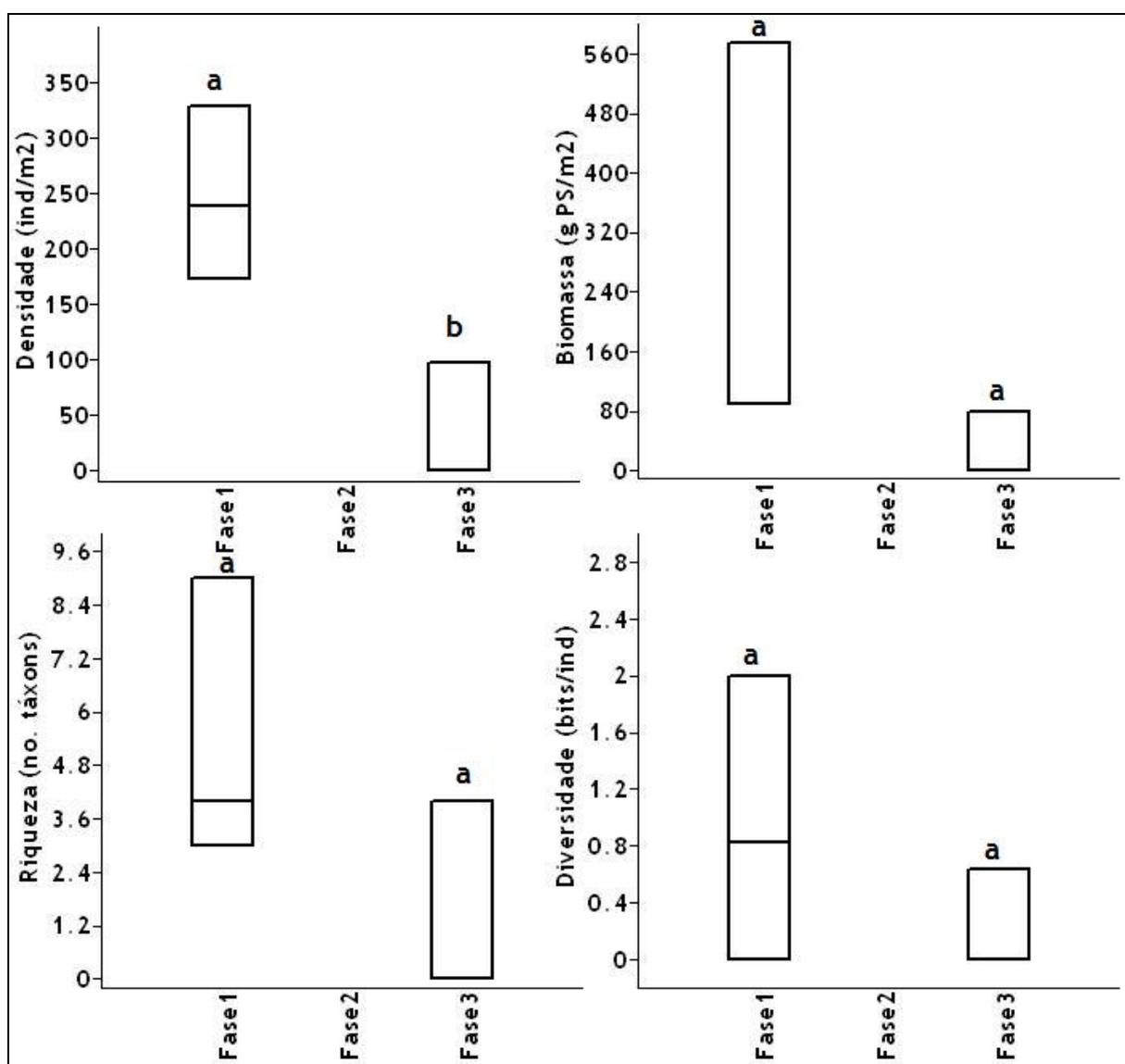


Figura 5.2.5-19 - "Box-plot" da densidade (ind m⁻²), biomassa (g PS m⁻²), riqueza (número de táxons) e diversidade (bits ind⁻¹) nos lagos e canais. A linha no interior das caixas representa a mediana, o limite das caixas e os traços abrangem 75 e 95% dos dados, respectivamente. As letras acima das caixas, quando diferentes, indicam a ocorrência de diferenças significativas ($p < 0,05$).

5.2.5.2 - Composição química

O termo macrófitas aquáticas caracteriza ecologicamente os vegetais que habitam desde brejos até ambientes totalmente submersos (Esteves, 1998). Ainda segundo o autor, na escalada evolutiva, estas retornaram do ambiente terrestre para o aquático por apresentarem adaptações morfológicas como cutículas finas e estômatos muitas vezes não funcionais. A maioria das macrófitas pode suportar longos períodos de seca, sofrendo assim grandes modificações morfológicas e fisiológicas.

Diversos estudos sobre macrófitas aquáticas enfatizam sua elevada produtividade e importância na ciclagem de nutrientes (Menezes, 1984). Ainda com relação à sua fisiologia, como resposta a exposição a ambientes poluídos, algumas macrófitas aquáticas podem apresentar alterações na sua composição química, podendo ser utilizadas como bioindicadores da qualidade da água.

Segundo Pescod (1992), as macrófitas são utilizadas em vários países como agente fitodepurador, sendo umas das alternativas ecológicas mais utilizadas no tratamento primário da água. Este fato se deve à grande velocidade de desenvolvimento desta espécie em águas poluídas, à alta capacidade de absorver metais pesados, grande eficiência na redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e à alta demanda por nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo (Manfrinato, 1989).

No rio Madeira, no mês de julho de 2014, apenas foi registrada a presença de macrófitas nas estações monitoradas situadas dentro do reservatório (MON.03, MON.02 e MON.01),. As análises químicas foram realizadas nas espécies mais representativas de cada banco de macrófitas, sendo elas: *E. crassipes* em MON.03 e MON.02 e *Pontederia* sp em MON.01. Tendo em vista a diversidade na composição específica das macrófitas existente entre os sistemas amostrados e a variação nas espécies avaliadas em relação a composição química, os resultados serão apresentados por meio de valores médios, desvio padrão, valores máximos e mínimos.

5.2.5.2.1 - Matéria orgânica, carbono orgânico total e teores de cinzas

Em respostas aos diversos estímulos do meio ambiente, as macrófitas desenvolveram diferentes estratégias de sobrevivência. Como resultado, a composição química se difere em função da disponibilidade dos elementos químicos no ambiente e das necessidades morfo-fisiológicas de cada indivíduo. De acordo com Joyce (1993), as plantas aquáticas possuem em média (em base de massa seca) 41% de carbono, 14% de cinzas, 2,26% de nitrogênio e 0,25% de fósforo.

O teor médio de matéria orgânica nas macrófitas amostradas na área de estudo variou entre 7,5 %p/p em MON.02 e 13,5 % p/p em MON.03 (Figura 5.2.5-20).

O carbono orgânico foi calculado a partir das concentrações de matéria orgânica. Isso foi possível graças à grande base de dados existente. Ao todo, já foram feitas quase 200 medições de matéria orgânica e carbono orgânico em macrófitas, e a partir dos dados existentes é possível perceber que essas duas variáveis estão intimamente relacionadas (Figura 5.2.5-21). Com base na regressão muito forte entre essas variáveis, é possível, portanto, estimar com bastante precisão as concentrações de carbono orgânico a partir das concentrações de matéria orgânica. Dessa forma, as concentrações de carbono orgânico variaram entre 4,2 %p/p em MON.02 e 7,5 %p/p em MON.03 (Figura 5.2.5-22).

O teor médio de cinzas (base seca) nas macrófitas coletadas na área de variou entre 7,62 %p/p em MON.01 e 17,1 % p/p em MON.02 (Figura 5.2.5-23).

O teor médio de cinzas (base úmida) também foi menor em MON.01 (1,28 %p/p) e maior em MON.02 (1,82 %p/p) (Figura 5.2.5-24).

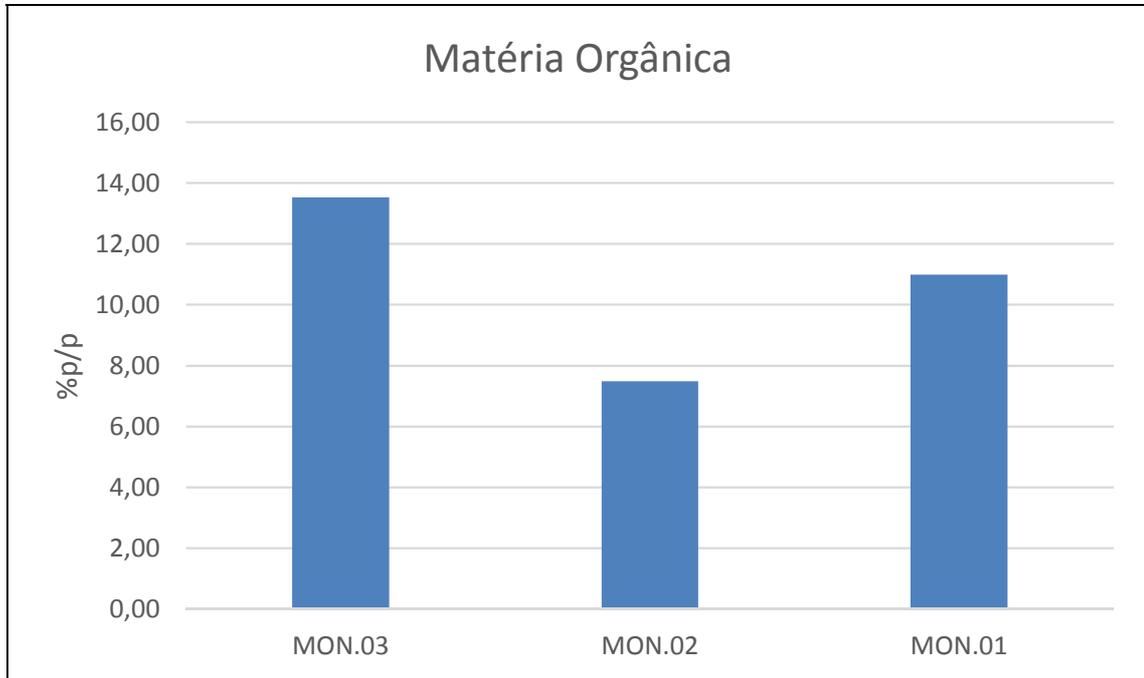


Figura 5.2.5-20 - Teores de matéria orgânica nas macrófitas amostradas no mês de julho/2014 (vazante), somente nas estações onde foi detectada ocorrência de macrófitas.

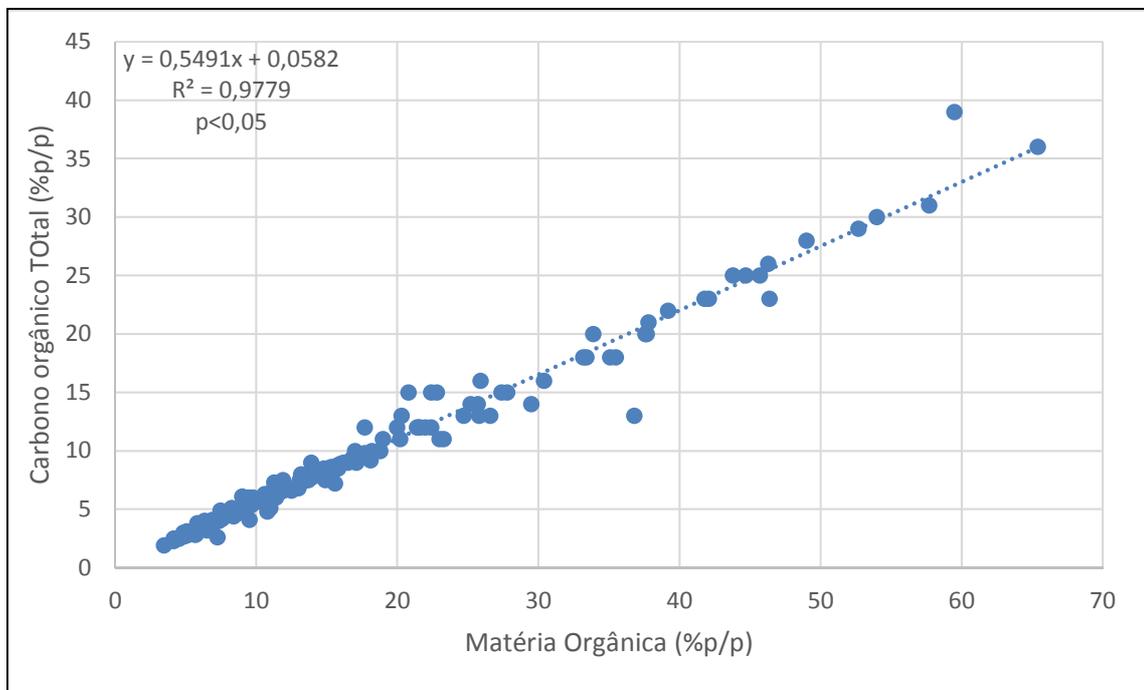


Figura 5.2.5-21 - Regressão linear entre as concentrações de matéria orgânica e de carbono orgânico considerando todas as amostragens do Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no Rio Madeira.

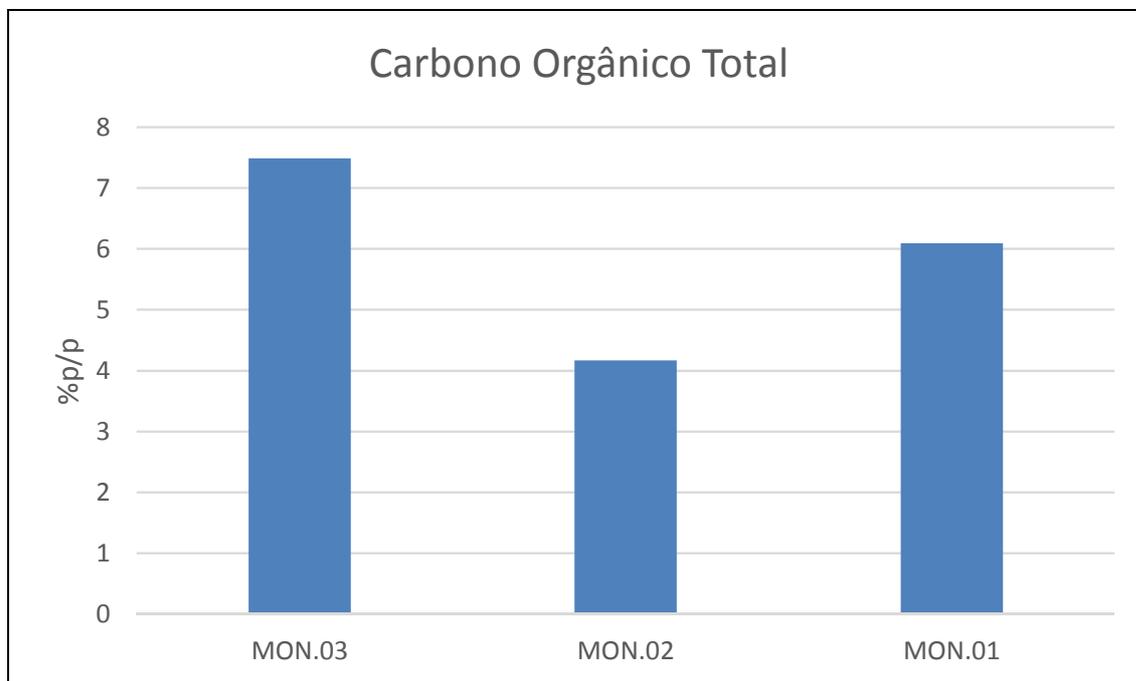


Figura 5.2.5-22 - Teores de carbono orgânico nas macrófitas amostradas no mês de julho/2014 (vazante), somente nas estações onde foi detectada ocorrência de macrófitas.

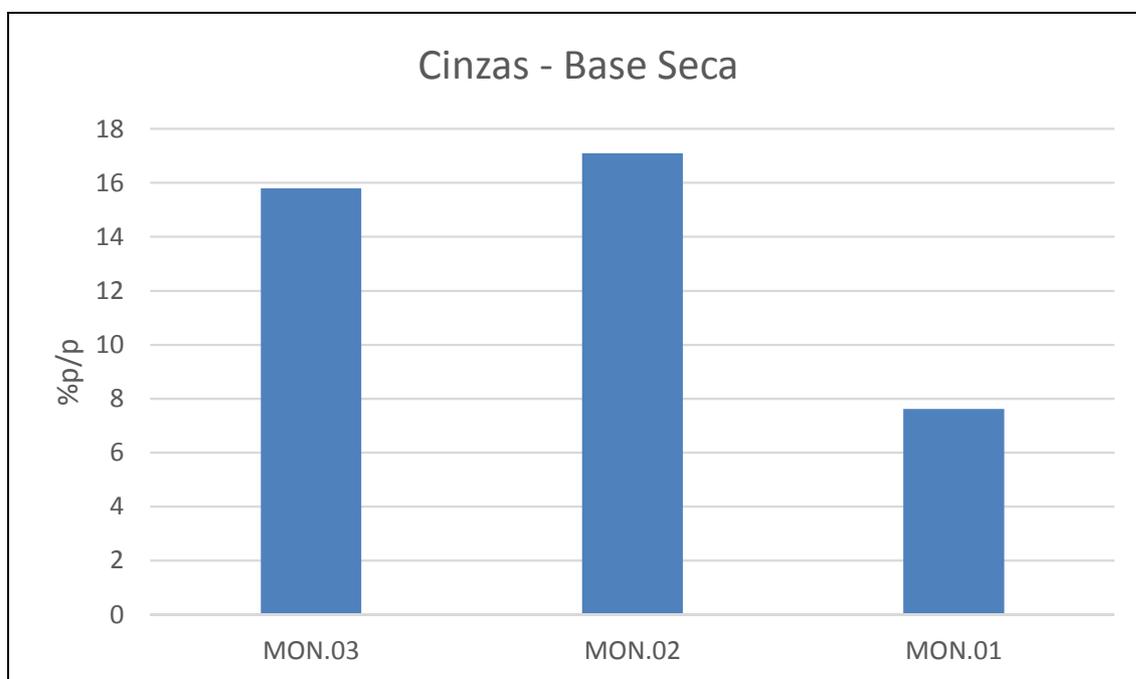


Figura 5.2.5-23 - Teor de cinzas (base seca) nas macrófitas amostradas no mês de julho/2014 (vazante), somente nas estações onde foi detectada ocorrência de macrófitas.

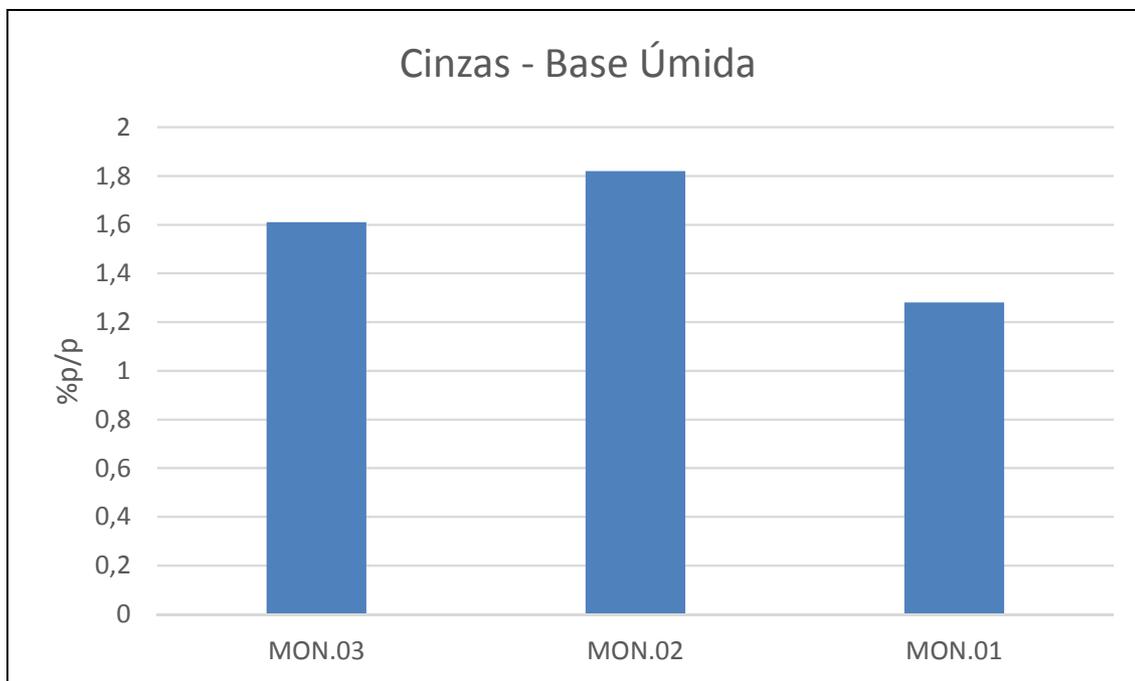


Figura 5.2.5-24 - Teor de cinzas (base úmida) nas macrófitas amostradas no mês de julho/2014 (vazante), somente nas estações onde foi detectada ocorrência

5.2.5.2.2 - Macronutrientes: sódio, potássio, cálcio e magnésio

As macrófitas são plantas que crescem em todos os tipos de ambientes aquáticos dulcícolas e em ambientes de transição entre sistemas aquáticos e terrestres, produzindo quantidades expressivas de matéria seca, com elevado teor de nutrientes (Ferreira *et al.*, 2003; Mazzola, 2005; Mannarino *et al.*, 2006). Os elementos minerais são adquiridos pelas plantas na forma de íons inorgânicos, através da área superficial de suas raízes.

Somente certos elementos são essenciais ao crescimento e desenvolvimento do ciclo de vida das plantas. Esses elementos são classificados, de acordo com a quantidade necessária para o vegetal, em macronutrientes (N, K, Ca, Mg, P, S e Si) e micronutrientes (Cl, Fe, B, Mn, Na, Zn, Cu, Ni e Mo).

Sódio, potássio, cálcio e magnésio aparecem em maiores concentrações e podem atingir até 5% do peso seco. Por outro lado, os micronutrientes são encontrados em quantidades reduzidas no vegetal, constituindo menos de 0,01% de sua massa (Epstein, 1975).

O teor médio de sódio nas macrófitas amostradas na área de estudo variou entre 57 mg/kg em MON.01 e 236 mg/kg em MON.02. As macrófitas de MON.03 apresentaram concentração de sódio similar à observada em MON.01 (Figura 5.2.5-25).

O teor médio de potássio foi semelhante nas três estações onde foram detectadas macrófitas, oscilando entre 21119 mg/kg em MON.01 e 25815 mg/kg em MON.02 (Figura 5.2.5-26).

Os teores de cálcio nas estações onde houve registro de macrófitas variaram entre 5944 mg/kg em MON.01 e 14974 mg/kg em MON.03 (Figura 5.2.5-27).

A concentração de magnésio também foi inferior em MON.01 (1762 mg/kg), com maior valor em MON.02 (3448 mg/kg) (Figura 5.2.5-28).

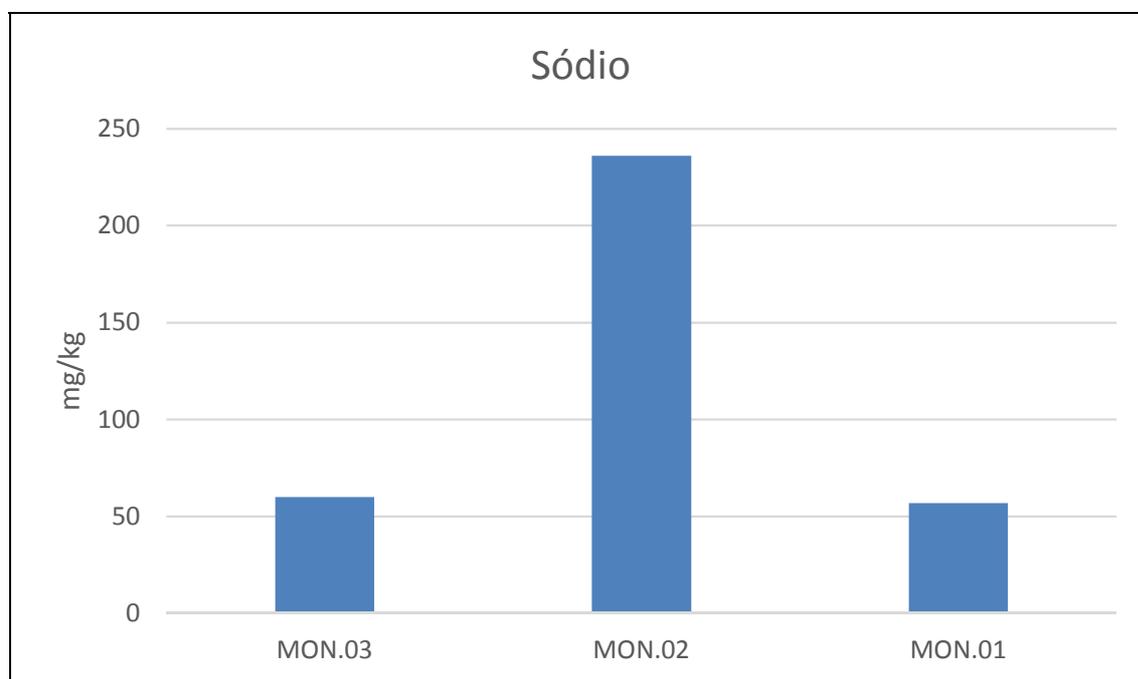


Figura 5.2.5-25 - Concentrações de sódio nas macrófitas amostradas no mês de julho/2014 (vazante), somente nas estações onde foi detectada ocorrência de macrófitas.

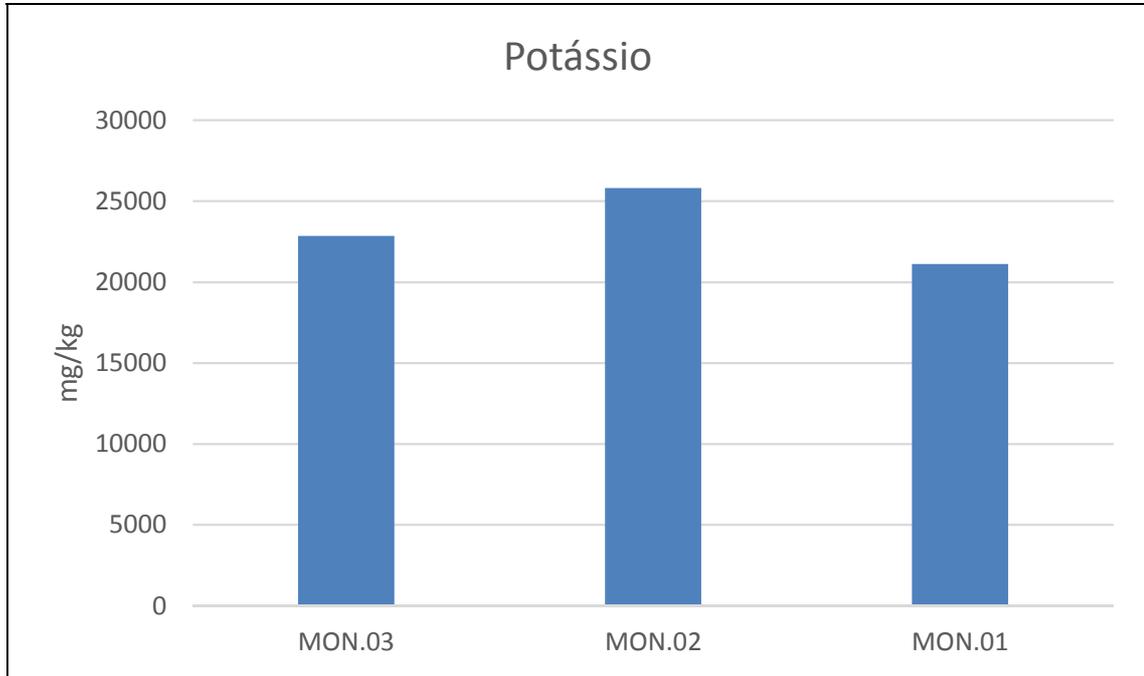


Figura 5.2.5-26 - Concentrações de potássio nas macrófitas amostradas no mês de julho/2014 (vazante), somente nas estações onde foi detectada ocorrência de macrófitas.

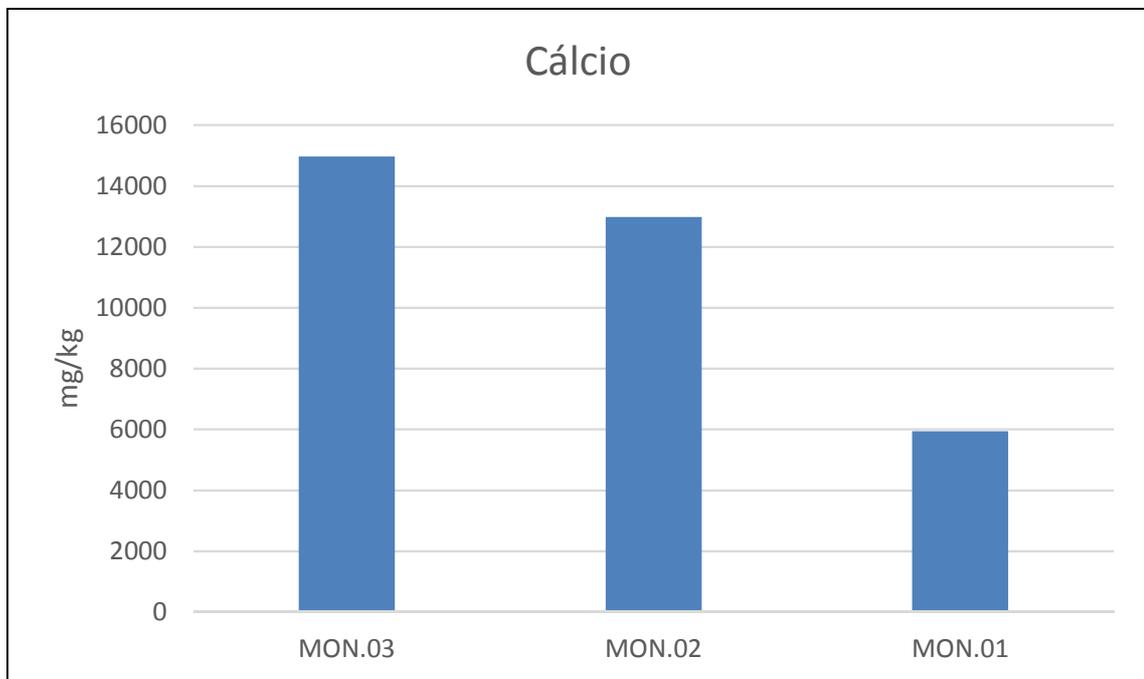


Figura 5.2.5-27 - Concentrações de cálcio nas macrófitas amostradas no mês de julho/2014 (vazante), somente nas estações onde foi detectada ocorrência de macrófitas.

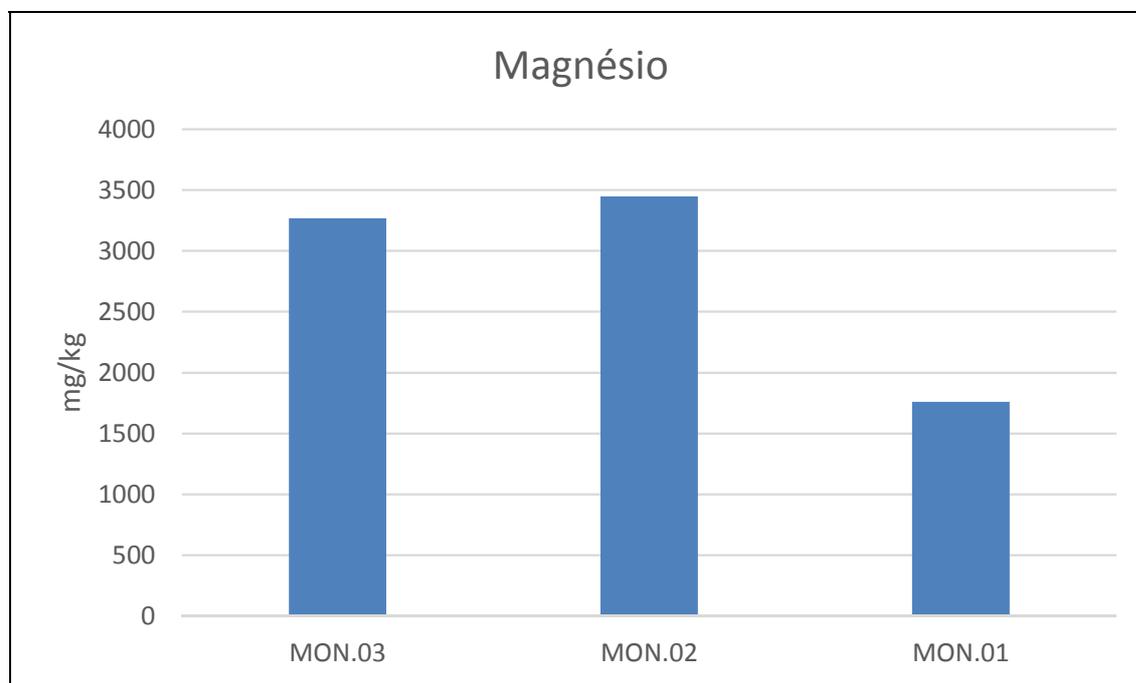


Figura 5.2.5-28 - Concentrações de magnésio nas macrófitas amostradas no mês de julho/2014 (vazante), somente nas estações onde foi detectada ocorrência de macrófitas.

5.2.5.2.3 - Elementos-traço

No período hidrológico avaliado no mês de julho de 2014 (vazante), as concentrações de cádmio, cobalto e estanho nas macrófitas amostradas na área de estudo ficaram abaixo do limite de quantificação do método (LQ) em todas as estações avaliadas. O cromo e o chumbo só foram quantificáveis em MON.02, com valores de 1,31 mg/kg e 0,71 mg/kg, respectivamente.

Em relação ao mercúrio, as concentrações oscilaram entre 0,027 mg/kg em MON.01 e 0,049 mg/kg em MON.03 (Figura 5.2.5-29).

O teor de alumínio oscilou entre 60 mg/kg em MON.01 e 580 mg/kg em MON.02 (Figura 5.2.5-30).

O bário também apresentou concentração mais elevada em MON.02 (91 mg/kg), com concentração mais baixa em MON.01 (38 mg/kg) (Figura 5.2.5-31).

Com relação ao cobre, as macrófitas de MON.02 foram as que apresentaram o menor valor (7,3 mg/kg), enquanto que as macrófitas de MON.03 foram as que apresentaram a maior concentração (13 mg/kg) (Figura 5.2.5-32).

Os teores de ferro tiveram pico nas macrófitas de MON.02 (937 mg/kg), com valor mínimo em MON.01 (117 mg/kg) (Figura 5.2.5-33).

Já no que diz respeito ao manganês, houve pico também em MON.02 (987 mg/kg), com valor mais baixo em MON.01 (275 mg/kg) (Figura 5.2.5-34).

As concentrações de níquel oscilaram entre 2,1 mg/kg em MON.02 e 8,96 mg/kg em MON.01 (Figura 5.2.5-35).

Os teores de silício variaram entre 84 mg/kg em MON.01 e 128 mg/kg em MON.03 (Figura 5.2.5-36).

Quanto ao zinco, a menor concentração também foi registrada em MON.01 (17 mg/kg), e o maior em MON.03 (20 mg/kg), mas observou-se que a variação espacial foi muito pouco expressiva (Figura 5.2.5-37).

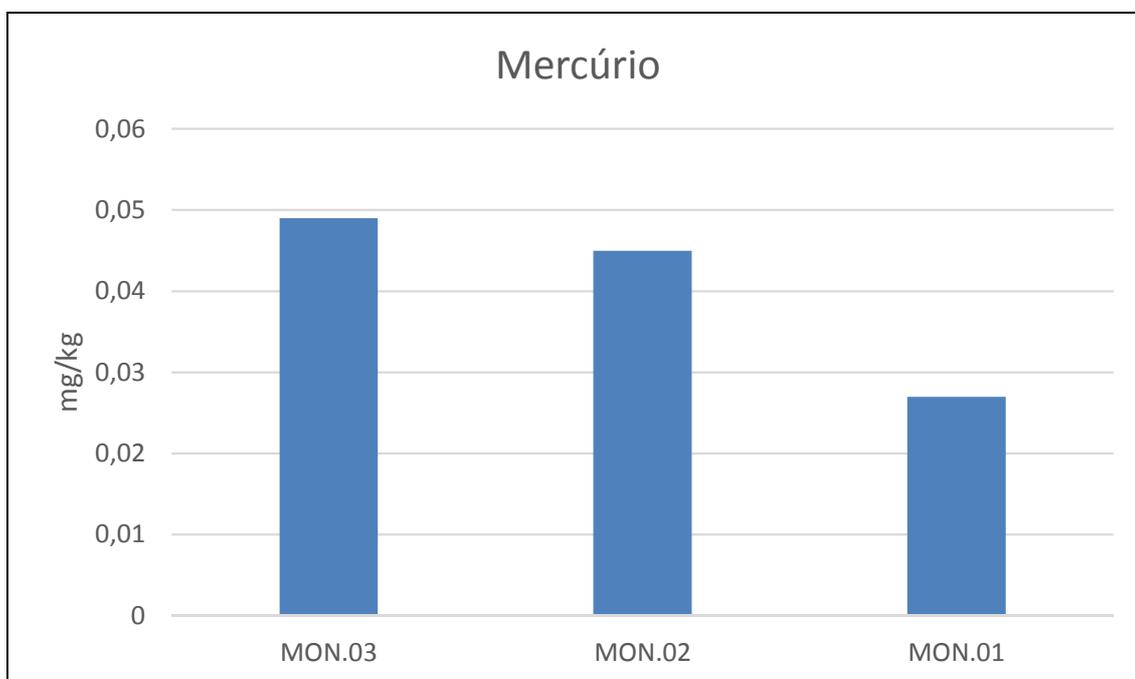


Figura 5.2.5-29 - Concentrações de mercúrio nas macrófitas amostradas no mês de julho/2014 (vazante), somente nas estações onde foi detectada ocorrência de macrófitas.

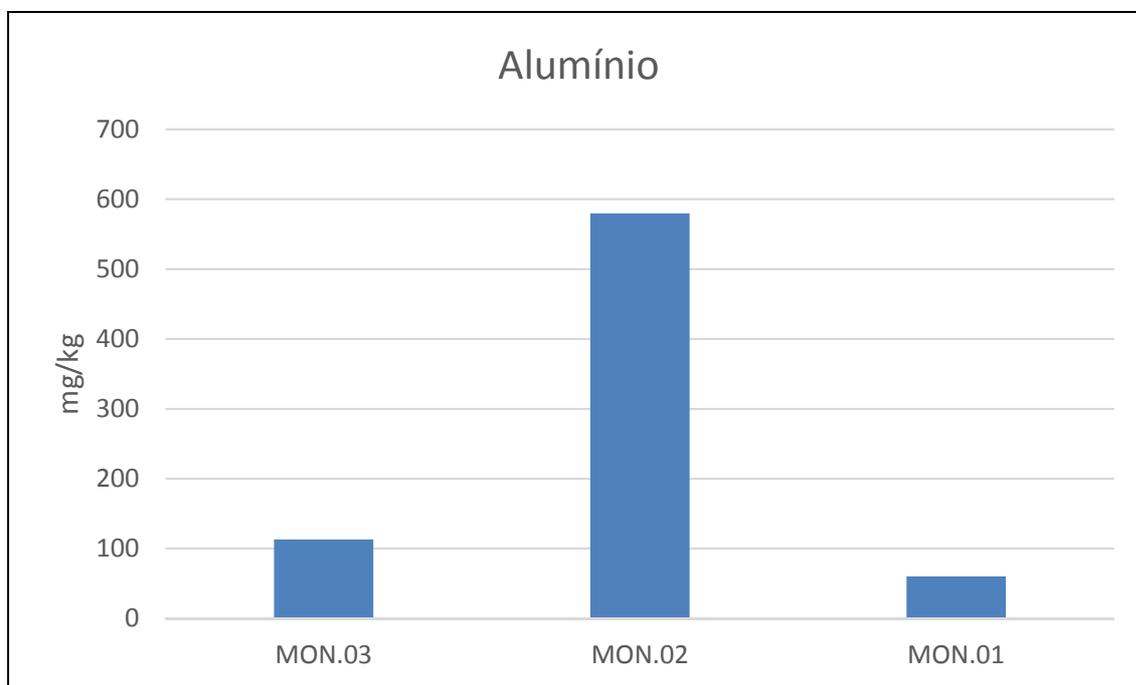


Figura 5.2.5-30 - Concentrações de alumínio nas macrófitas amostradas no mês de julho/2014 (vazante), somente nas estações onde foi detectada ocorrência de macrófitas.

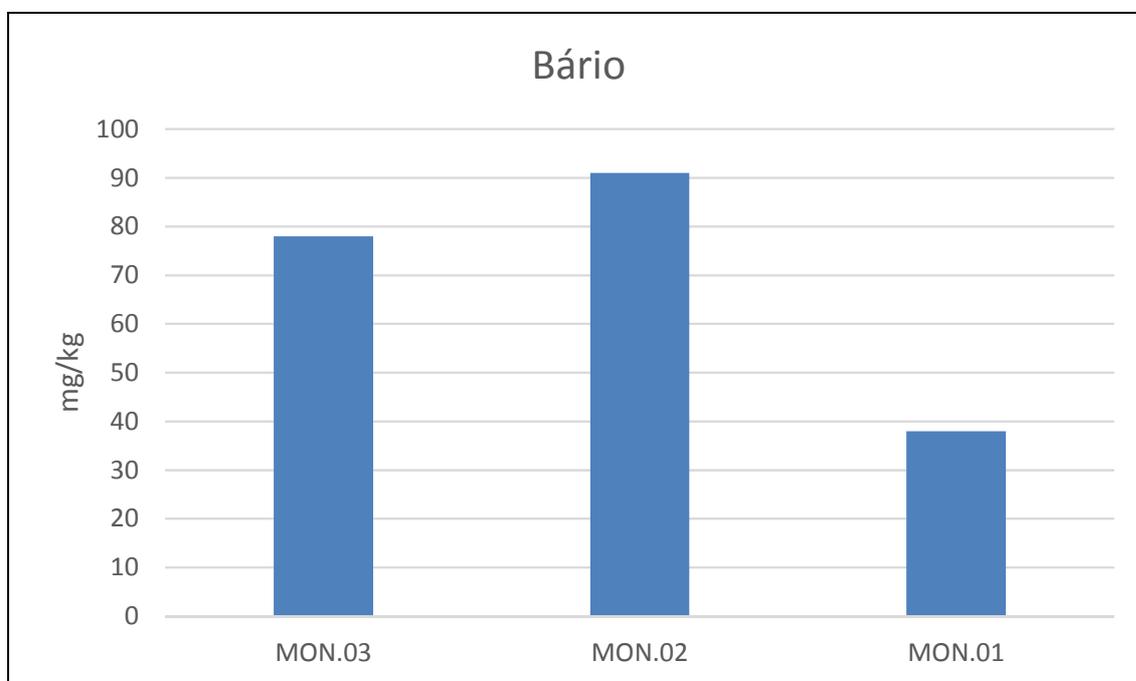


Figura 5.2.5-31 - Concentrações de bário nas macrófitas amostradas no mês de julho/2014 (vazante), somente nas estações onde foi detectada ocorrência de macrófitas.

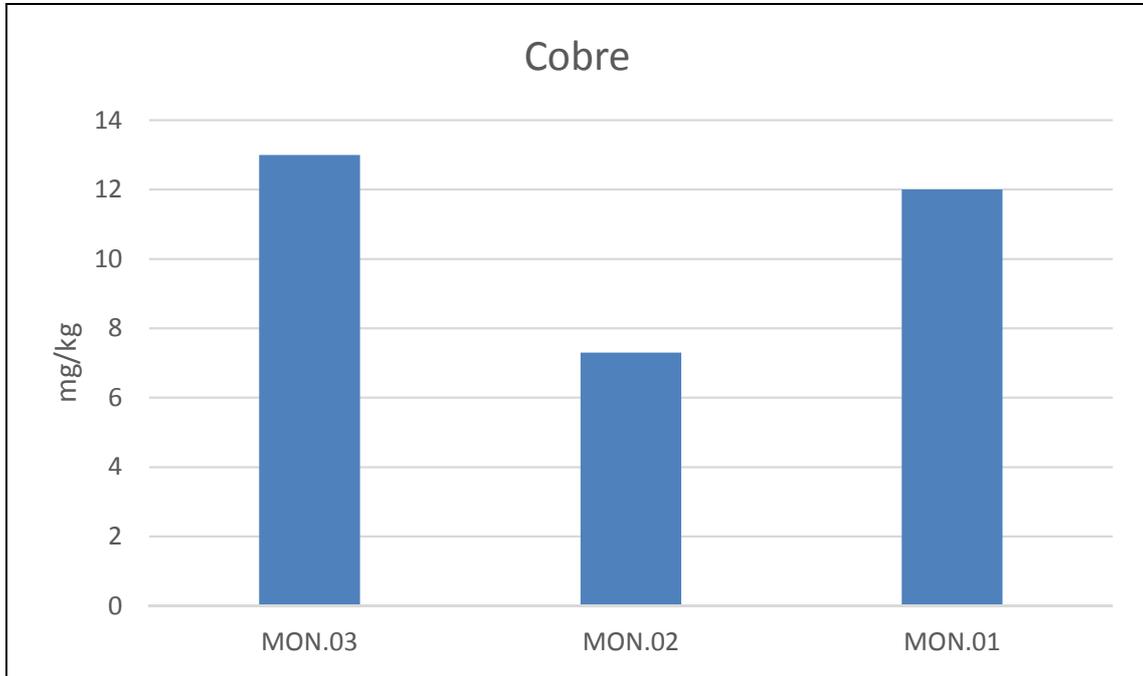


Figura 5.2.5-32 - Concentrações de cobre nas macrófitas amostradas no mês de julho/2014 (vazante), somente nas estações onde foi detectada ocorrência de macrófitas.

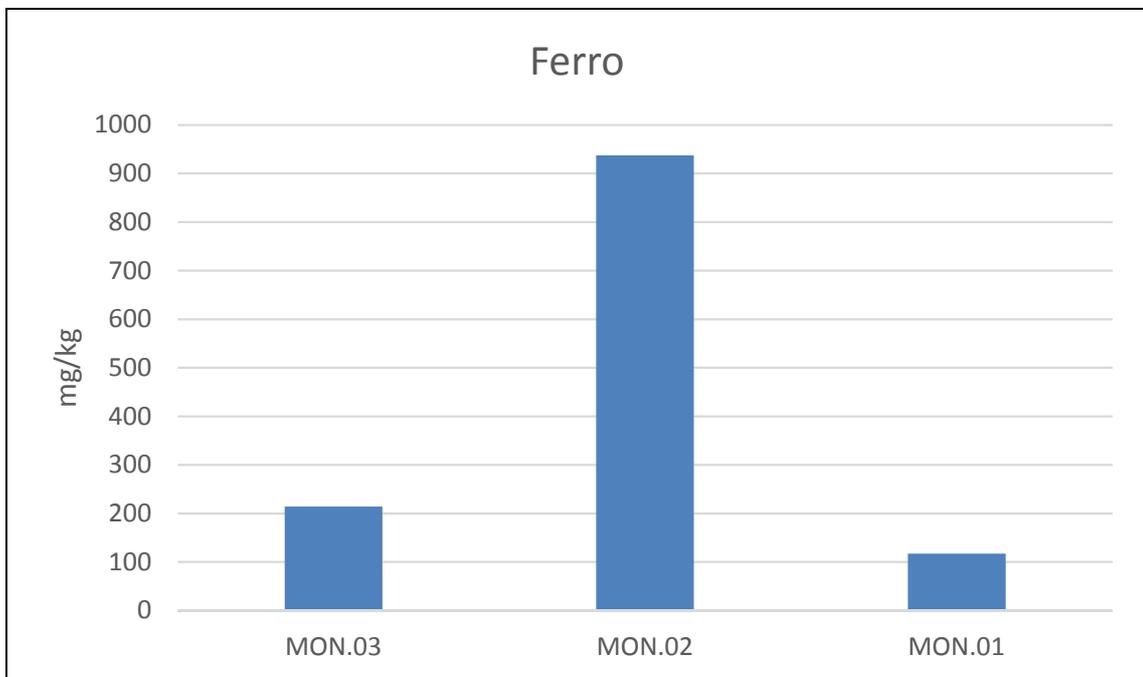


Figura 5.2.5-33 - Concentrações de ferro nas macrófitas amostradas no mês de julho/2014 (vazante), somente nas estações onde foi detectada ocorrência de macrófitas.

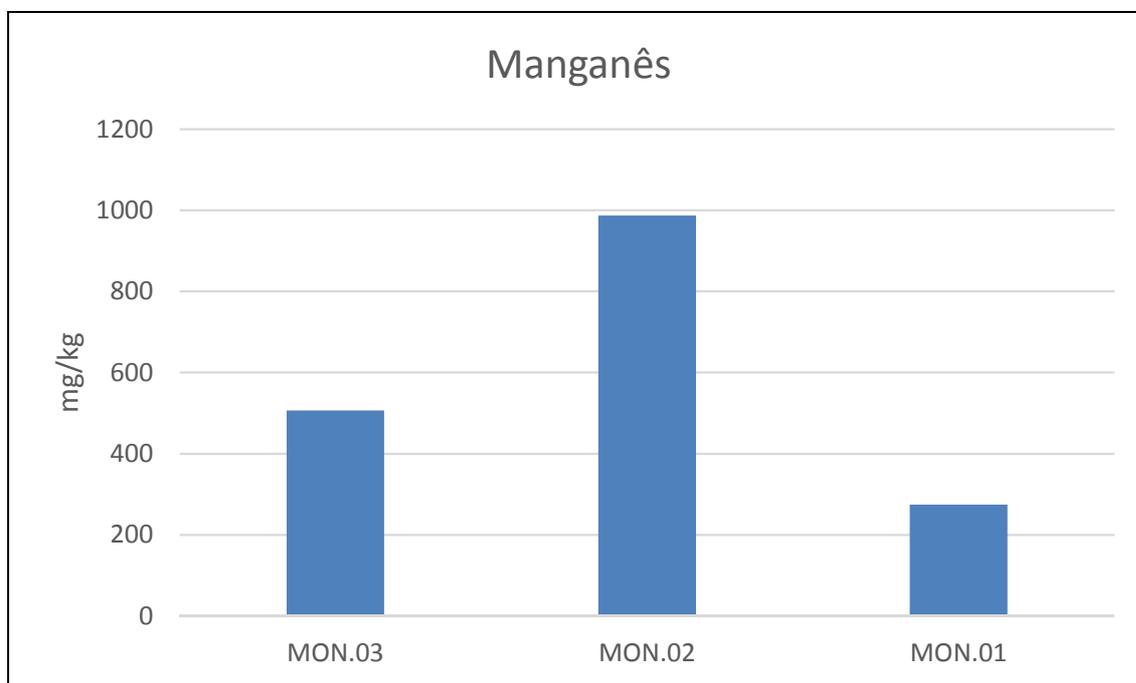


Figura 5.2.5-34 - Concentrações de manganês nas macrófitas amostradas no mês de julho/2014 (vazante), somente nas estações onde foi detectada ocorrência de macrófitas.

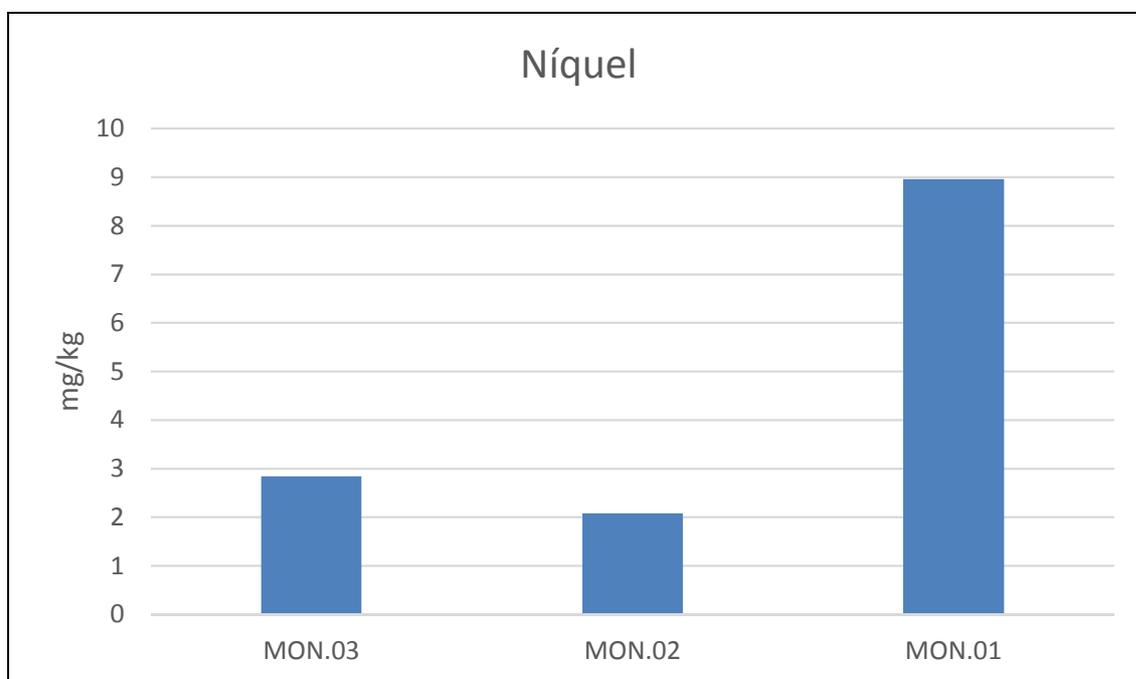


Figura 5.2.5-35 - Concentrações de níquel nas macrófitas amostradas no mês de julho/2014 (vazante), somente nas estações onde foi detectada ocorrência de macrófitas.

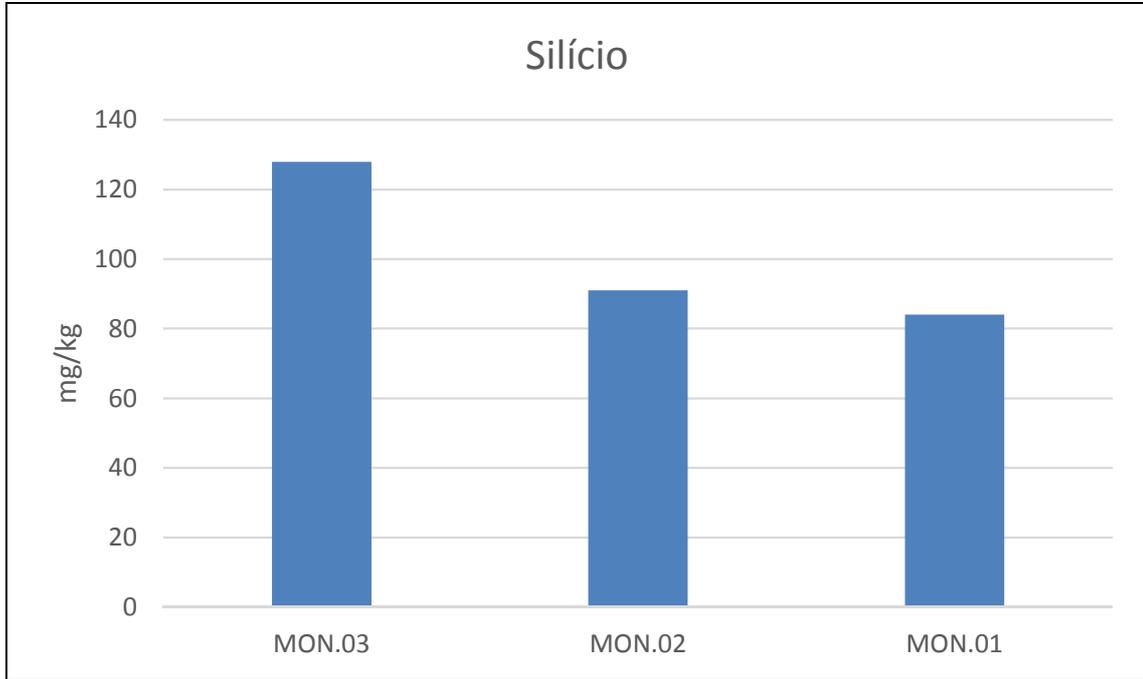


Figura 5.2.5-36 - Concentrações de silício nas macrófitas amostradas no mês de julho/2014 (vazante), somente nas estações onde foi detectada ocorrência de macrófitas.

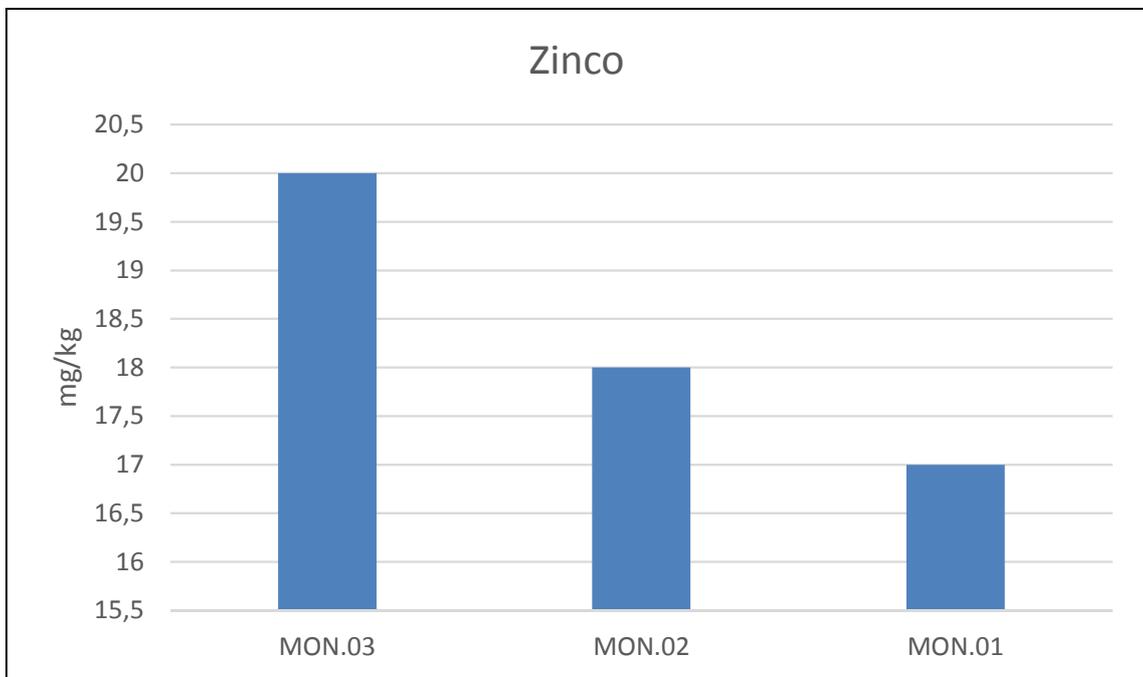


Figura 5.2.5-37 - Concentrações de zinco nas macrófitas amostradas no mês de julho/2014 (vazante), somente nas estações onde foi detectada ocorrência de macrófitas. As estações situadas no rio Madeira, tributários e lago Cuniã estão representadas por colunas de cor azul, verde e vermelho, respectivamente.

5.2.5.3 - Discussão

A comunidade de macrófitas aquáticas no rio Madeira, seus tributários e no lago Cuniã na área de influência da UHE Santo Antônio no rio Madeira, durante a campanha de vazante em julho de 2014, registrou um valor máximo de 7 táxons. Este valor é baixo quando comparado com outras campanhas no período de vazante, tais como as campanhas de junho de 2009 (15 táxons), julho de 2010 (22 táxons) e agosto de 2011 (19 táxons) referentes à Fase 1 do empreendimento e a campanha de junho de 2012 (12 táxons) referente à Fase 2 do empreendimento, mas é semelhante quando comparada com a campanha de vazante anterior, de julho de 2013 (6 táxons) referente à Fase 3 do empreendimento. Vale destacar que ocorreram espécies de macrófitas somente no rio Madeira nas estações MON.03, MON.02 e MON.01.

De uma forma geral, a total dominância da espécie *Pontederia rotundifolia* (MON. 01) contribuiu para o baixo valor do índice de diversidade específica e, conseqüentemente, para a baixa equitabilidade, componente que avalia o grau de uniformidade na contribuição proporcional de indivíduos ou em biomassa das espécies de uma comunidade. Na campanha de julho de 2014, a diversidade específica foi considerada baixa para o rio Madeira, o único sistema onde macrófitas foram encontradas.

Em julho de 2014, de um modo geral, não foram observadas altas densidades de macrófitas, tendo apenas como destaque a densidade da espécie *Salvinia minima* que ocorreu em alta densidade apenas na estação MON.03 (249 ind m⁻²). A menor densidade foi registrada na estação MON.01 com 4 ind m⁻² de *P. rotundifolia* e em MON.02 com 4 ind m⁻² de *P. repens* e *P. hispidum*.

Em termos de biomassa, foram observadas exemplares grandes das espécies *Eichhornia crassipes* e *Pontederia rotundifolia*, o que elevou os valores de biomassa absoluta nas estações MON.03, MON.02 e MON.01, apesar da baixa densidade. Tais espécies merecem atenção uma vez que foram classificadas como abundantes (*E. crassipes*) ou como pouco abundantes (*P. rotundifolia*). As espécies *E. crassipes* e *P. rotundifolia* são macrófitas flutuantes e de folha flutuante, respectivamente, sendo perenes. Embora úteis para depuração dos nutrientes da água, a sua decomposição diminui o oxigênio dissolvido e aumenta a DBO. Elas são muito comuns em água doce, sendo que, sob condições favoráveis, rapidamente são disseminadas, colonizando extensas superfícies dos corpos d'água em um tempo reduzido. Elas apresentam também uma ampla distribuição geográfica. A produção de grande biomassa destas espécies pode ter como conseqüências, problemas de caráter ambiental (como sombreamento e supressão das algas

planctônicas o enriquecimento das águas com nutrientes provindos da sua decomposição e a depleção do oxigênio dissolvido da água), de saúde pública (facilitação a proliferação de vetores) e de estrutura/gestão das usinas (como o entupimento de turbinas). A elevada abundância, dominância e biomassa dessas espécies, principalmente *Eichhornia crassipes*, pode ser um alerta para a possibilidade de expansão da ocorrência de espécies potencialmente infestantes, o que precisa ser monitorado de modo a ser alvo de intervenção ainda na fase inicial da proliferação.

Com relação aos estimadores de riqueza Jackknife de primeira ordem e Chao de segunda ordem, para a campanha referente ao período de julho de 2014, o valor da riqueza observada (7 táxons) foi próximo ao valor gerado pelo estimador de riqueza Chao de segunda ordem (10 táxons) e pelo estimador Jackknife de primeira ordem (11 táxons) no sistema rio Madeira. As curvas de rarefação avaliadas nos três sistemas (rio Madeira, seus tributários e lagos e canais) indicaram uma tendência à estabilização, que foi, no entanto, menos pronunciada nos tributários. Isto pode estar associado ao fato das mudanças na hidrodinâmica deste ecossistema serem mais recentes do que nos demais. Esses resultados indicam que a inclusão de novos táxons tende a ser cada vez menor à medida que se amostra. A curva de rarefação indicou que, com base em um mesmo esforço amostral, uma diversidade mais alta é esperada nos lago Cuniã, seguida pelos tributários e, por fim, no rio Madeira.

As estações MON.02 e MON.03 apresentaram a maior similaridade na composição taxonômica dentre as estações avaliadas em julho de 2014, no entanto ela foi considerada baixa (12,1%). A análise de ordenação (dendrograma de dissimilaridade e NMDS) para o período de vazante compreendido entre 2009 e 2014 demonstra que os três sistemas amostrados foram diferentes em composição e abundância quando a fase 1 do empreendimento foi comparada com as fases 2 e 3. Neste período de vazante, houve uma baixa similaridade entre os sistemas. Após o enchimento, a composição do rio Madeira tendeu a se assimilar a dos lagos e canais, ao passo que a composição dos tributários tendeu a divergir das fases anteriores e dos demais sistemas após o enchimento.

As comparações quanto a densidade, a biomassa, a riqueza e a diversidade para as três fases do empreendimento (Pré-enchimento - Fase 1, Enchimento e Estabilização - Fase 2 e Operação - Fase 3) em cada sistema amostrado (rio Madeira, tributários e lagos e canais) nos períodos de vazante compreendidos entre 2009 e 2014 indicaram que os parâmetros descritores da dinâmica da comunidade não apresentaram diferenças significativas, exceto para o lago Cuniã, no qual foi observado uma diminuição significativa na densidade na Fase 3 quando comparado com a Fase 1

do empreendimento. Essa distinção pode não estar associada ao funcionamento do empreendimento, mas sim as respostas da comunidade à dinâmica hidrológica (com regimes extremos como o caso da cheia de 2014, por exemplo).

A não ocorrência de diferenças na densidade, na riqueza, na diversidade e na biomassa no rio Madeira e nos tributários indicou pouca influência das alterações hidrodinâmicas advindas do empreendimento em aspectos como a produtividade e diversidade da comunidade de macrófitas aquáticas, embora a análise de ordenação NMDS tenha revelado uma mudança na composição das espécies no rio Madeira e também nos seus tributários e no lago Cuniã para o período de vazante compreendido entre 2009 a 2014.

No que diz respeito à composição química das macrófitas aquáticas, com relação aos macronutrientes, os cátions mais abundantes foram potássio, cálcio, magnésio e sódio, respectivamente. Para boa parte das variáveis analisadas as maiores concentrações foram observadas nas macrófitas da estação MON.02, onde houve predominância de *E. crassipes*.

A estequiometria e a composição nutricional são determinadas pelas variações na disponibilidade dos elementos em escala local e devido às exigências dos organismos, o que varia entre espécies de grupos funcionais distintos, de espécie para espécie de um mesmo grupo funcional, de indivíduo para indivíduo de uma mesma espécie ou mesmo em fases diferentes do ciclo de vida de um único indivíduo (Hessen & Anderson, 2008). Portanto, essas aproximações dificilmente podem ser exploradas de maneira complexa na escala deste estudo, sendo mais importante aqui ressaltar somente que a diversidade da vegetação aquática apresenta grande variabilidade quanto à composição nutricional. Isso é claramente ilustrado pelo fato de que, em geral, as maiores concentrações de cátions e elementos-traço foram encontradas nas macrófitas de MON.02, onde houve predominância de *E. crassipes*. Por sua vez, as menores concentrações dos elementos avaliados foram comumente registradas em MON.01, onde houve predomínio da espécie *Pontederia rotundifolia*.

A presença de elementos-traço em concentrações variadas nas plantas pode estar associada à disposição de suas raízes, em contato com a água ou com o sedimento, a partir de onde as plantas retêm esses elementos. Outros fatores também podem estar relacionados a esses padrões, como, por exemplo, a morfologia (determinada pelo grupo funcional a que pertencem) e fisiologia das plantas analisadas e a dinâmica desses elementos dentro dos ambientes avaliados.