

## ÍNDICE

<b>5 - Resultados .....</b>	<b>1/158</b>
5.1 - Abióticos .....	1/158
5.1.1 - Físicas A e B.....	2/158
5.1.1.1 - Temperatura do ar e da água .....	2/158
5.1.1.2 - Profundidade, transparência, cor e velocidade de corrente.....	9/158
5.1.2 - Físicas C.....	17/158
5.1.2.1 - Turbidez.....	17/158
5.1.2.2 - Sólidos em suspensão, Sólidos totais dissolvidos, Sólidos totais, Sólidos fixos, Sólidos voláteis .....	25/158
5.1.3 - Físico-químicas .....	34/158
5.1.3.1 - Condutividade elétrica.....	34/158
5.1.3.2 - Potencial hidrogeniônico (pH) .....	42/158
5.1.4 - Químicas I-A.....	49/158
5.1.4.1 - Oxigênio - concentração .....	49/158
5.1.4.2 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO <sub>5</sub> ) .....	57/158
5.1.4.3 - Demanda química de oxigênio (DQO) .....	60/158
5.1.4.4 - Carbono inorgânico, Carbono orgânico total, Carbono total, Carbono orgânico refratário e Carbono orgânico dissolvido.....	62/158
5.1.5 - Química II.....	70/158
5.1.5.1 - Sistema tampão (Alcalinidade, Dureza e Dureza devido ao cálcio e magnésio) .....	70/158
5.1.6 - Químicas III.....	78/158
5.1.6.1 - Íons principais (Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) .....	78/158

5.1.7 -	Químicas IV.....	92/158
5.1.7.1 -	Conteúdo nutricional: Nitrogênio (Nitrogênio amoniacal, Nitrito, Nitrito, Nitrogênio inorgânico dissolvido, Nitrogênio orgânico dissolvido, Nitrogênio total dissolvido, Nitrogênio orgânico total e Nitrogênio particulado, Nitrogênio total) .....	92/158
5.1.7.2 -	Conteúdo nutricional: Fósforo (Ortofosfato, Fósforo total dissolvido, Fósforo total, Fósforo orgânico dissolvido, Fósforo orgânico total e Fósforo particulado).....	109/158
5.1.7.3 -	Conteúdo nutricional: Silicatos reativos .....	121/158
5.1.8 -	Químicas V.....	123/158
5.1.8.1 -	Óleos e graxas .....	123/158
5.1.8.2 -	Ferro .....	124/158
5.1.9 -	Químicas VI.....	127/158
5.1.9.1 -	Elementos-traço.....	127/158
5.1.9.2 -	Biocidas.....	140/158
5.1.10 -	Biológicas .....	141/158
5.1.10.1 -	Coliformes totais e Escherichia coli.....	141/158
5.1.10.2 -	Clorofila <i>a</i> e pigmentos totais.....	145/158
5.1.10.3 -	Fracionamento isotópico ( $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ ).....	149/158
5.1.10.4 -	Pontos de captação de água para abastecimento público: PCM e PCT .....	153/158
5.1.11 -	Índices .....	153/158
5.1.11.1 -	Índice de estado trófico (IET) .....	153/158
5.1.11.2 -	Índice de qualidade da água (IQA) .....	155/158
5.1.11.3 -	Ordenação espacial das variáveis limnológicas .....	157/158

## ANEXOS

Anexo 5.a -           Laudos Abióticos (Via Digital))

Anexo 5.b -           Laudos Bióticos (Digital)



## 5 - RESULTADOS

Os resultados das variáveis abióticas e bióticas estão respectivamente apresentados nos **Anexo 5.a** e **Anexo 5.b**.

### 5.1 - ABIÓTICOS

O rio Madeira apresenta períodos hidrológicos muito bem definidos durante o ano, uma vez que estes períodos são determinados pelo degelo nos Andes e pela alta precipitação anual, distribuída de maneira desigual ao longo do ano. A sazonalidade bem definida do regime hídrico monomodal possibilita o estabelecimento criterioso das datas dos trabalhos de campo, em função das variações no nível do rio, em quatro períodos hidrológicos distintos: vazante, águas baixas, enchente e águas altas.

Este relatório apresenta os resultados observados no período de águas baixas de 2012. A variação do nível da água ao longo do ano de 2012 e o mês em que foi realizada a campanha de campo do Monitoramento Limnológico e Macrófitas Aquáticas são mostrados na **Figura 5.1-1**.

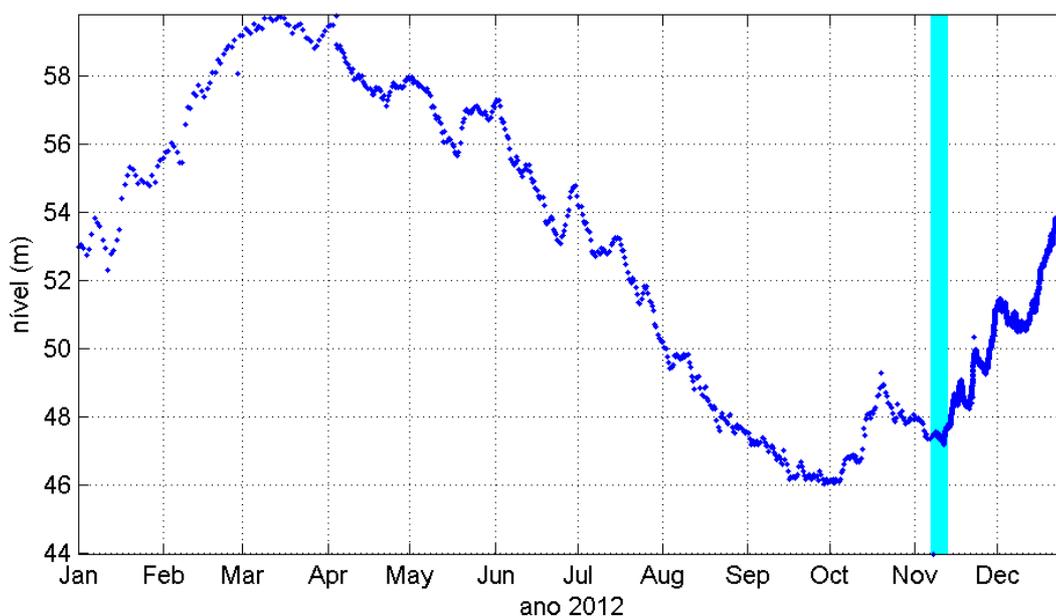


Figura 5.1-1 - Variação do nível do rio Madeira, medida na estação de Porto Velho-RO. As barras indicam a campanha realizada no período de águas baixas (novembro de 2012).

## 5.1.1 - Físicas A e B

### 5.1.1.1 - Temperatura do ar e da água

No rio Madeira a temperatura média do ar foi de  $30,5 \pm 1,2^{\circ}\text{C}$  (média  $\pm$  DP). A temperatura média da água foi de  $31 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$  (média  $\pm$  DP), variando entre  $30,5^{\circ}\text{C}$  e  $31,4^{\circ}\text{C}$  (Figura 5.1-2). O rio Madeira apresentou considerável uniformidade térmica na coluna d'água nas estações MON.05, JUS.01 e JUS.03. Já a temperatura nas estações MON.04, MON.03, MON.02, MON.01 e JUS.02 decresceu em direção ao fundo. As maiores variações entre a superfície e o fundo foram observadas na estações MON.04 e MON.03, sendo respectivamente de  $1,93$  e  $1,49^{\circ}\text{C}$ . (Figura 5.1-3).

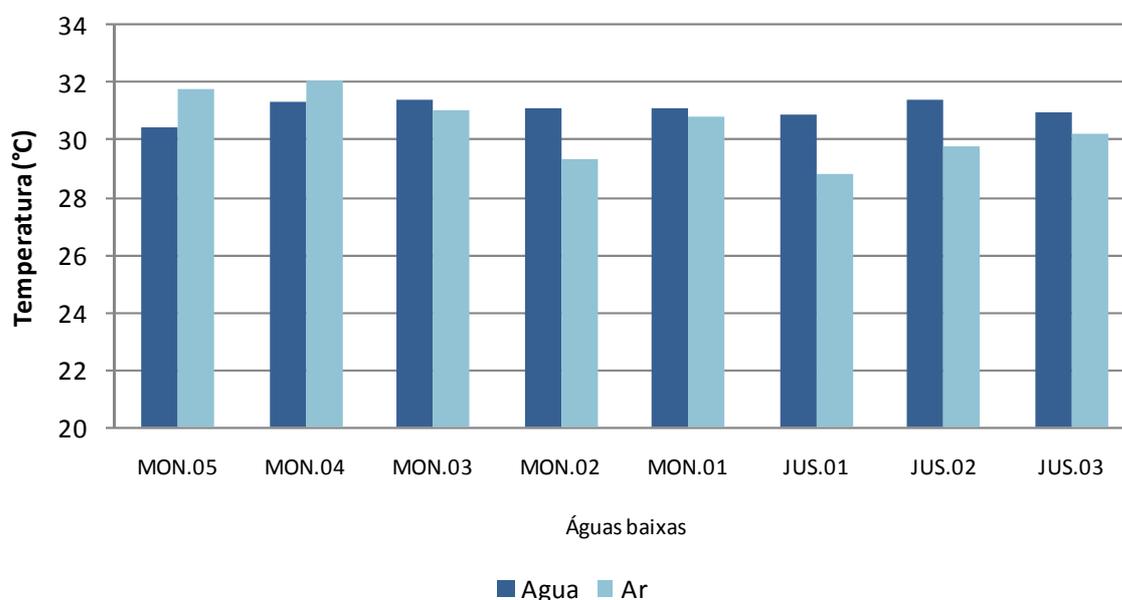


Figura 5.1-2 - Temperatura da água no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

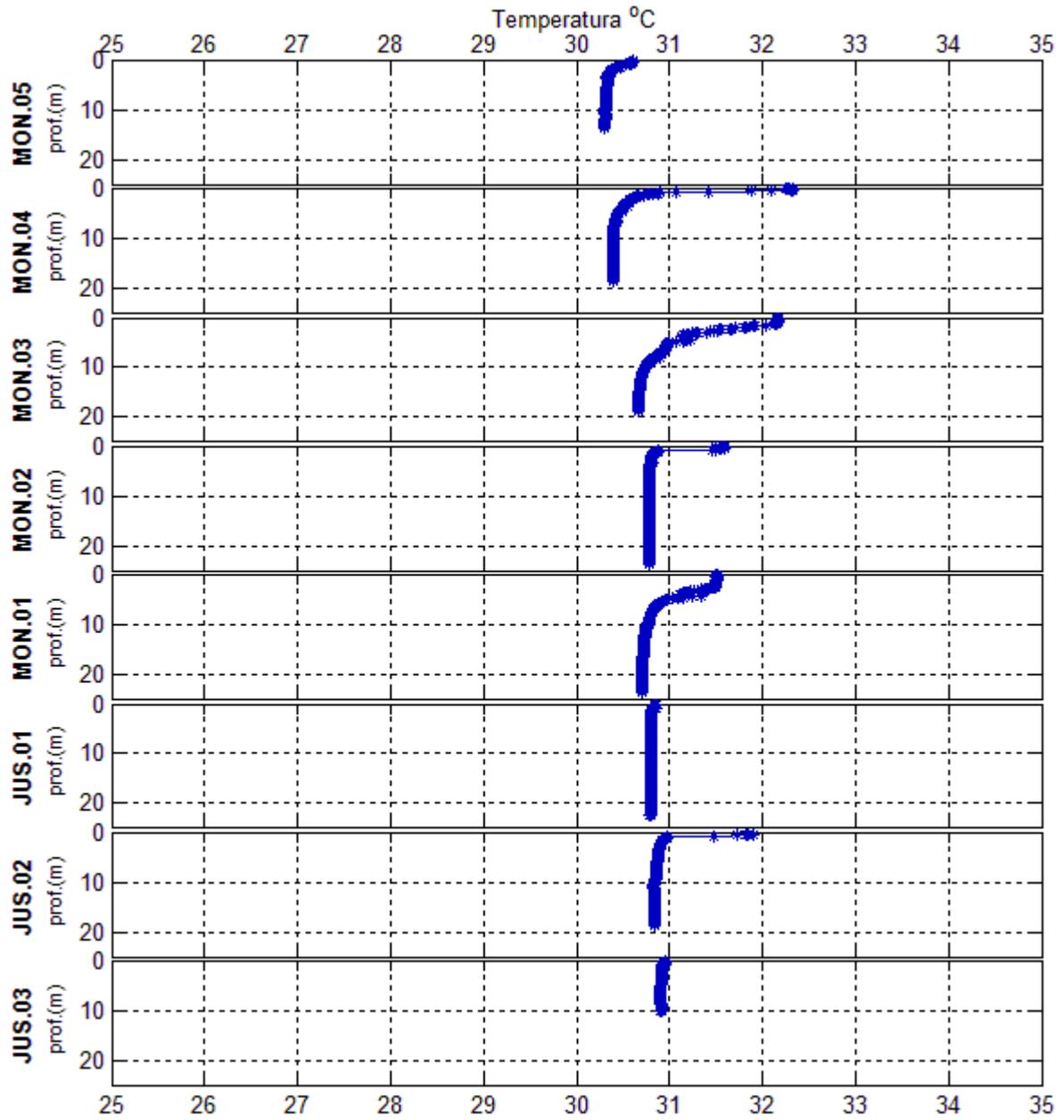
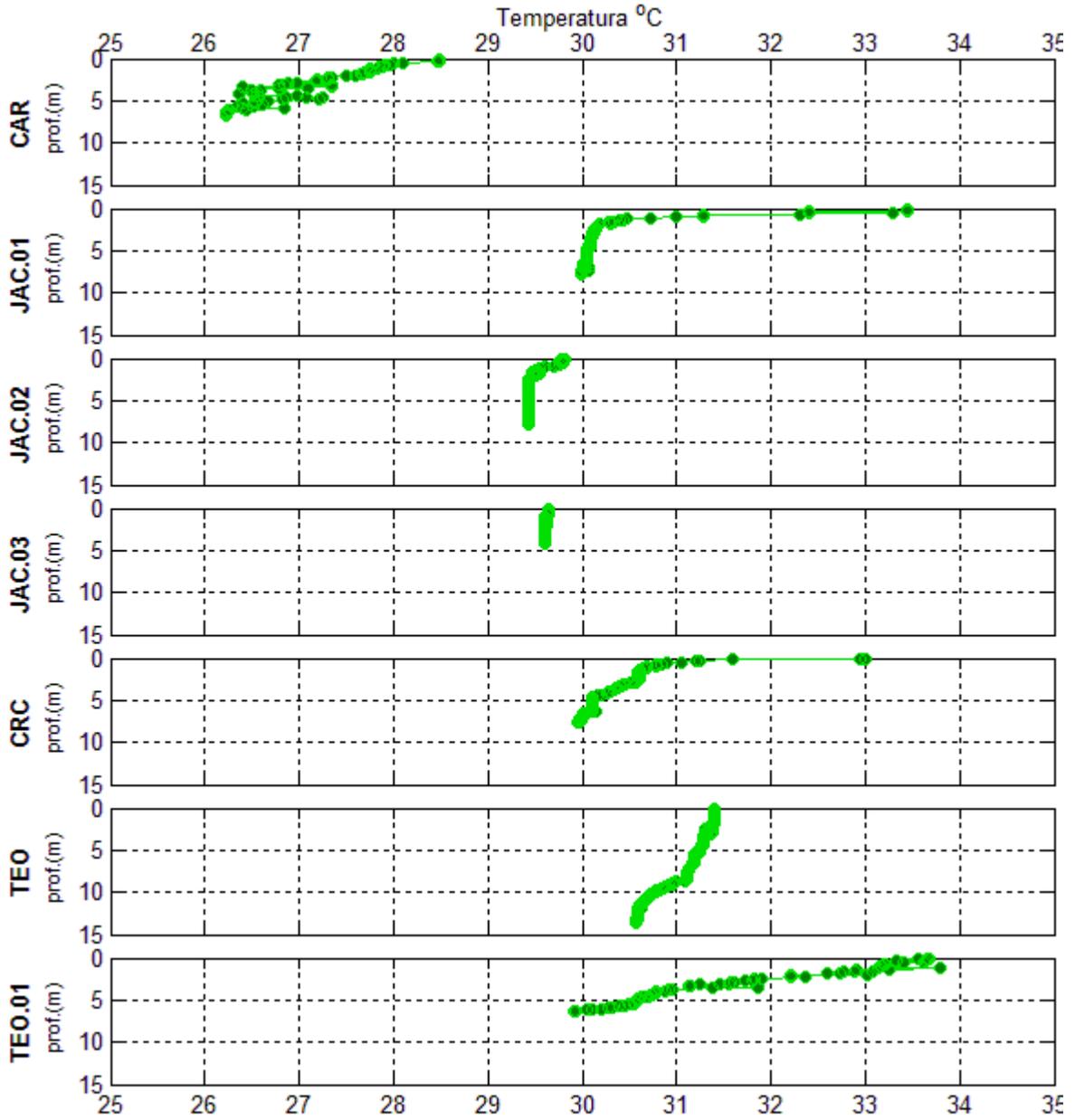


Figura 5.1-3 - Perfil de Temperatura da água no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

A temperatura média do ar nos tributários foi de  $29,8 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$  (média  $\pm$  DP). A temperatura da água variou entre  $27^{\circ}\text{C}$  (CAR) a  $31,7^{\circ}\text{C}$  (JAC.01), com média de  $30 \pm 1,4^{\circ}\text{C}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-4) Os perfis térmicos indicaram que as estações CAR, JAC.01, CRC, TEO.01, JAT I, JAT I.01, CEA e CEA.01, situadas a montante da barragem, apresentaram coluna d'água estratificada. Por outro lado, as demais estações apresentaram coluna d'água homogênea. O rio Jaci-Paraná (JAC.02 e JAC.03), em geral, foi o único tributário a montante que manteve uniformidade térmica da coluna d'água após o represamento (Figura 5.1-5).



Figura 5.1-4 - Temperatura da água nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).



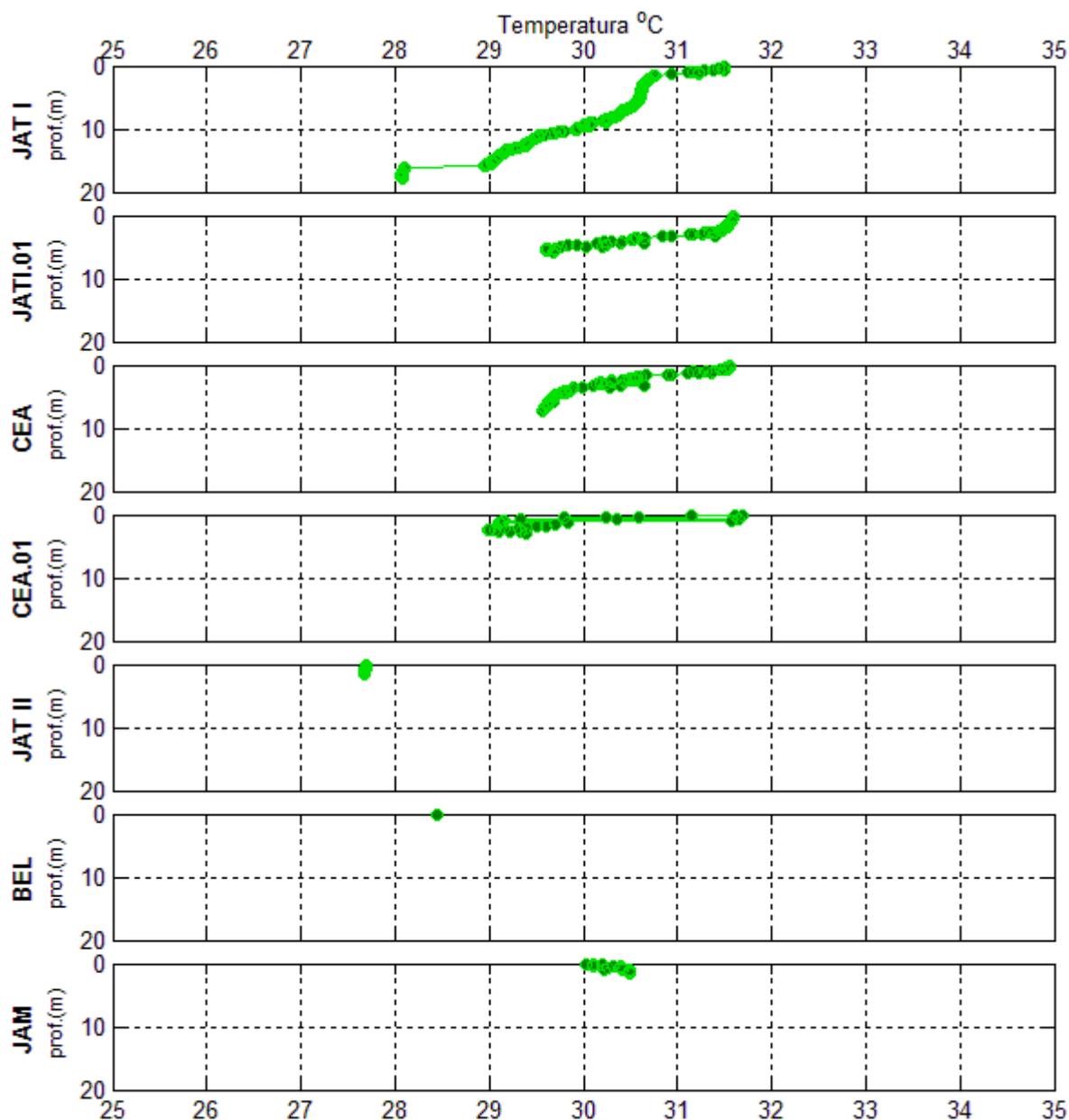


Figura 5.1-5 - Perfil de Temperatura da água nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos lagos e canais, a temperatura média do ar foi de  $29,6 \pm 1,8^{\circ}\text{C}$  (média  $\pm$  DP). A temperatura da água variou entre  $28,3^{\circ}\text{C}$  (LC.01) e  $32,9^{\circ}\text{C}$  (CUJ), tendo uma média de  $30,1 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-6). Os perfis térmicos evidenciaram homogeneidade da coluna d'água nas estações avaliadas, com pequena variação de temperatura nas estações MIG e CUJ que não determinam estratificação térmica da coluna d'água (Figura 5.1-7).

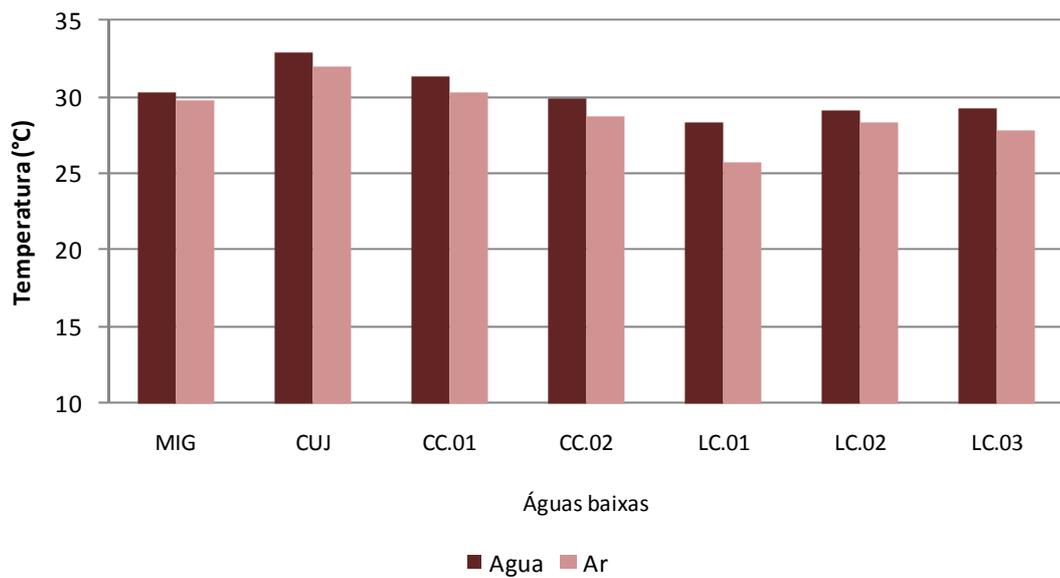


Figura 5.1-6 - Temperatura da água nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

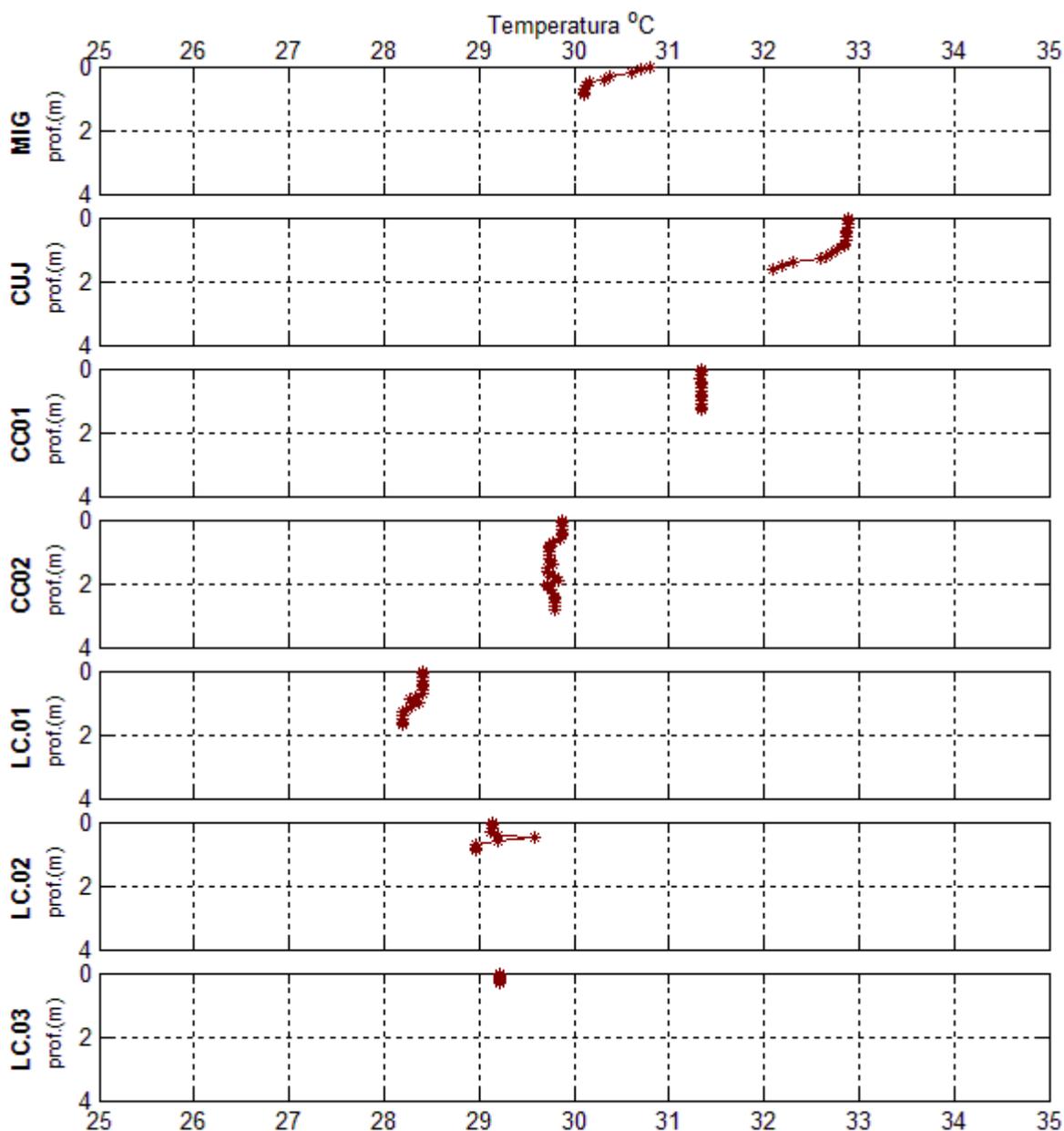


Figura 5.1-7 - Perfil de Temperatura da água nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

### 5.1.1.2 - Profundidade, transparência, cor e velocidade de corrente

Ao penetrar na coluna d'água, a radiação solar sofre profundas alterações na intensidade, na qualidade e na direção, que são influenciadas principalmente pela concentração de materiais dissolvidos e em suspensão na água. O rio Madeira é um rio de águas brancas, com elevada carga de sólidos dissolvidos e suspensos, o que faz com que haja baixa penetração de luz (Muntz, 1978).

No rio Madeira a profundidade média foi de  $21 \pm 8$  m (média  $\pm$  DP), variando entre 10 m (JUS.03) e 36 m (MON.01). Os valores encontrados no presente estudo são superiores aos registrados nos mesmos períodos (águas baixas) do Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira entre janeiro de 2009 e agosto de 2011 ( $12,9 \pm 6,3$  m, média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-8). O aumento da profundidade a montante, observado principalmente na estação MON.01, que se encontra imediatamente a montante da barragem, era esperado, uma vez que o nível da água do rio Madeira aumentou com a formação do reservatório.

A transparência média foi de  $0,10 \pm 0,02$  m (média  $\pm$  DP), valor bem semelhante ao encontrado no EIA ( $0,10 \pm 0,03$  m, média  $\pm$  DP) e ao valor médio das campanhas realizadas nos mesmos períodos (águas baixas) apresentadas no Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira (janeiro de 2009 a agosto de 2011) que relata média global de  $0,09 \pm 0,001$  m (média  $\pm$  DP). O rio Madeira é turbido ao longo de todo o ano e, por isso, a transparência da água é sempre muito baixa (Figura 5.1-9).

A cor da água é determinada principalmente pelas substâncias que nela estão dissolvidas. O valor médio da cor no rio Madeira foi de  $87 \pm 15$  mg Pt/L (média  $\pm$  DP), variando entre 56 mg Pt/L (MON.03 superfície) a 104 mg Pt/L (MON.04 fundo) (Figura 5.1-10). Foram registrados, em algumas estações, valores de cor superiores ao limite de 75 mg Pt/L preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água doce de Classe 2. Tal fato já fora observado em outras ocasiões, conforme resultados anteriores do Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas.

A velocidade de corrente média no corpo central do rio Madeira variou entre 1 km/h (MON.02) e 4,0 km/h (JUS.03) (Figura 5.1-11). A média global foi de  $2,2 \pm 1,2$  km/h (média  $\pm$  DP). As estações MON.01 e MON.02 registraram os menores valores, uma vez que essas estações estão imediatamente a montante da barragem do reservatório.

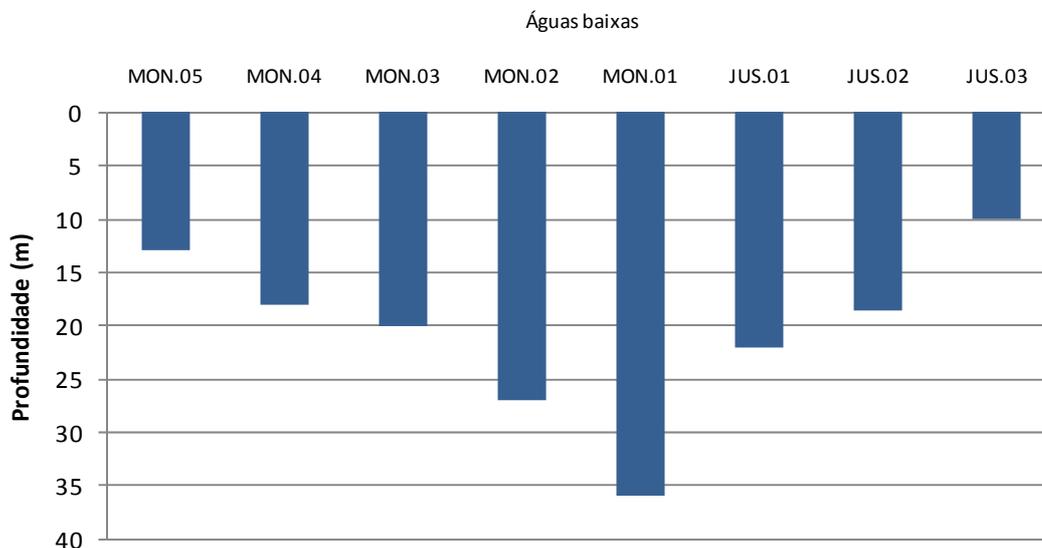


Figura 5.1-8 - Profundidade da coluna d'água no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

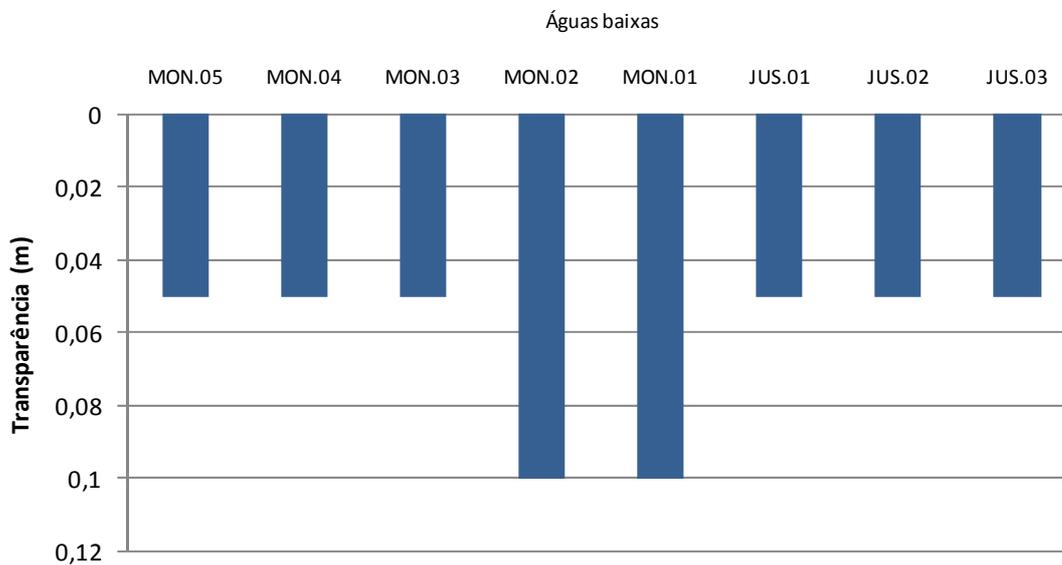


Figura 5.1-9 - Valores de transparência da água no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

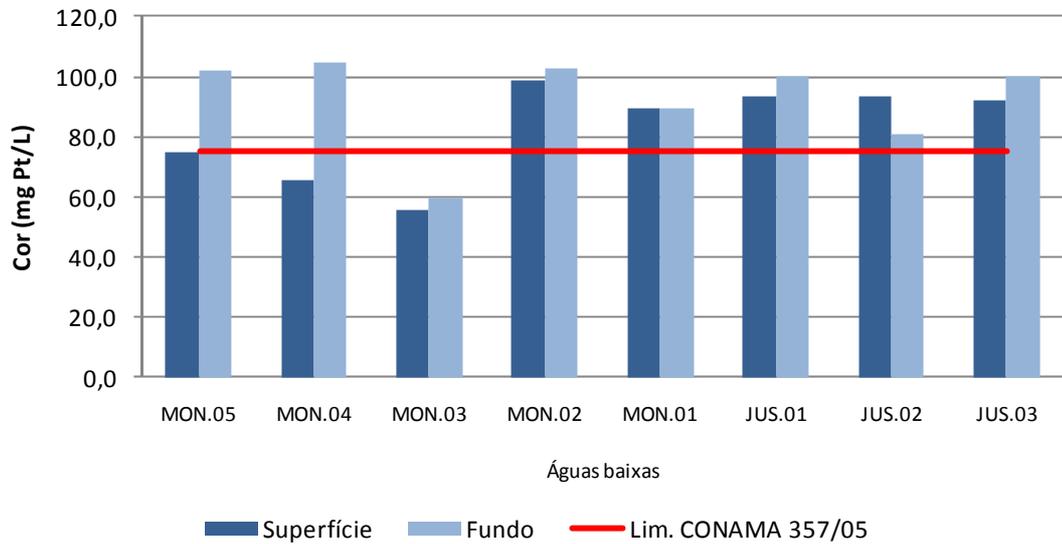


Figura 5.1-10 - Cor da água no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

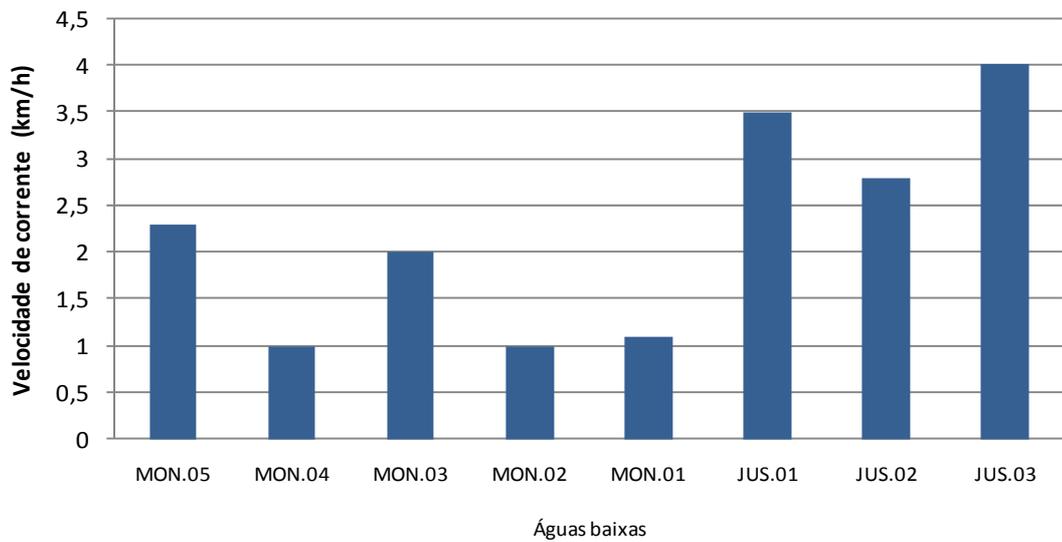


Figura 5.1-11 - Velocidade de corrente no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

A profundidade nos tributários variou entre 0,3 m (JAT II) e 18 m (JAT I), com média de 6,5 ± 4,8 m (média ± DP) **Figura 5.1-12**). O enchimento do reservatório contribuiu para as maiores profundidades registradas, com as estações CRC, TEO, JAT I e CEA apresentando os maiores valores. Isso era esperado, uma vez que essas estações estão situadas em braços do reservatório.

Nos tributários, por se tratarem de ambientes diferentes e desconectados, a transparência da água variou bastante entre as estações, com transparência média de 0,51 ± 0,48 m (média ± DP). O menor valor foi registrado nas estações CRC, TEO, JAT I, CEA e CEA.01 (0,1 m) e o maior valor encontrado foi na estação JAT I.01 (1,5 m) (**Figura 5.1-13**).

O valor médio da cor da água foi 106 ± 110 mg Pt/L (média ± DP), que variou entre 35 mg Pt/L (CAR) e 368 mg Pt/L (CEA.01). Altos valores encontrados nas estações BEL e CEA.01 elevaram tanto a média do período de coleta quanto o desvio padrão global. Os valores de cor não atenderam ao limite de 75 mg Pt/L preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de Classe 2 nas estações JAC.02, JAT I, JAT II, BEL, CEA e CEA.01 (**Figura 5.1-14**).

A velocidade de corrente média nos tributários variou entre 0,3 km/h (CAR) e 3,4 km/h (BEL) (**Figura 5.1-15**). A média global foi de 0,7 ± 1,0 km/h (média ± DP). As estações CRC, TEO, TEO.01, JAT I e JAT I.01 situadas nos igarapés Caracol, Jatuarana I e Teotônio, respectivamente, que atualmente são braços do reservatório, não registraram velocidade de corrente.

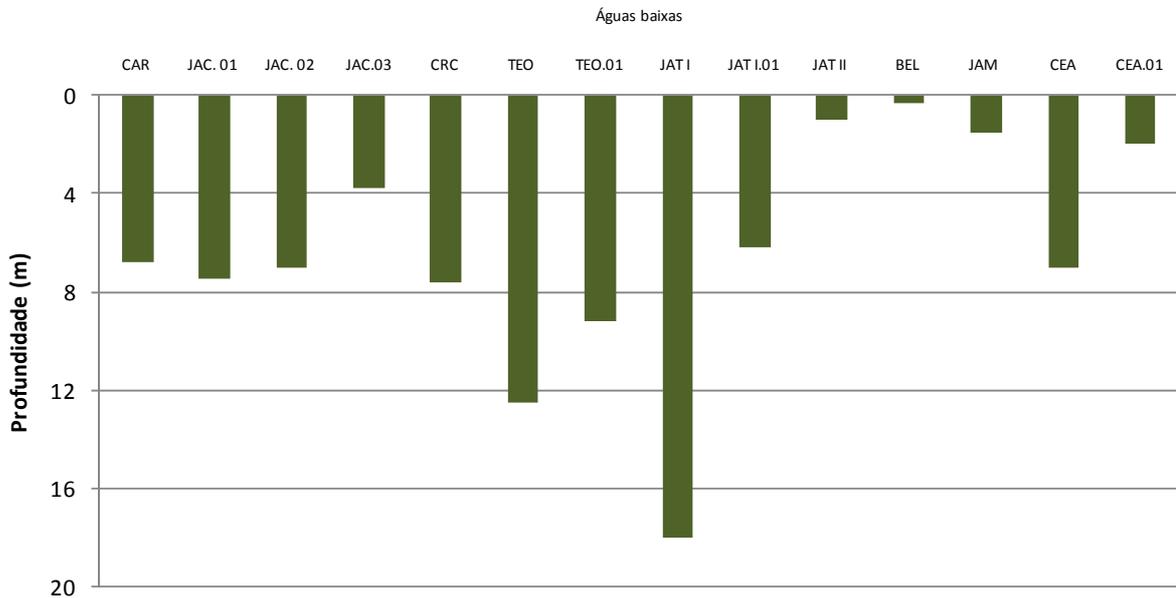


Figura 5.1-12 - Profundidade da coluna d'água nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

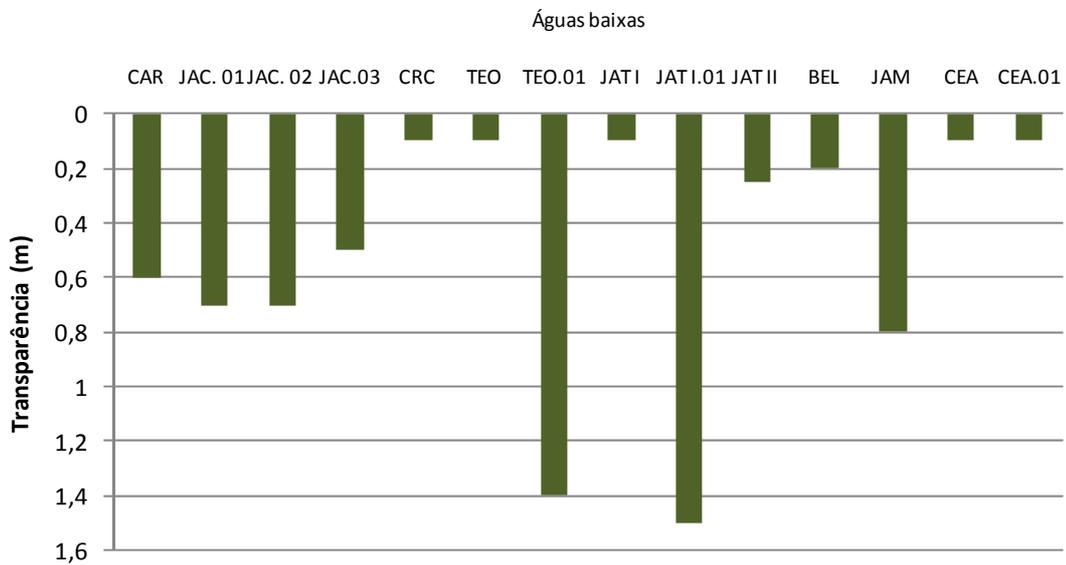


Figura 5.1-13 - Valores de transparência da água nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

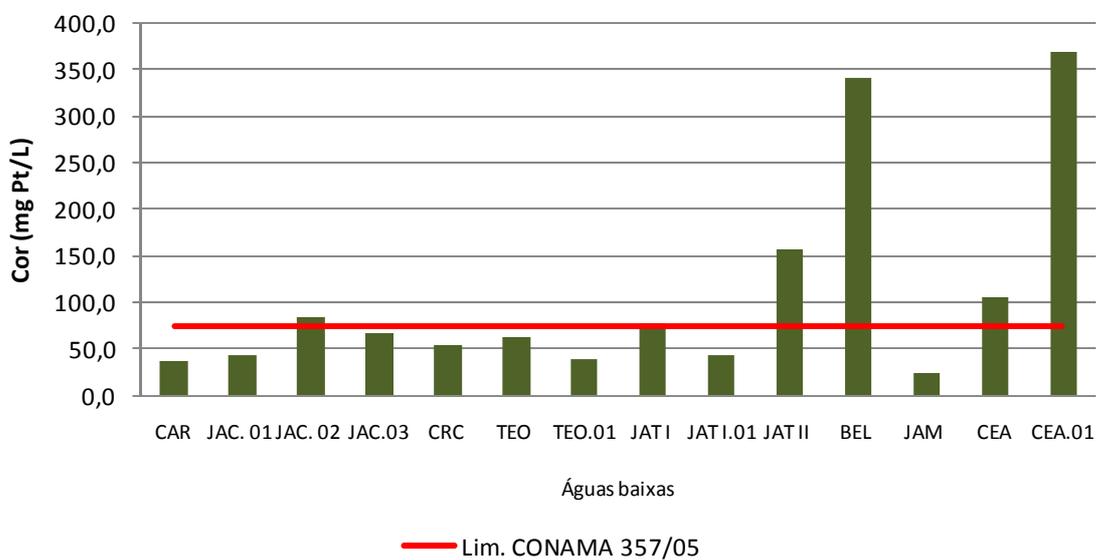


Figura 5.1-14 - Cor da água nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

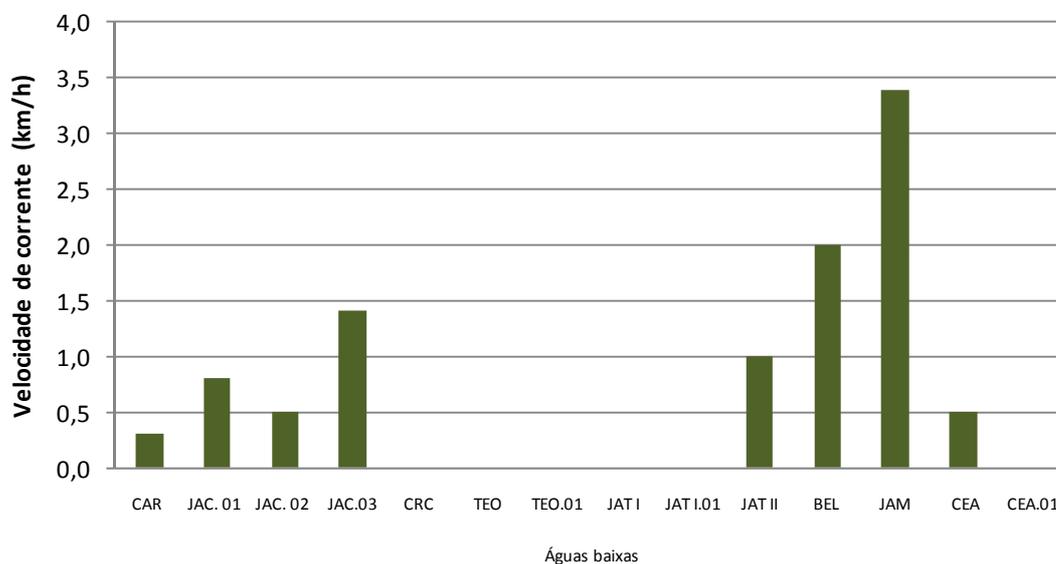


Figura 5.1-15 - Velocidade de corrente nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos lagos e canais a profundidade observada variou entre 0,45 m (MIG) e 2,4 m (CC.02), de forma que o valor médio foi  $1,3 \pm 0,8$  m (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-16). Profundidade reduzida nesse período é uma característica natural, pois o nível da água está mais baixo. Todos os lagos e canais estão situados cerca de 30 a 130 km a jusante do reservatório da UHE Santo Antônio e, como o fluxo de água não foi alterado a jusante, não há grande efeito da usina nesses ambientes

O valor médio da transparência dos lagos e canais foi  $0,4 \pm 0,3$  m (média  $\pm$  DP), variando entre 0,1 m (MIG) e 1,0 m (CUJ) (Figura 5.1-17).

A cor da água dos lagos e canais teve uma média de  $42 \pm 24$  mg Pt/L (média  $\pm$  DP), variando entre 16 mg Pt/L (LC.02) e 86 mg Pt/L (MIG) (Figura 5.1-18). Todas as estações amostradas atenderam ao limite estabelecido de 75 mg Pt/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de Classe 2, com exceção de MIG.

A velocidade de corrente nos lagos e canais apresentou valores abaixo do limite de detecção, pois tratam-se de ambientes lênticos, com exceção das estações CC.01 (Figura 5.1-19). A estação CC.01 está situada no canal de acesso ao lago Cuniã, portanto possui maior correnteza.

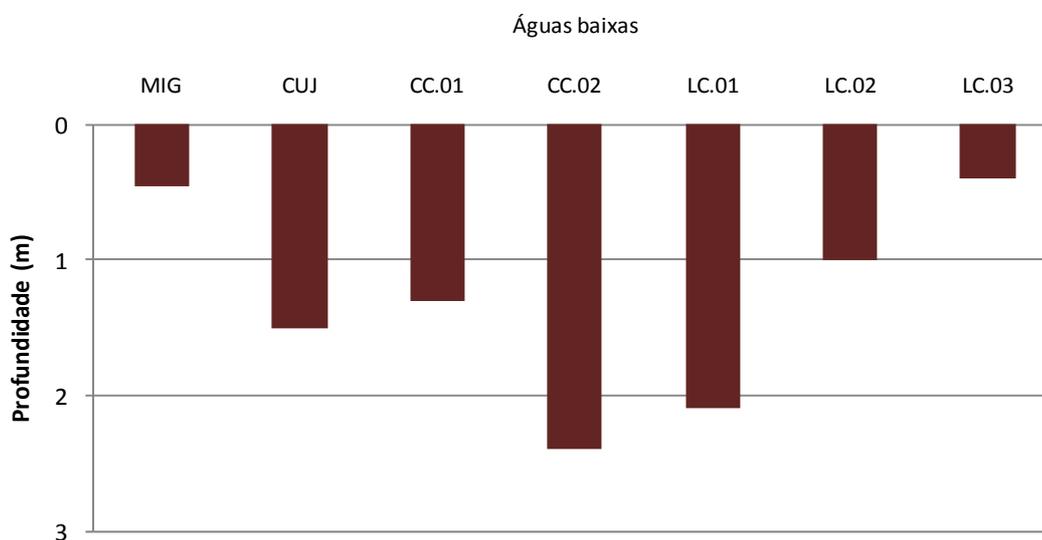


Figura 5.1-16 - Profundidade da coluna d'água nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

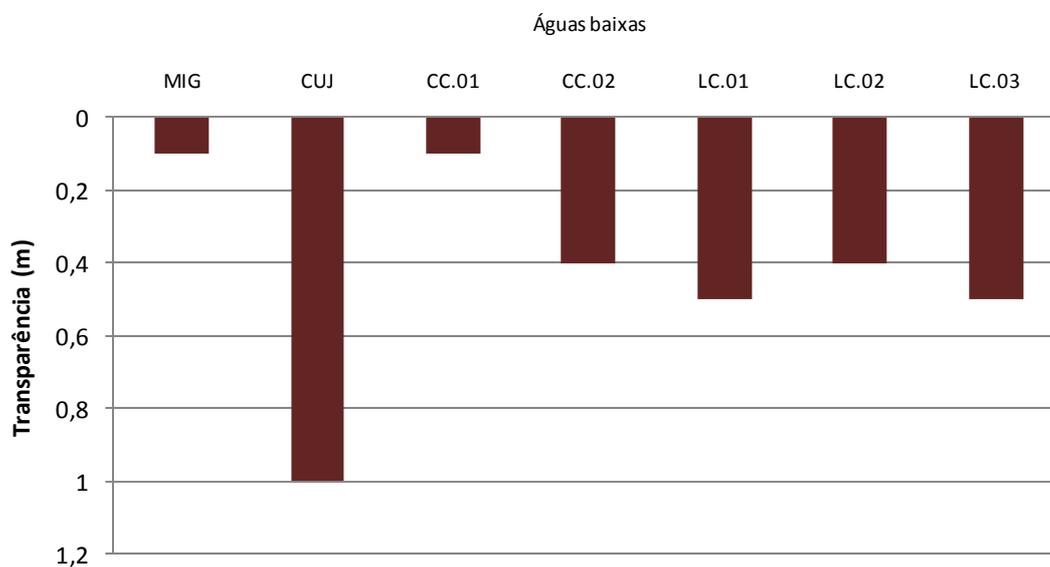


Figura 5.1-17 - Valores de transparência nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

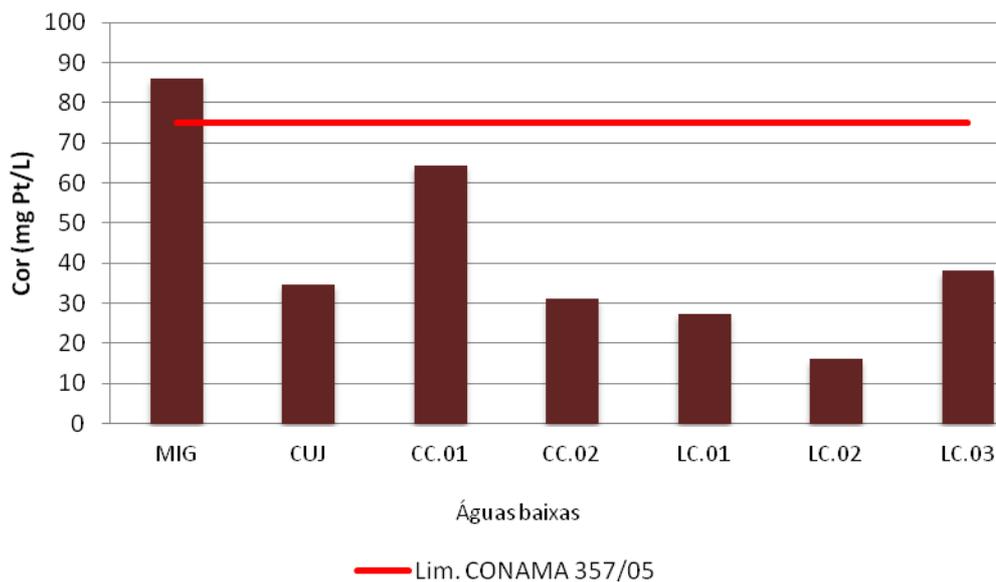


Figura 5.1-18 - Cor da água nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

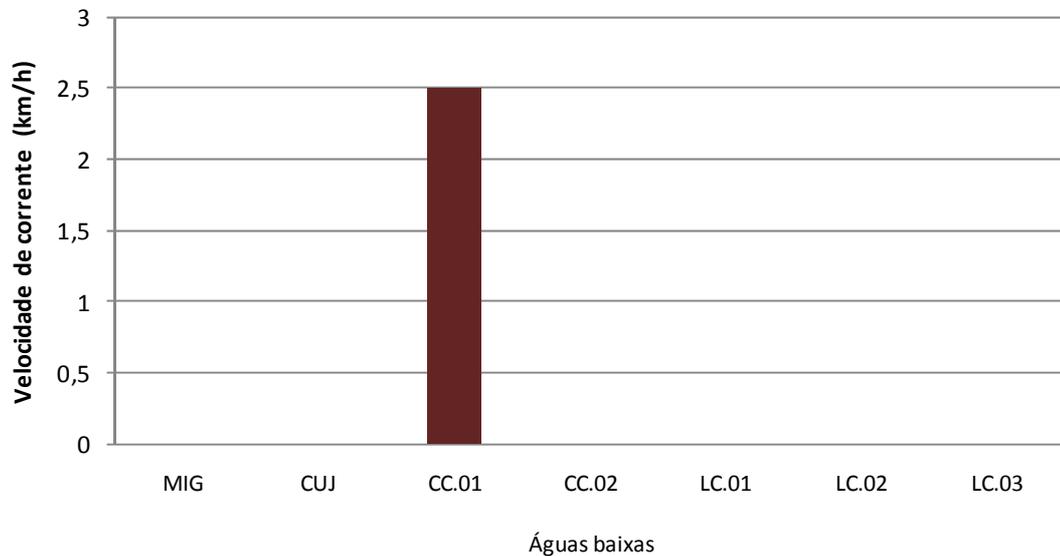


Figura 5.1-19 - Velocidade de corrente nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

## 5.1.2 - Físicas C

### 5.1.2.1 - Turbidez

No rio Madeira, a turbidez média foi de  $164 \pm 56$  NTU (média  $\pm$  DP), variando entre 110 NTU (MON.01 superfície) e 272 NTU (MON.05 fundo) (Figura 5.1-20). A turbidez no rio Madeira é geralmente alta, atingindo seus maiores valores nos períodos de enchente e águas altas e os menores valores nos períodos de vazante e águas baixas. Os perfis de turbidez indicaram um crescimento dos valores em direção ao fundo (Figura 5.1-21). Os valores de turbidez no rio Madeira, levemente superiores no fundo, podem estar relacionados à ressuspensão de sedimentos como resposta à elevada correnteza e turbulência do rio.

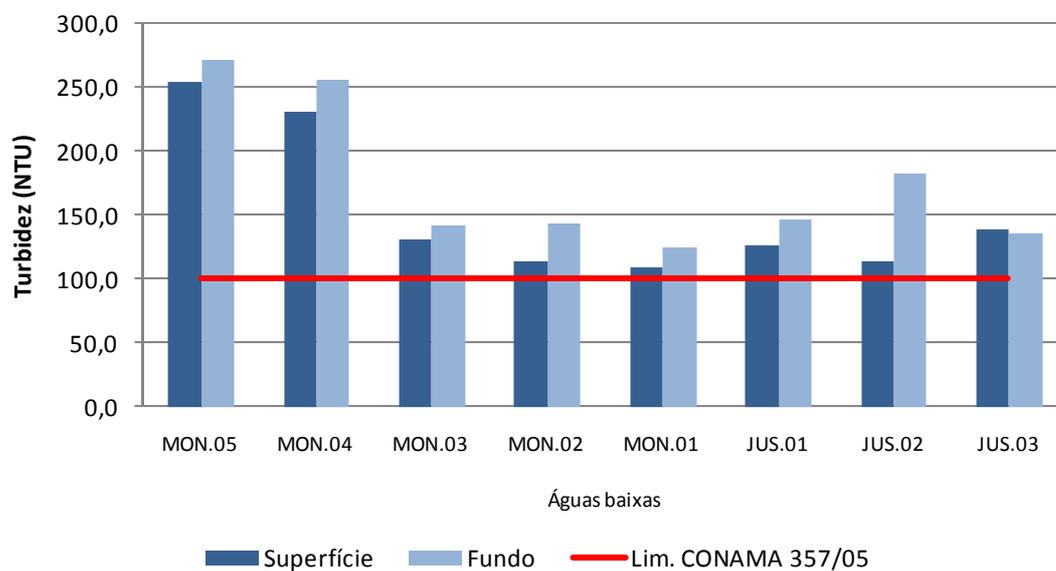


Figura 5.1-20 - Valores de turbidez no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

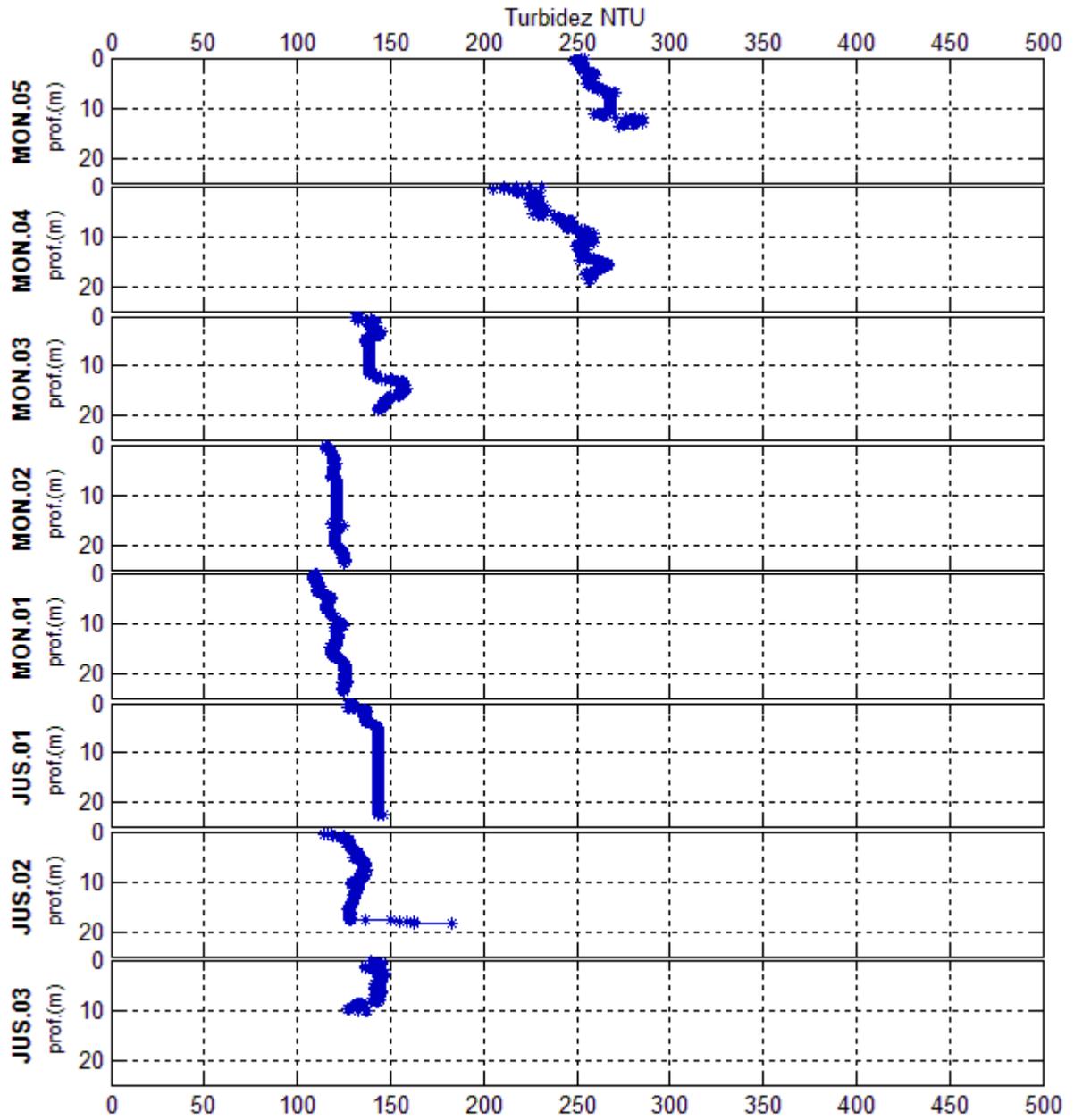


Figura 5.1-21 - Perfis de turbidez no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

A turbidez média nos tributários foi de  $52 \pm 52$  NTU (média  $\pm$  DP). Houve grande variação espacial, com os valores oscilando entre 1,1 NTU (CAR fundo) e 204 NTU (CEA.01) (Figura 5.1-22). O alto valor encontrado na estação CEA.01 foi responsável por elevar a média dos tributários. A maior parte das estações apresentou baixos valores, visto que a mediana foi de 25 NTU. Os perfis de turbidez indicaram que não houve grande diferença entre superfície e fundo na maioria dos meses amostrados, com exceção das estações CEA e CEA.01, que seguiram o mesmo padrão das estações do rio Madeira, com os valores de turbidez crescendo com a profundidade. As estações JAT I e CRC também apresentaram certa variação (Figura 5.1-23). Não é possível, entretanto, identificar um padrão nesta variação.

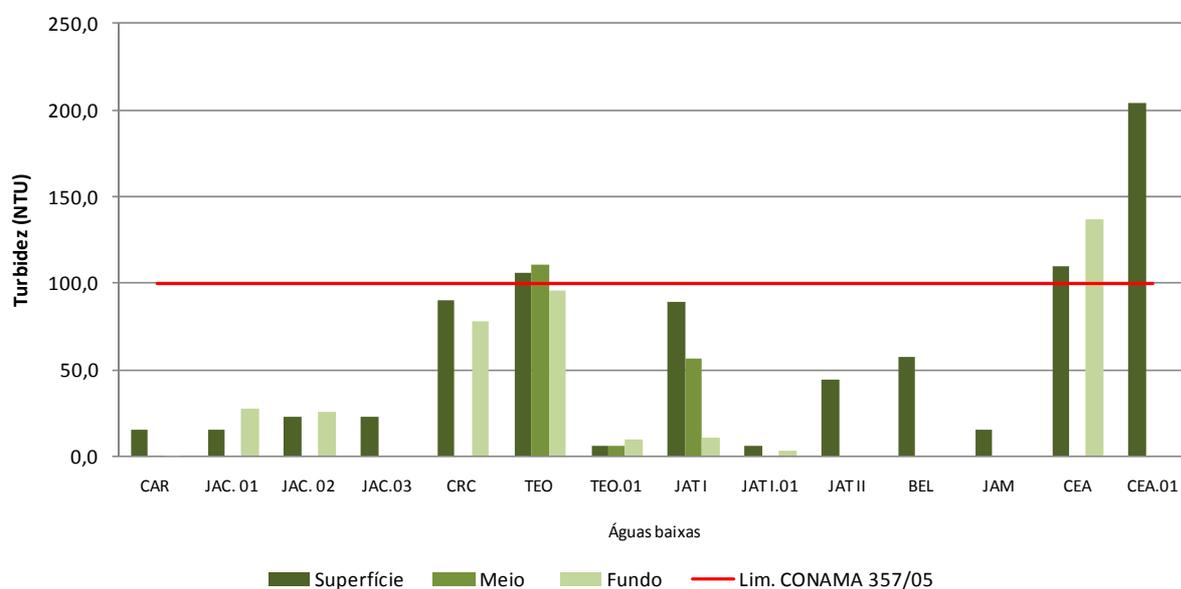
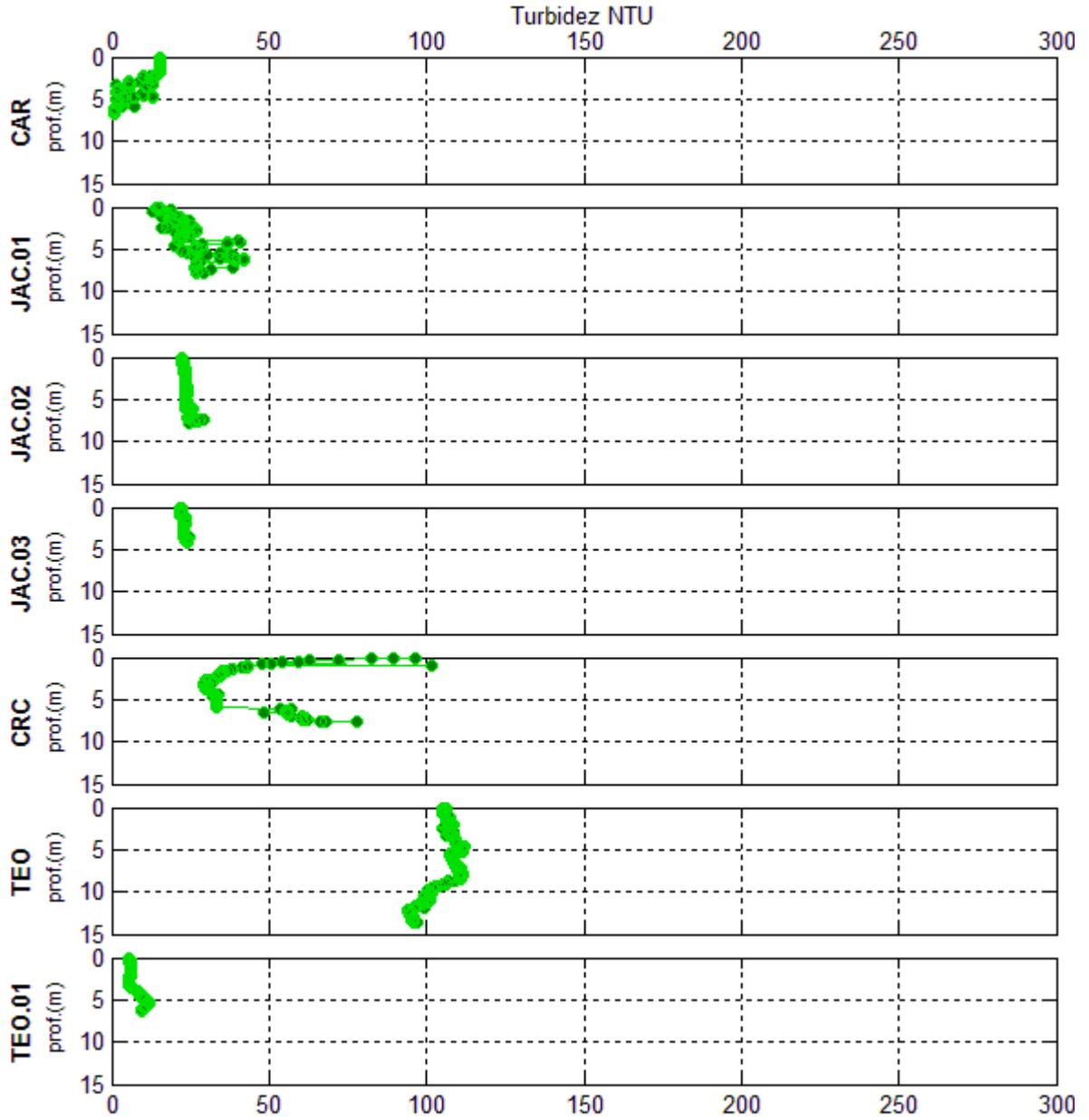


Figura 5.1-22 - Valores de turbidez nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).



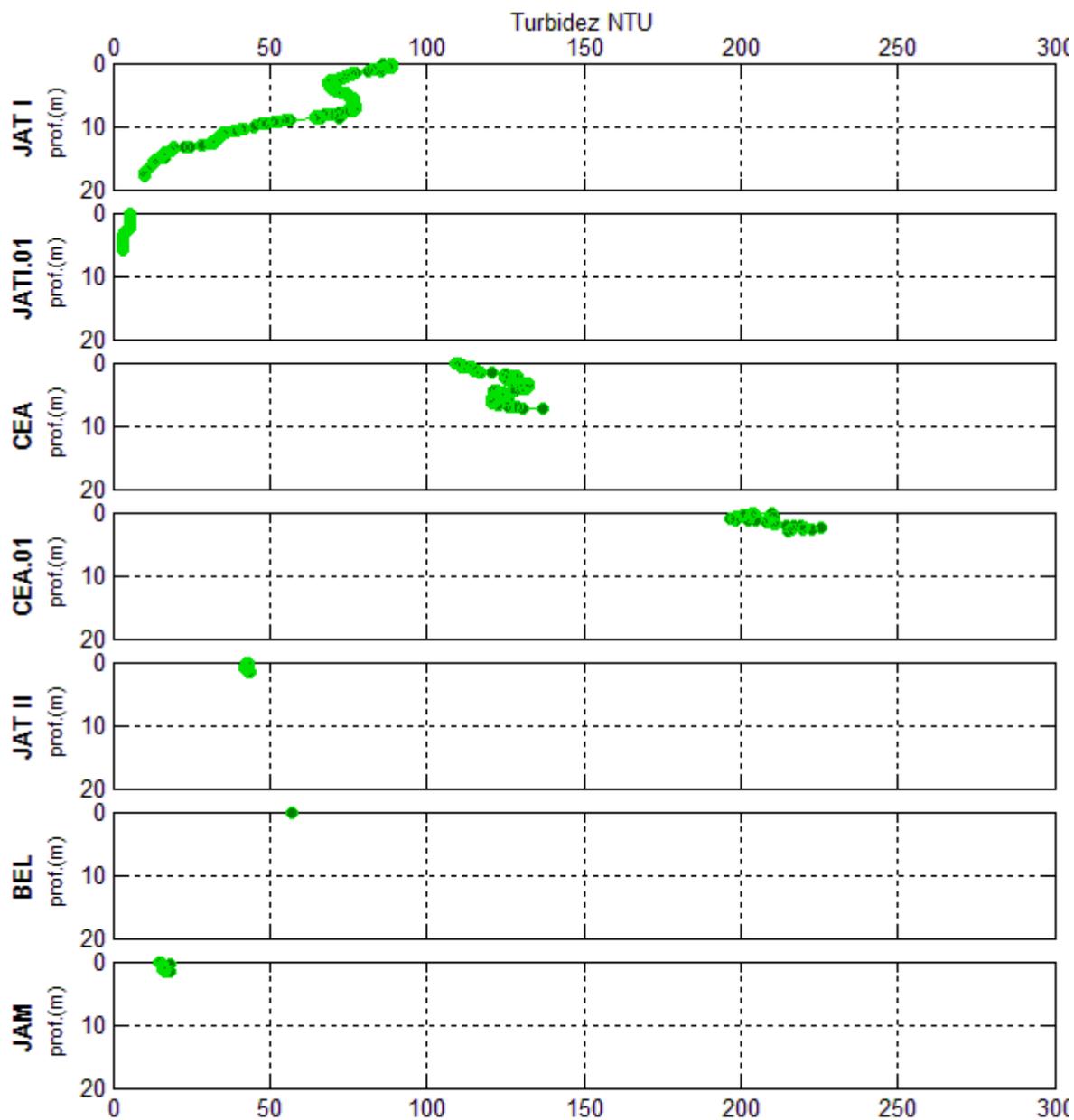


Figura 5.1-23 - Perfis de turbidez nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos lagos e canais, a turbidez variou entre 15 NTU (LC.01) e 642 NTU (CUJ), com média de  $104 \pm 191$  NTU (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-24). O alto valor encontrado na estação CUJ foi responsável por elevar a média da turbidez nos lagos e canais. Os perfis de turbidez indicaram que não houve grande diferença entre superfície e fundo na maioria das estações amostradas (Figura 5.1-25).

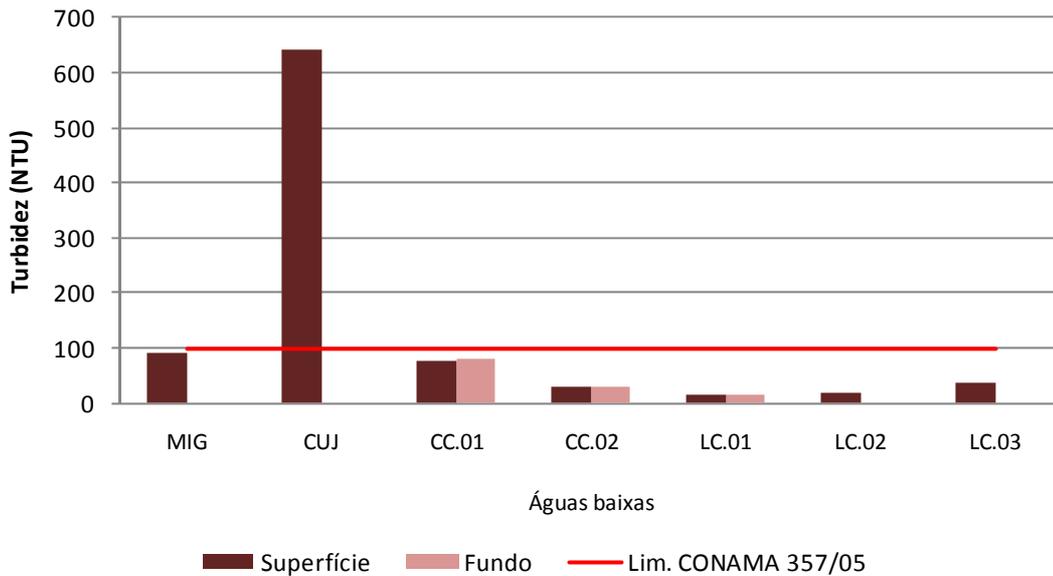


Figura 5.1-24 - Valores de turbidez nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

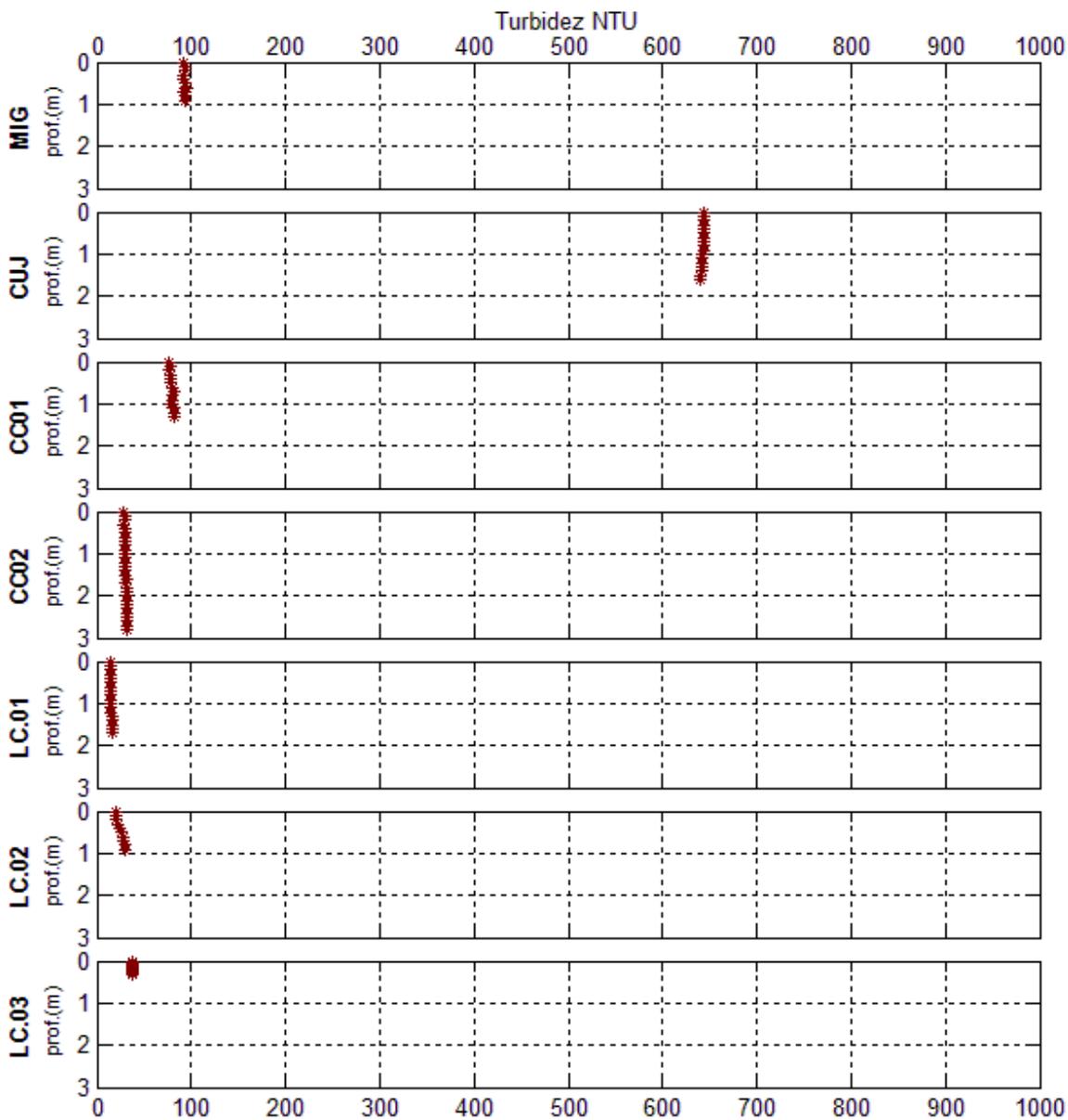


Figura 5.1-25 - Perfis de turbidez nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

O limite de 100 NTU previsto na Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2 não foi atendido em nenhuma estação do rio Madeira. O rio Madeira é um rio de águas brancas, com origem nos flancos erosíveis da cordilheira dos Andes, que transporta elevada carga de sólidos em suspensão. Os sólidos em suspensão são os principais responsáveis por conferir turbidez à água. Desta maneira, a elevada turbidez do rio Madeira é natural. Dentre os tributários, apenas as estações TEO, JAT II, BEL e CEA não atenderam à referida legislação. Já nos lagos e canais, todas as estações estiveram abaixo do limite supracitado, com exceção da estação CUJ.

### 5.1.2.2 - Sólidos em suspensão, Sólidos totais dissolvidos, Sólidos totais, Sólidos fixos, Sólidos voláteis

Os rios de água branca, como o rio Madeira, apresentam elevado teor de sólidos em suspensão (McClain & Naiman, 2008). As elevadas concentrações de sólidos são provenientes do material alóctone que é carregado na parte andina da bacia de captação. Os sólidos são geralmente classificados quanto ao tamanho das partículas (dissolvidos e suspensos) e quanto à volatilidade (fixos e voláteis).

No rio Madeira, o valor médio dos sólidos totais foi de  $134 \pm 58$  mg/L (média  $\pm$  DP), variando entre 82 mg/L (MON.02 superfície) e 293 mg/L (MON.05 fundo). (Figura 5.1-26). O valor médio encontrado nesse estudo foi semelhante ao valor médio das campanhas realizadas nos mesmos períodos (águas baixas) apresentadas no Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira entre janeiro de 2009 e agosto de 2011 ( $205 \pm 87$  mg/L média  $\pm$  DP). O teor de sólidos totais no rio Madeira é geralmente alto, atingindo seus maiores valores nos períodos de águas altas e, principalmente, na enchente e os menores valores nos períodos de vazante e águas baixas

A fração suspensa representou em média 87% dos sólidos totais. A concentração média de sólidos em suspensão foi de  $107 \pm 60$  mg/L (média  $\pm$  DP), com os valores oscilando entre 45,5 mg/L (JUS.02 superfície) e 276 mg/L (MON.05 fundo) (Figura 5.1-27). Os sólidos totais dissolvidos apresentaram concentração média de  $27 \pm 12,5$  mg/L (média  $\pm$  DP). Os valores variaram entre 8 mg/L (MON.05 superfície) e 44 mg/L (JUS.03 fundo) (Figura 5.1-28).

As concentrações de sólidos fixos variaram entre 27 mg/L (MON.01 fundo) e 199 mg/L (MON.05 fundo). O valor médio foi de  $67 \pm 45$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-29). Os resultados mostram que houve equivalência em relação à volatilidade, sendo que a fração fixa foi em média 51% do

sólidos totais. Os sólidos voláteis apresentaram média de  $62 \pm 21$  mg/L (média  $\pm$  DP), com os valores oscilando entre 28 mg/L (JUS.02 superfície) e 109 mg/L (JUS.03 fundo) (Figura 5.1-30). Os valores de sólidos no rio Madeira, levemente superiores no fundo, podem estar relacionados à ressuspensão de sedimentos como resposta à elevada correnteza e turbulência do rio.

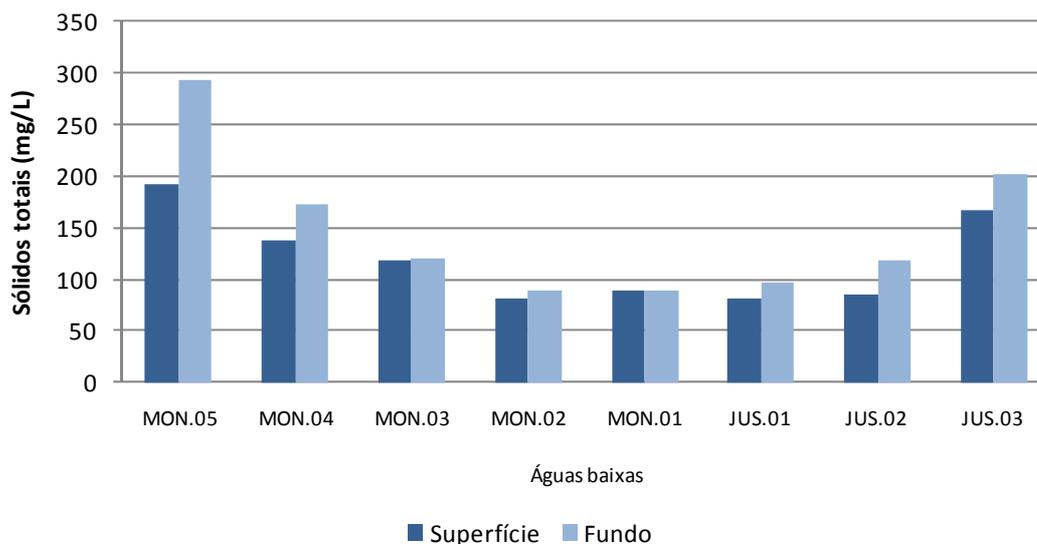


Figura 5.1-26 - Concentrações de sólidos totais no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

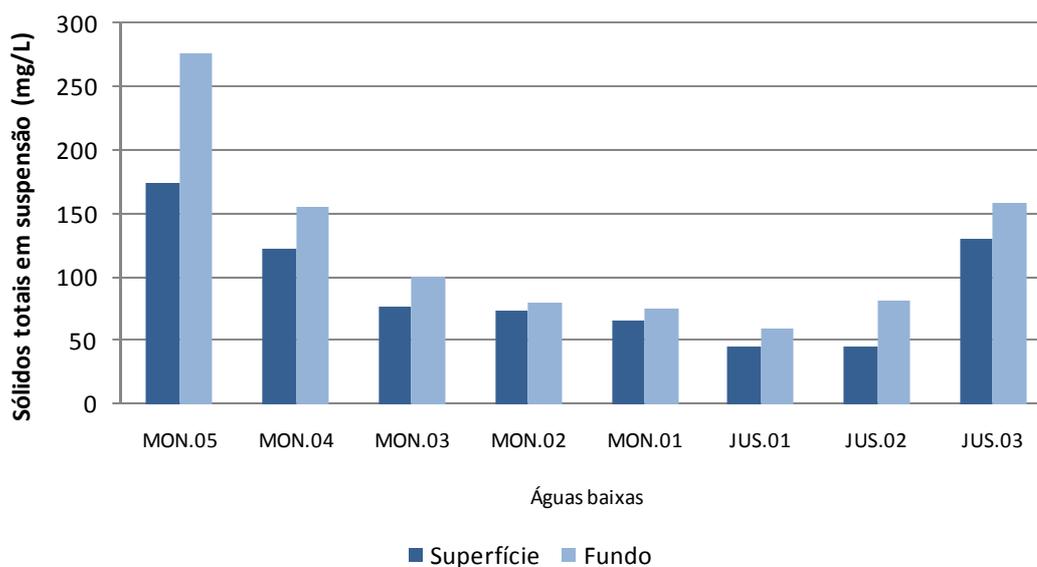


Figura 5.1-27 - Concentrações de sólidos em suspensão no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

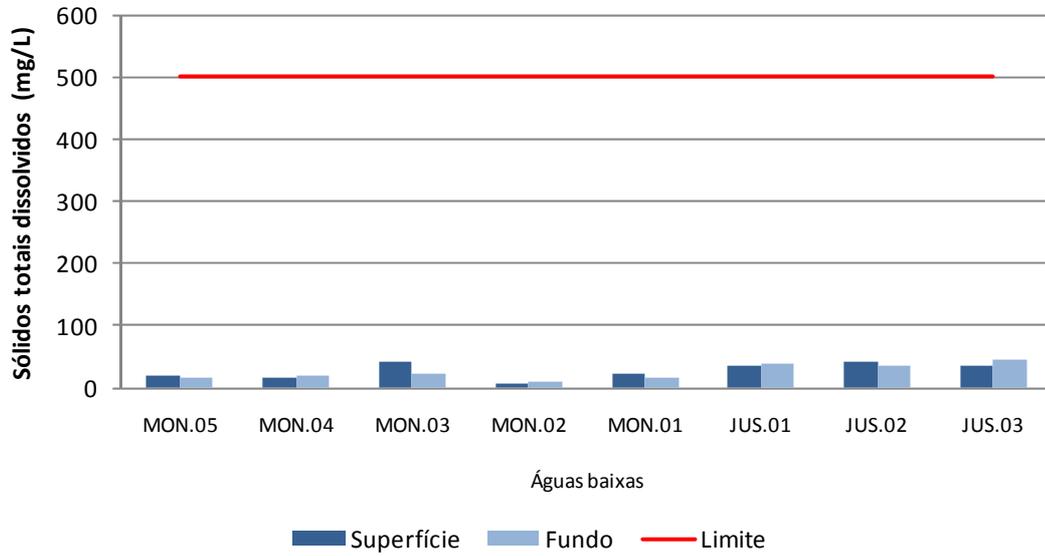


Figura 5.1-28 - Concentrações de sólidos totais dissolvidos no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

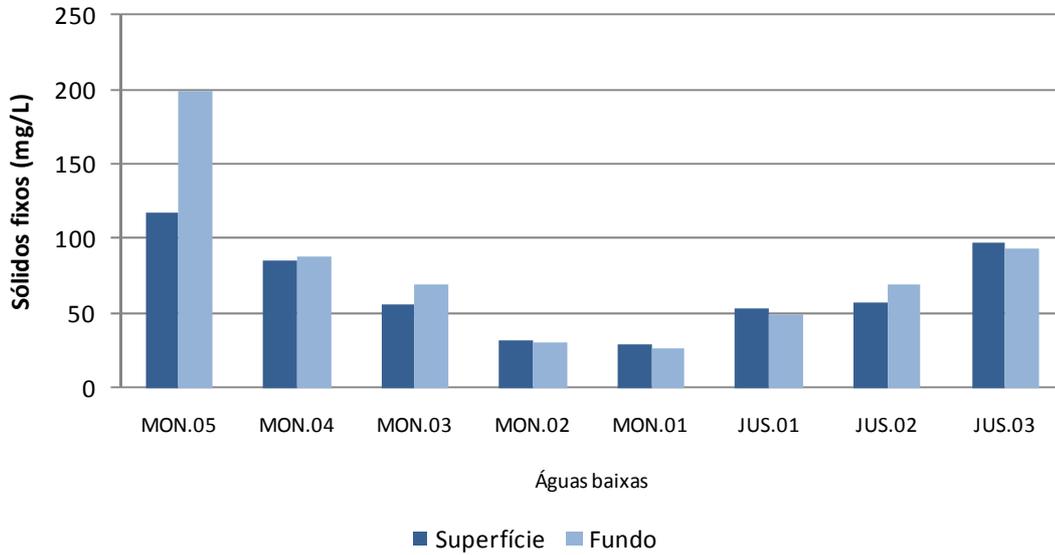


Figura 5.1-29 - Concentrações de sólidos fixos no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

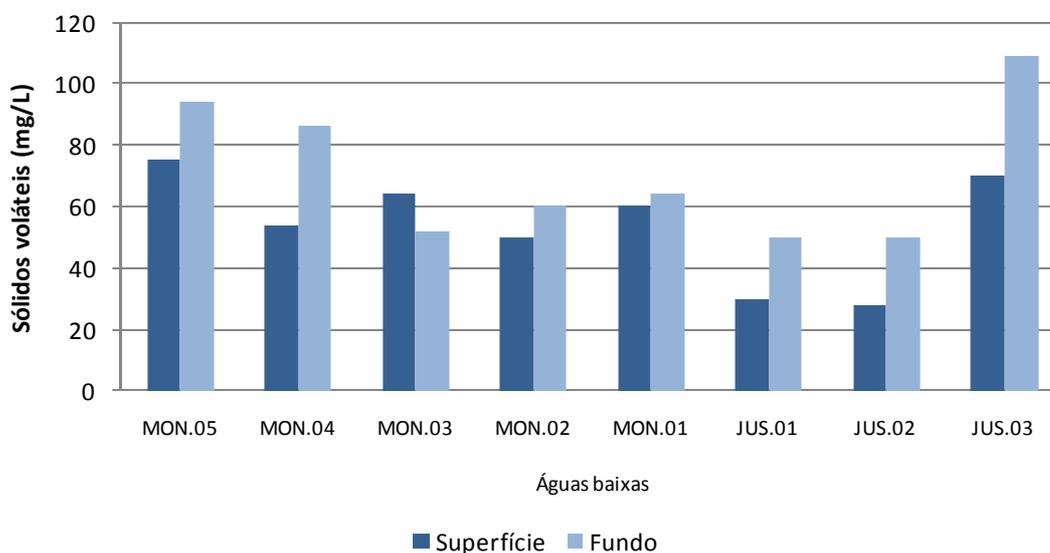


Figura 5.1-30 - Concentrações de sólidos voláteis no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

As concentrações de sólidos nos tributários foram inferiores às encontradas no rio Madeira. Os sólidos totais apresentaram média de  $69 \pm 48$  mg/L (média  $\pm$  DP). As concentrações oscilaram entre 6 mg/L (JAT I.01) e 150 mg/L (JAT I) (Figura 5.1-31). As frações suspensa e dissolvida apresentaram composição equivalente, com média de 53% para a fração suspensa. Os valores de sólidos em suspensão oscilaram entre 2,5 mg/L (JAT I.01) e 111,5 mg/L (CEA.01), sendo a média igual a  $37 \pm 35$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-32). Já os sólidos totais dissolvidos apresentaram média global de  $32 \pm 32$  mg/L (média  $\pm$  DP). Os valores médios dessa fração oscilaram entre 3,5 mg/L (JAT I.01) e 116,5 mg/L (JAT I) (Figura 5.1-33).

Em relação à volatilidade, a fração volátil foi a predominante, representando 66% dos sólidos totais. As concentrações de sólidos fixos oscilaram entre 4 mg/L (JAT I.01) e 83 mg/L (JAT I), com valor médio de  $30 \pm 26$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-34). Já a fração volátil apresentou média global de  $39 \pm 27$  mg/L (média  $\pm$  DP). Os valores variaram entre 2 mg/L (JAT I.01) 91 mg/L (CRC) (Figura 5.1-35). As concentrações das diferentes frações de sólidos variaram bastante espacialmente, por se tratarem de ambientes diferentes e desconectados. Os maiores valores encontrados, em geral, foram registradas nas estações CRC, JAT I, TEO e CRC, que atualmente estão em braços recém formado reservatório e boa parte da água que banha esses ambientes é oriunda do rio Madeira, que apresenta alto teores de sólidos.

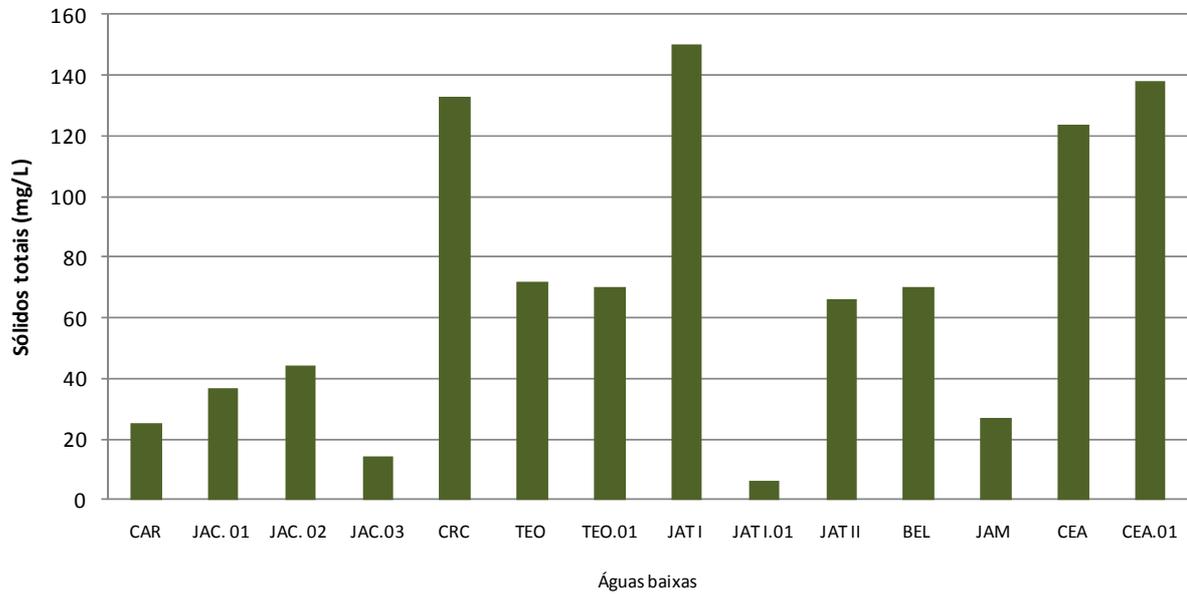


Figura 5.1-31 - Concentrações de sólidos totais nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

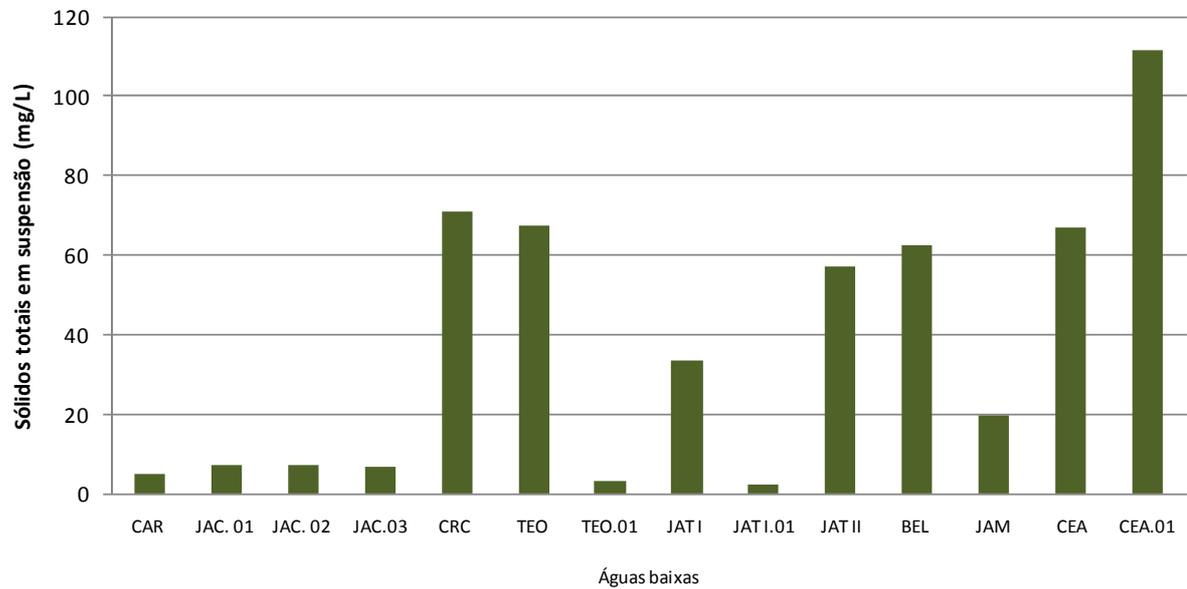


Figura 5.1-32 - Concentrações de sólidos em suspensão nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

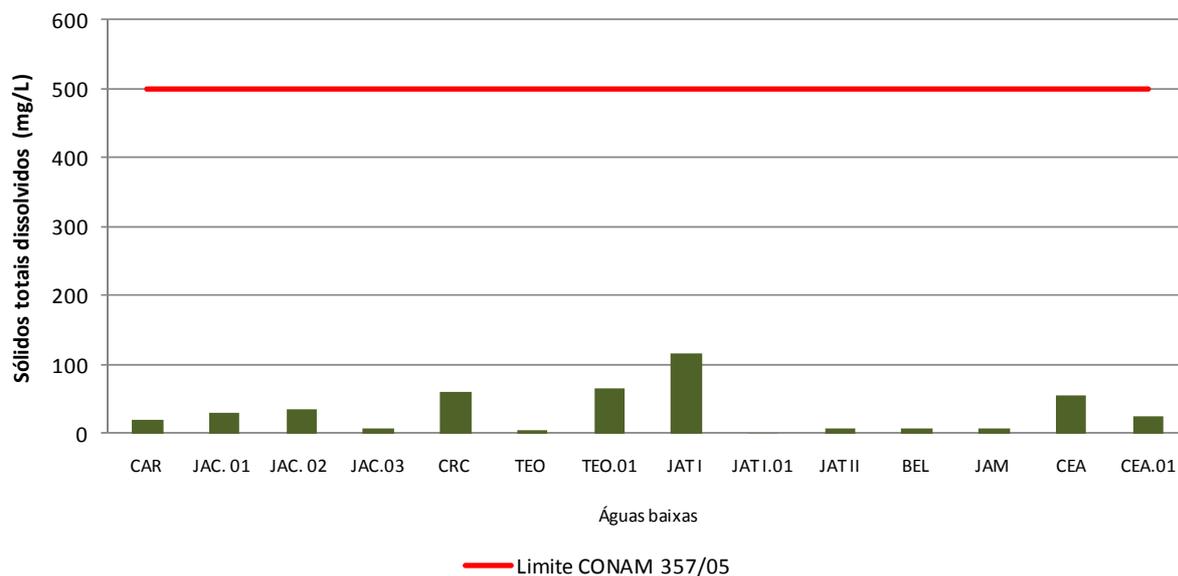


Figura 5.1-33 - Concentrações de sólidos totais dissolvidos nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

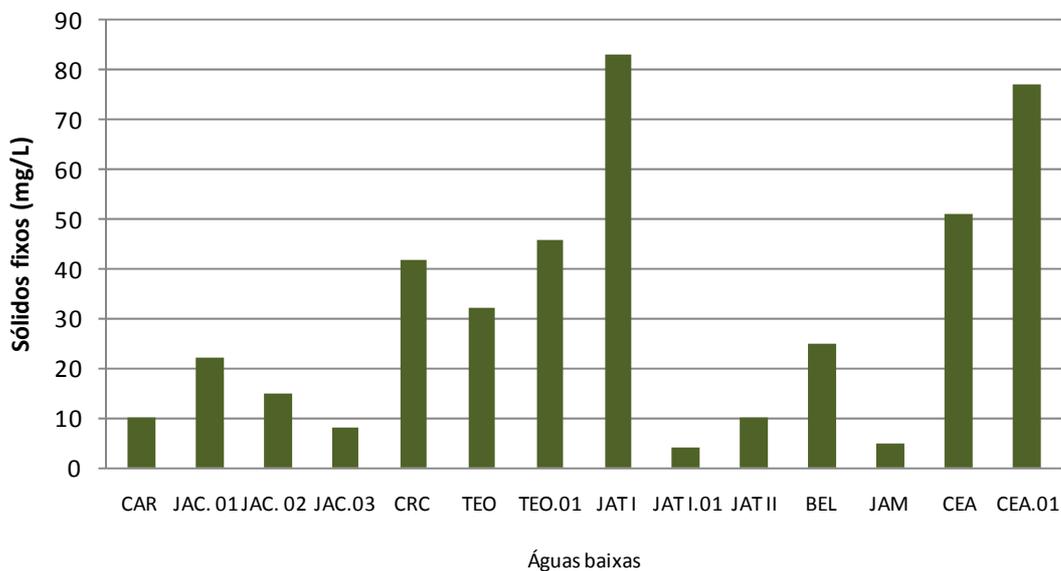


Figura 5.1-34 - Concentrações de sólidos fixos nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

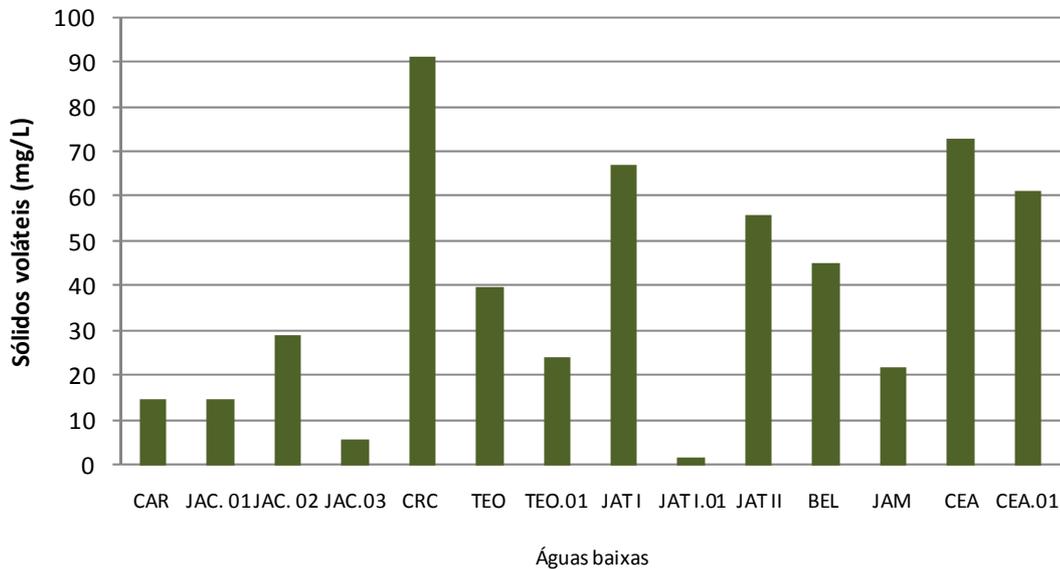


Figura 5.1-35 - Concentrações de sólidos voláteis nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Os lagos e canais apresentaram concentrações menores de sólidos em relação ao rio Madeira. A dinâmica lacustre favorece a sedimentação desse tipo de material, o que faz com que as concentrações de sólidos sejam geralmente mais baixas nesses ambientes quando comparados com os rios. Os sólidos totais apresentaram concentração média global de  $56 \pm 25$  mg/L (média  $\pm$  DP). Os valores oscilaram entre 10 mg/L (CUJ) e 103 mg/L (MIG) (Figura 5.1-36).

Os sólidos em suspensão apresentaram média de  $34 \pm 25$  mg/L (média  $\pm$  DP). Os valores oscilaram entre 8 mg/L (CUJ) e 90 mg/L (MIG) (Figura 5.1-37). Já os sólidos totais dissolvidos variaram de 2 mg/L (CUJ) a 40 mg/L (LC.01 superfície), com valor médio de  $21 \pm 12$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-38). A fração suspensa foi em média superior, tendo respondido por 61% do total.

Em relação à volatilidade, a fração volátil foi a predominante, representando 60% dos sólidos totais. As concentrações de sólidos fixos oscilaram entre 3 mg/L (CUJ) e 51 mg/L (LC.03), com valor médio de  $22 \pm 13$  mg/L (média  $\pm$  DP) (38). Os sólidos voláteis apresentaram média de  $33 \pm 24$  mg/L (média  $\pm$  DP), com oscilação dos valores entre 7 mg/L (CUJ) e 92 mg/L (MIG) (Figura 5.1-39).

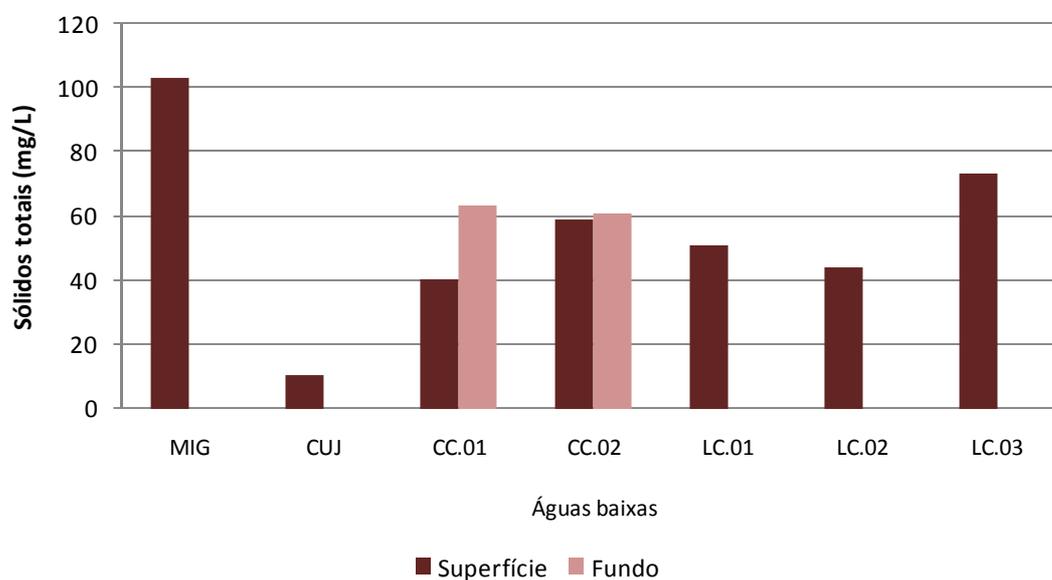


Figura 5.1-36 - Concentrações de sólidos totais nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

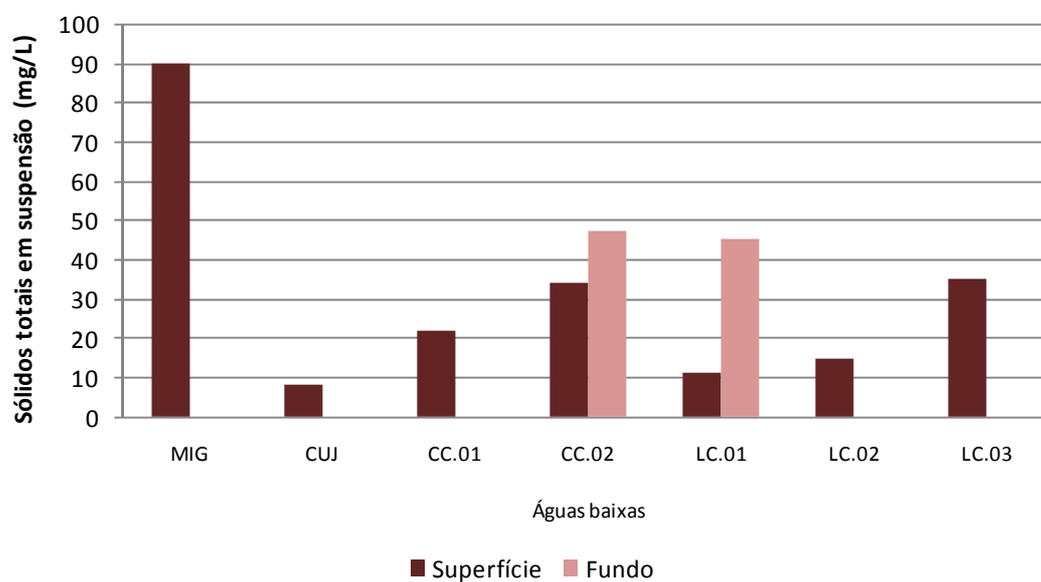


Figura 5.1-37 - Concentrações de sólidos em suspensão nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

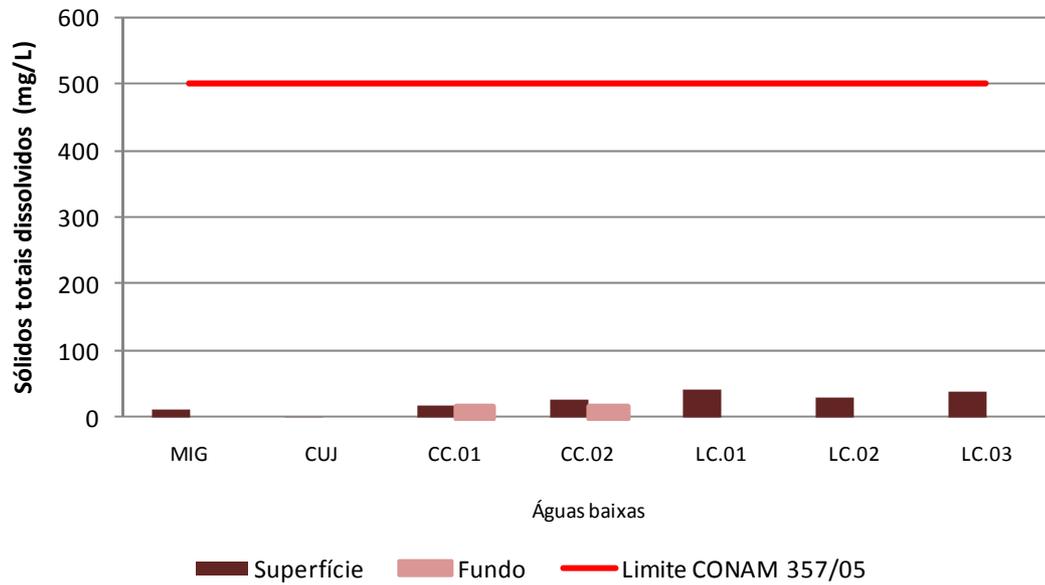


Figura 5.1-38 - Concentrações de sólidos totais dissolvidos nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

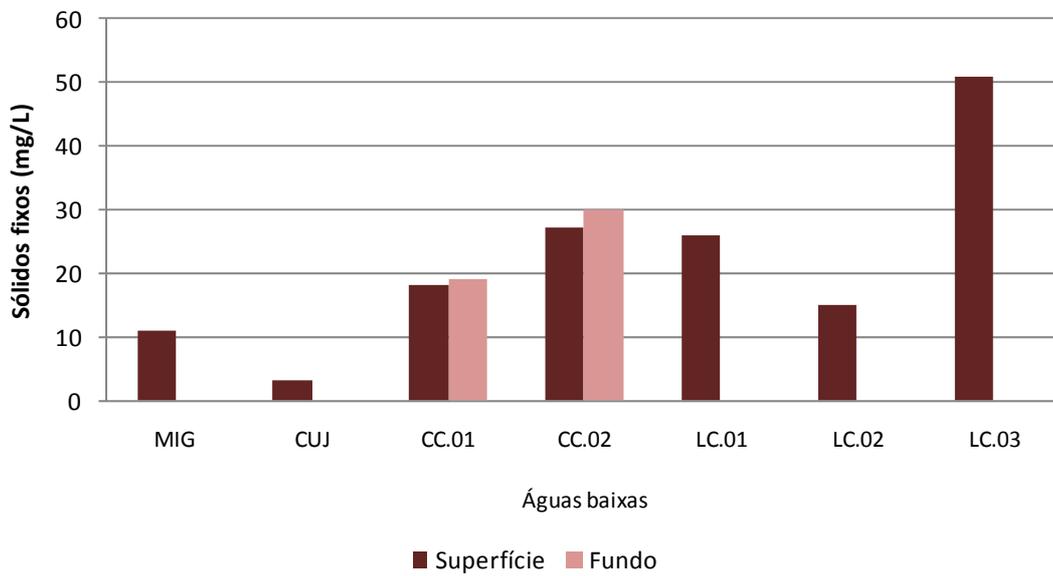


Figura 5.1-39 - Concentrações de sólidos fixos nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

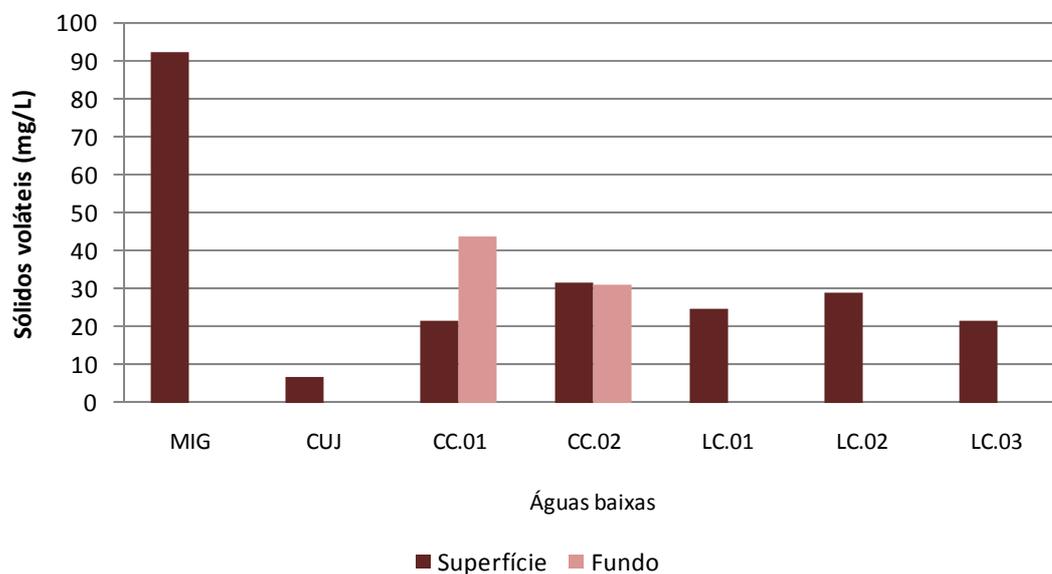


Figura 5.1-40 - Concentrações de sólidos voláteis nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Todos os valores de sólidos totais dissolvidos atenderam ao limite de 500 mg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2, tanto nas amostras coletadas no rio Madeira, quanto nos tributários e nos lagos e canais.

### 5.1.3 - Físico-químicas

#### 5.1.3.1 - Condutividade elétrica

A condutividade elétrica de um corpo d'água corresponde à capacidade deste em conduzir corrente elétrica, sendo que a condução da corrente elétrica está diretamente relacionada à concentração de íons.

A média da condutividade no rio Madeira foi de  $109 \pm 6 \mu\text{S}/\text{cm}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-41), variando entre  $97 \mu\text{S}/\text{cm}$  (MON.05) e  $118 \mu\text{S}/\text{cm}$  (MON.01 superfície e fundo). Os valores de condutividade registrados para o rio Madeira são característicos de sistemas amazônicos de águas brancas, como é o caso (Junk et al, 2011). Os perfis de condutividade ao longo da coluna d'água indicaram que não há diferença entre superfície e fundo (Figura 5.1-42).

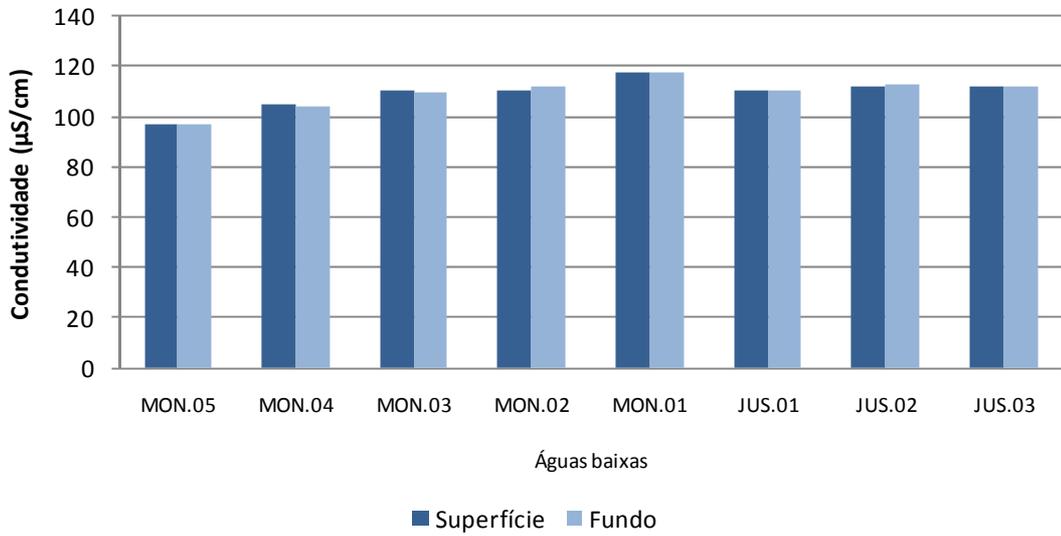


Figura 5.1-41 - Condutividade elétrica no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

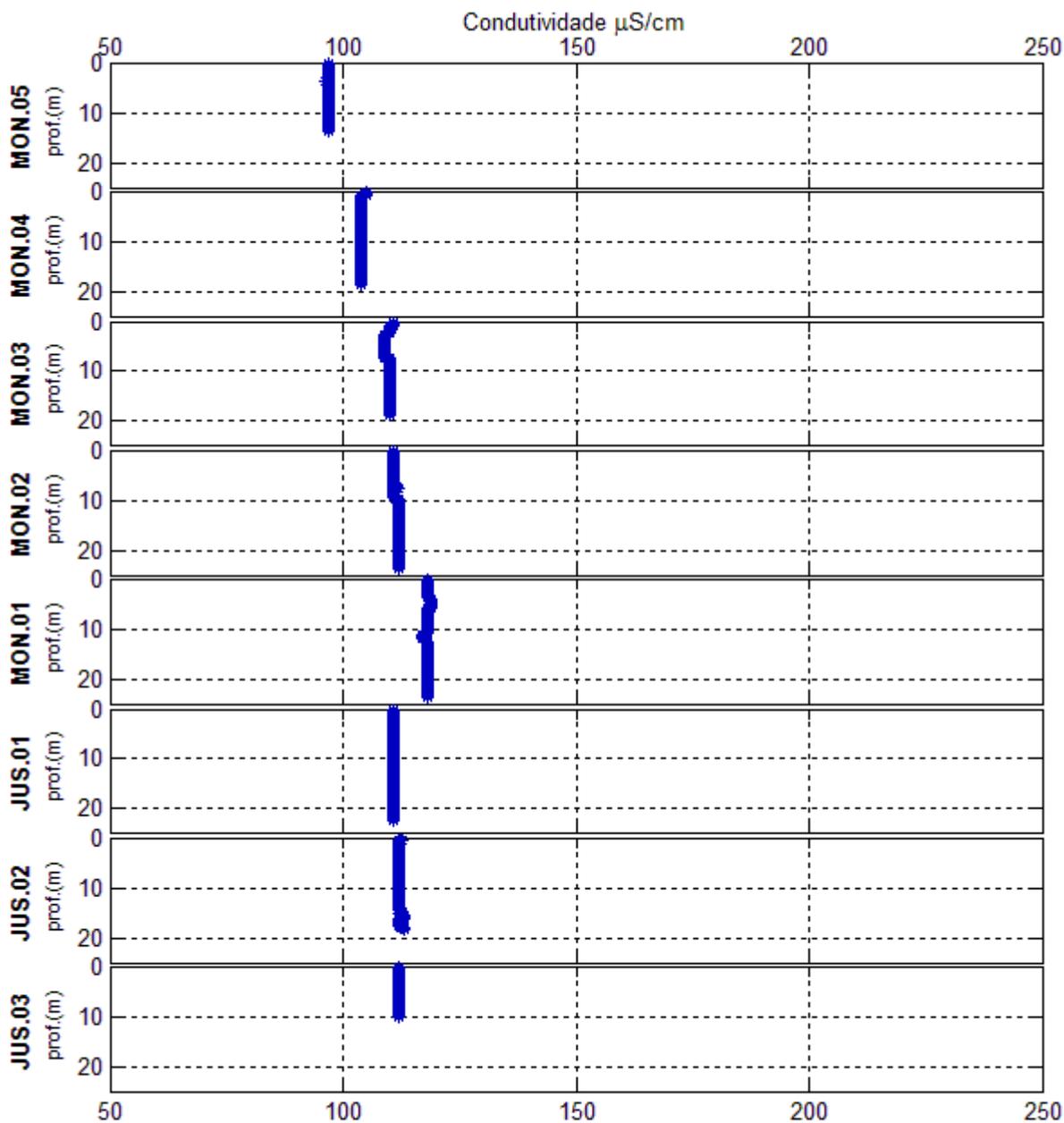


Figura 5.1-42 - Perfis de condutividade elétrica no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos tributários, a condutividade elétrica apresentou valores menores do que os encontrados no rio Madeira. A condutividade média global foi de  $76 \pm 44 \mu\text{S}/\text{cm}$  (média  $\pm$  DP), com valores variando de  $10 \mu\text{S}/\text{cm}$  (JAT II) a  $143 \mu\text{S}/\text{cm}$  (JAT I fundo) (Figura 5.1-43). Os valores de condutividade mais elevados foram registrados, em geral, nas estações TEO, TEO.01, JAT I e CEA. Essas estações estão situadas em braços do recém formado reservatório e boa parte da água que banha esses ambientes é oriunda do rio Madeira. Os perfis de condutividade indicaram pouca variação vertical, com exceção das estações CAR, CRC, TEO.01, JAT I, JAT I. e CEA.01, que apresentaram diferenças entre superfície e fundo (Figura 5.1-44). Com a formação do reservatório, essas estações, situadas a montante da barragem, tiveram o tempo de residência aumentado. O aumento no tempo de residência favorece processos de estratificação térmica e química.

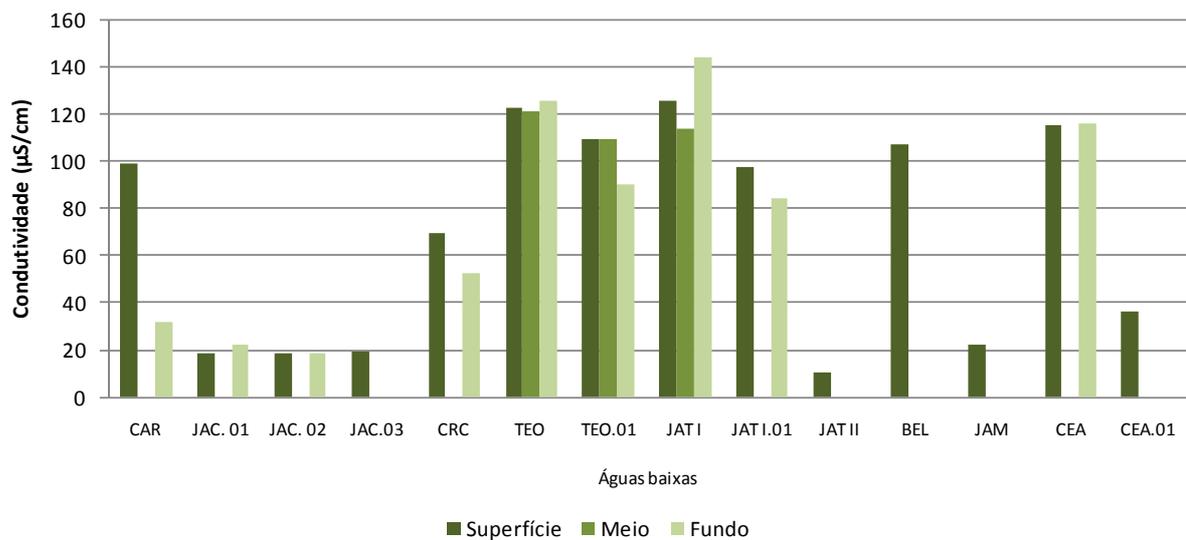
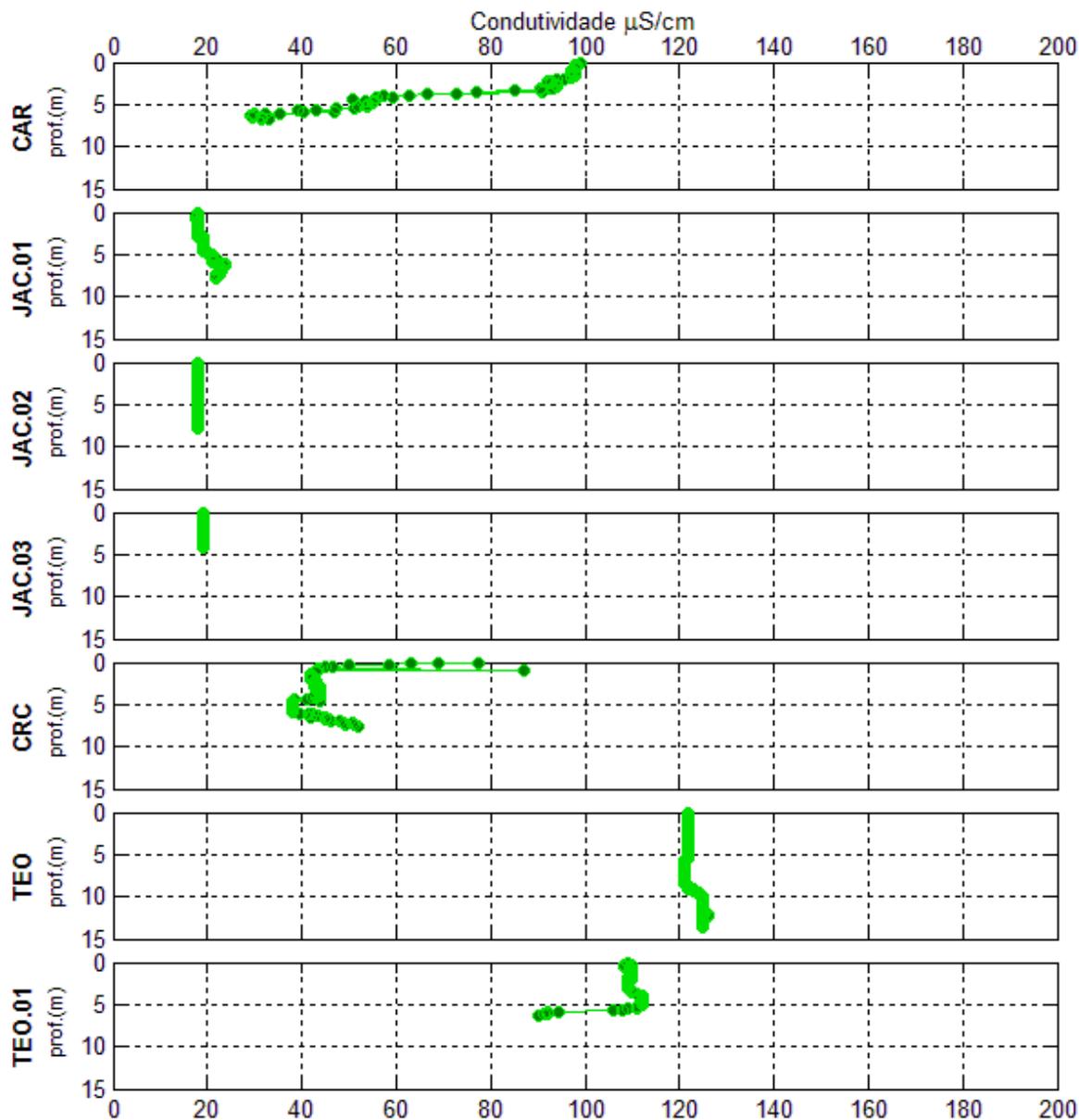


Figura 5.1-43 - Condutividade elétrica nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).



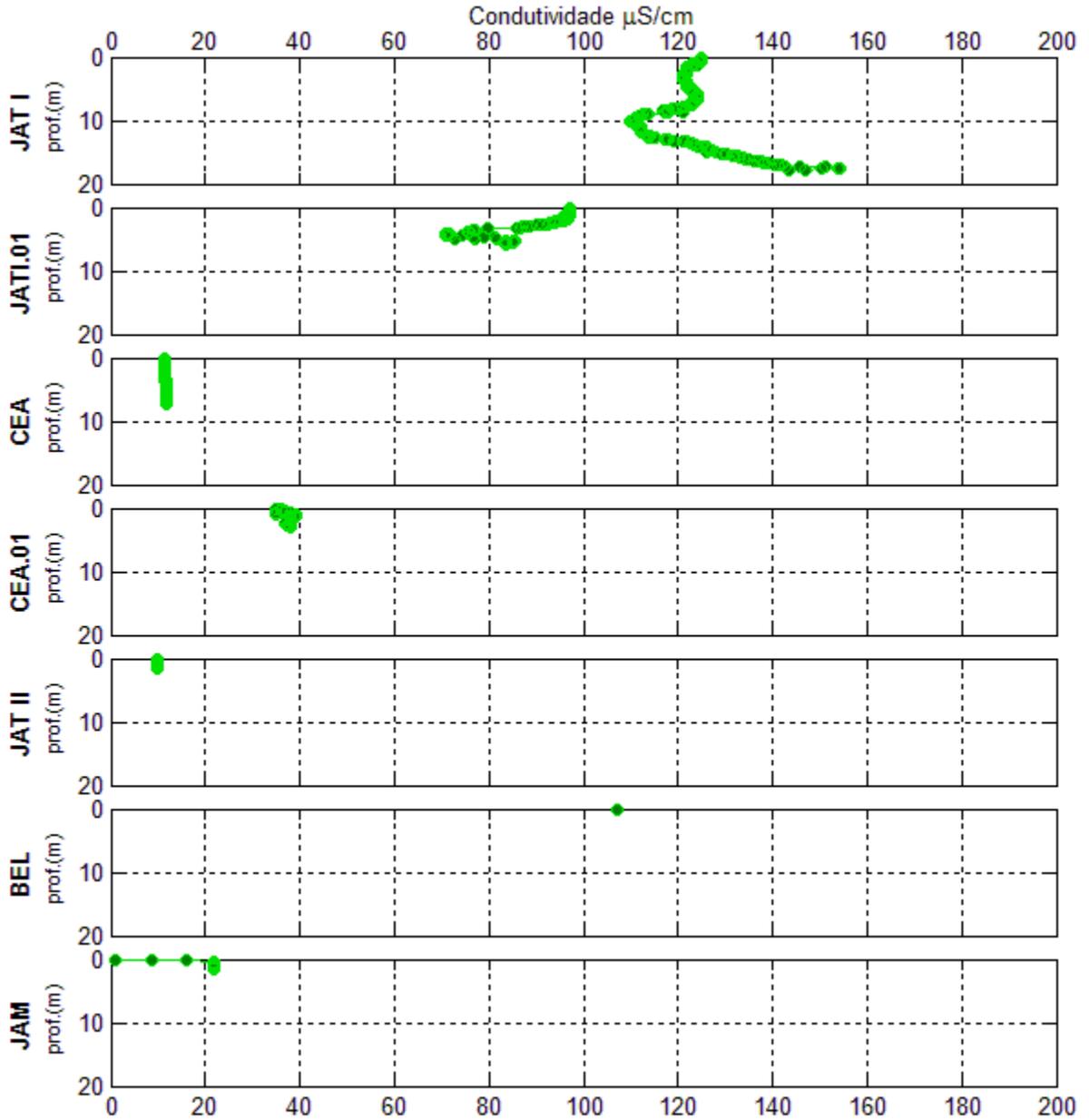


Figura 5.1-44 - Perfis de condutividade elétrica nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

A condutividade dos lagos e canais foi menor que a dos tributários, com média de  $25 \pm 40,7$   $\mu\text{S}/\text{cm}$  (média  $\pm$  DP). O menor valor foi registrado na estação MIG e o maior na estação LC.02, com respectivamente  $9 \mu\text{S}/\text{cm}$  e  $140 \mu\text{S}/\text{cm}$  (Figura 5.1-45). Os valores foram baixos na maioria das estações, o alto valor encontrado na estação LC.02 foi responsável por elevar a desvio padrão no período estudado. Os perfis de condutividade indicaram pouca variação vertical, com exceção da estação LC.02, situada no lago Cuniã. Essa estação registrou uma leve variação vertical, lagos são considerados sistemas lênticos e apresentam tendência à estratificação da coluna d'água, ao contrário de rios (Figura 5.1-46).

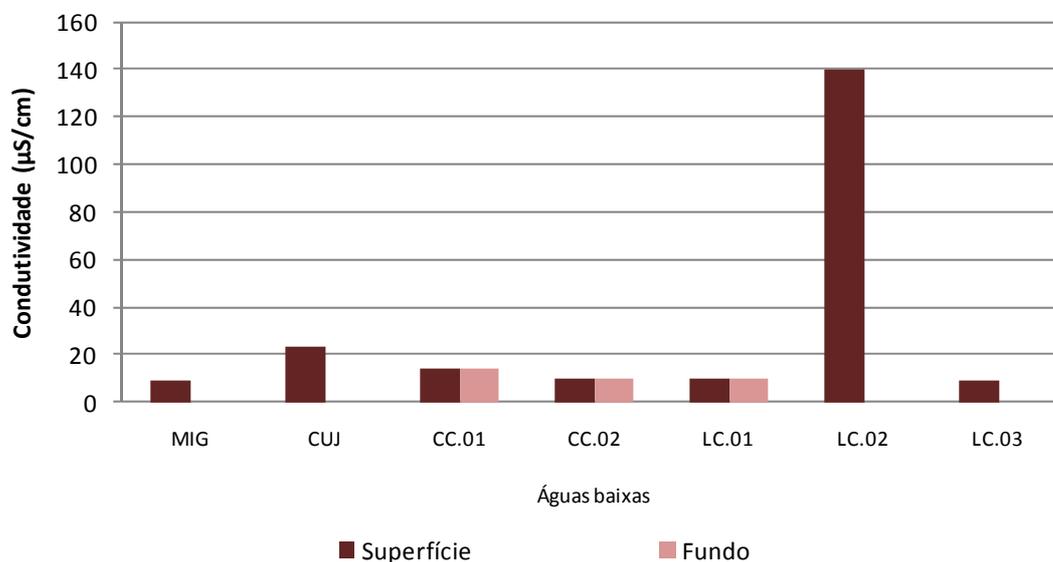


Figura 5.1-45 - Condutividade elétrica nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

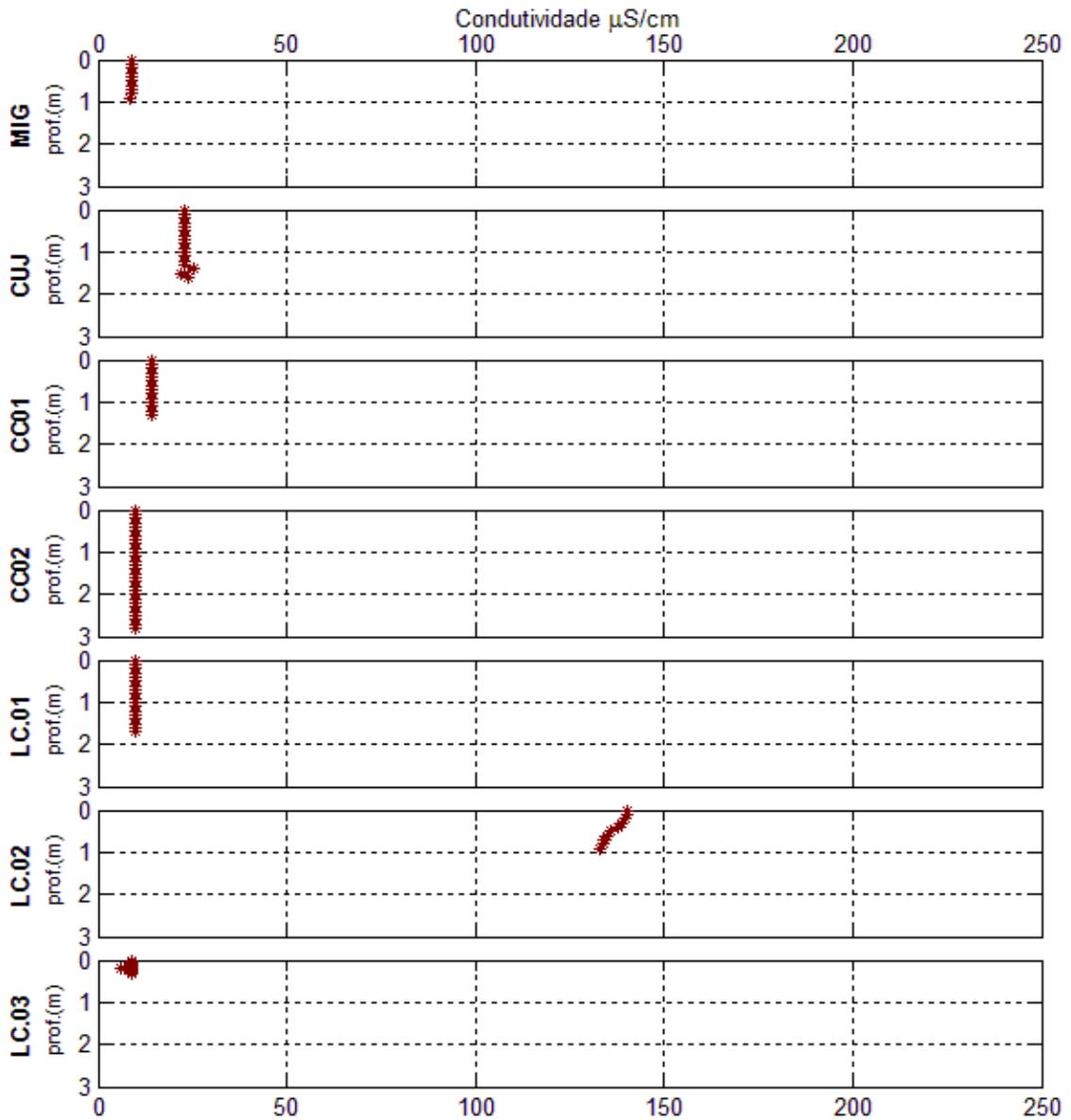


Figura 5.1-46 - Perfis de condutividade elétrica nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

### 5.1.3.2 - Potencial hidrogeniônico (pH)

No rio Madeira o pH esteve próximo da neutralidade, com valores variando entre 6 e 8 (Figura 5.1-47). A média do período estudado foi de  $7,4 \pm 0,1$  (média  $\pm$  DP), semelhante ao valor médio relatado no EIA ( $6,8 \pm 0,3$ , média  $\pm$  DP), na fase de enchimento do reservatório ( $7,4 \pm 0,2$ , média  $\pm$  DP), e das campanhas realizadas nos mesmos períodos (águas baixas) apresentadas no Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira entre janeiro de 2009 e agosto de 2011 ( $7,6 \pm 0,1$  média  $\pm$  DP). Os perfis de pH evidenciaram a pequena variação vertical desta variável nas estações amostradas (Figura 5.1-48).

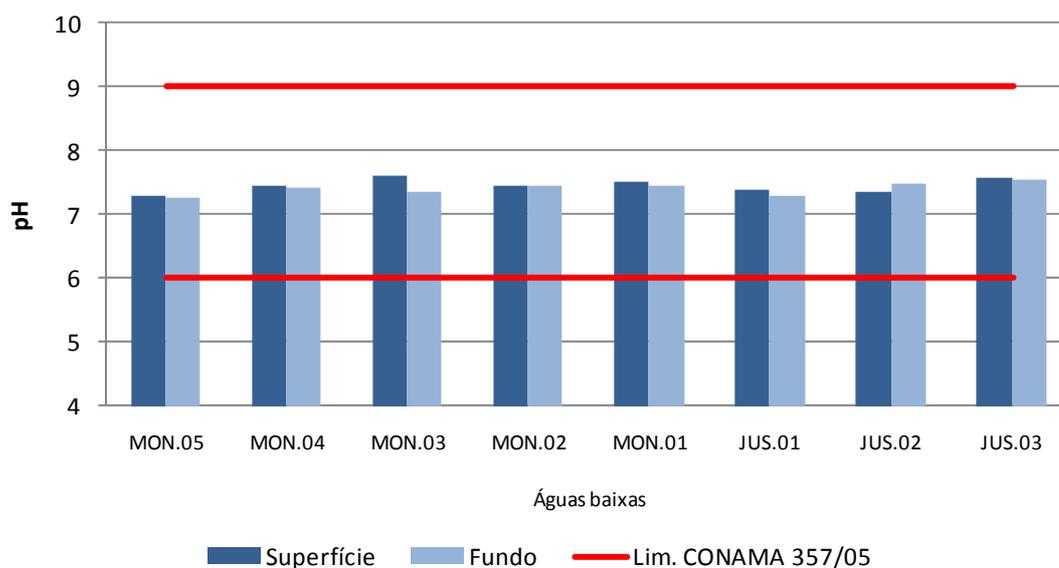


Figura 5.1-47 - Valores de pH no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

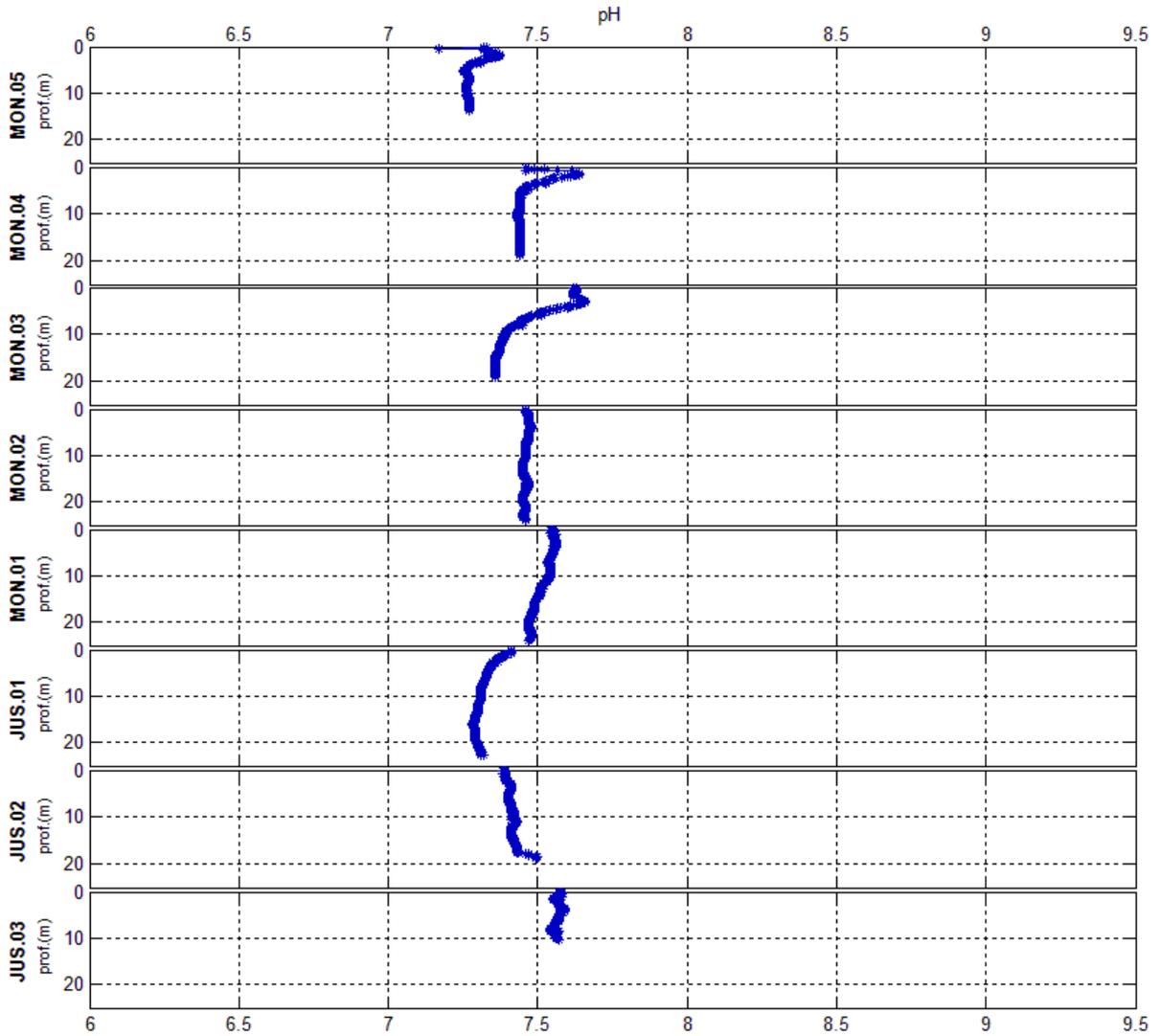


Figura 5.1-48 - Perfis de pH no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos tributários, o pH foi geralmente mais ácido do que no rio Madeira. Os valores nos tributários variaram de 6 (CAR) a 7,6 (TEO), com valor médio de  $6,9 \pm 0,5$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-49). Houve baixa variação vertical nas estações amostradas, exceto nas estações CRC, TEO.01, JAT I, JAT I.01, CEA.01, onde houve alguma variação vertical no pH, ocorrendo aumento da acidez com o aumento da profundidade, padrão que se espera para ambientes lânticos (Figura 5.1-61).

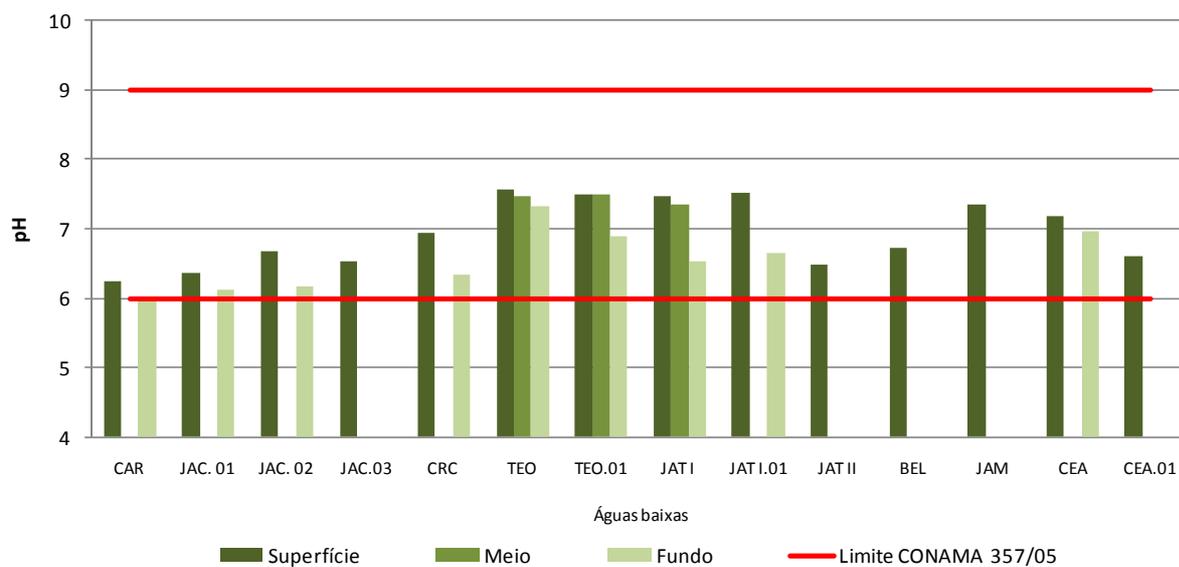
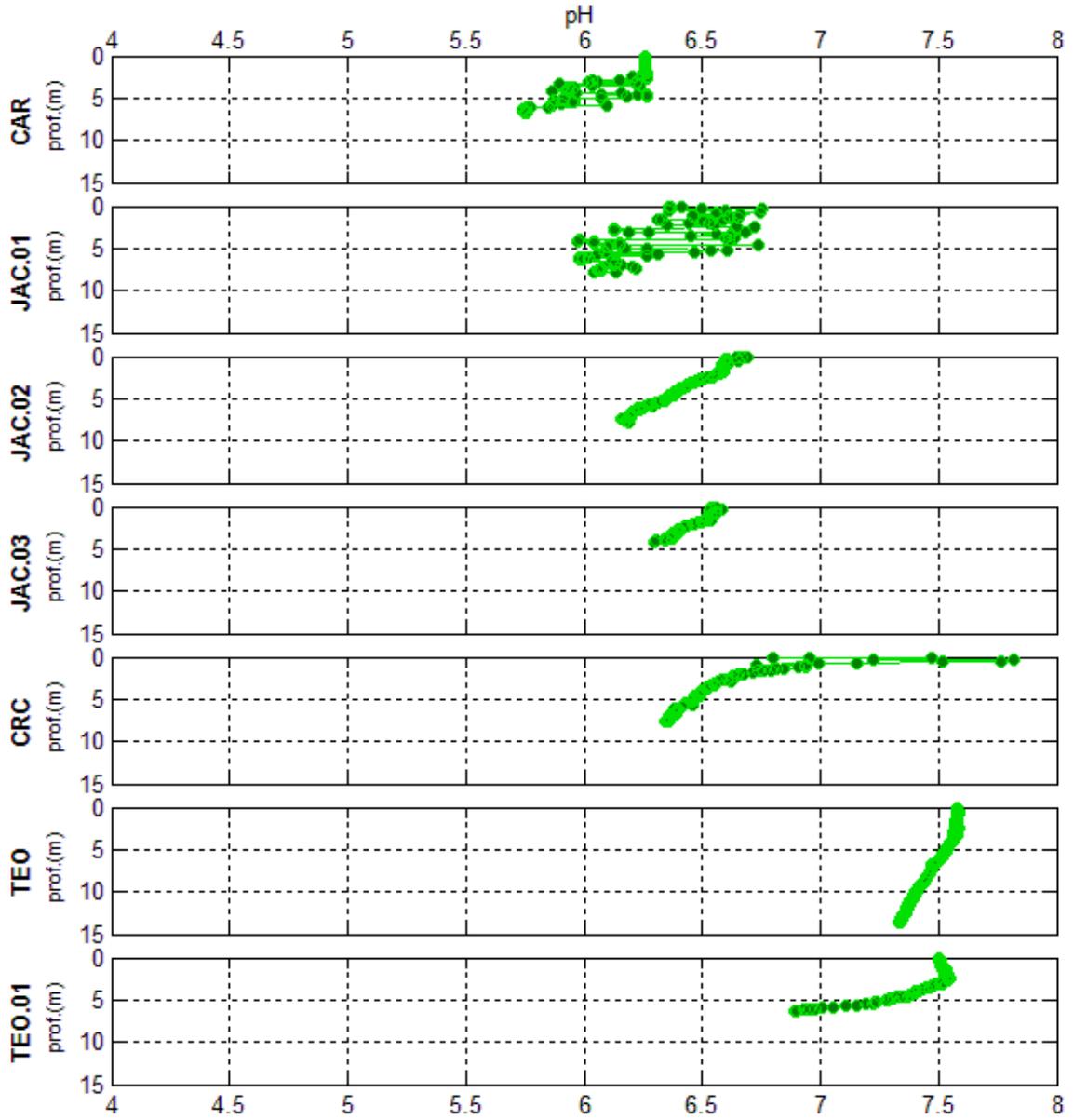


Figura 5.1-49 - Valores de pH nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).



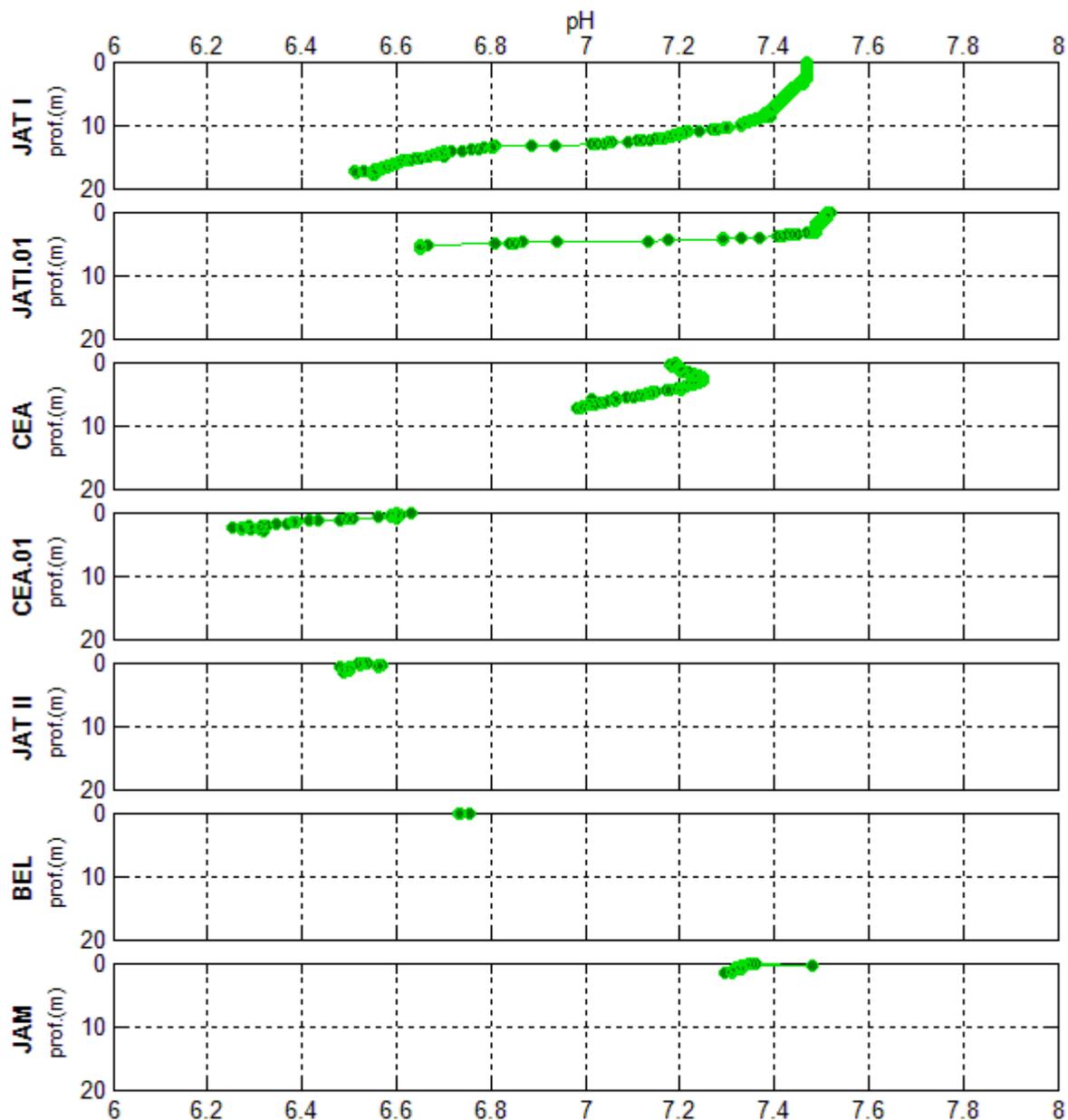


Figura 5.1-50 - Perfis de pH nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos lagos e canais os menores valores foram de 4,5 (LC.02), ao passo que o maior valor foi de 8,3 (CUJ) (Figura 5.1-51). O valor médio foi de  $6,7 \pm 1,1$  (média  $\pm$  DP). Os perfis de pH evidenciaram a pequena variação vertical desta variável nas estações amostradas (Figura 5.1-52).

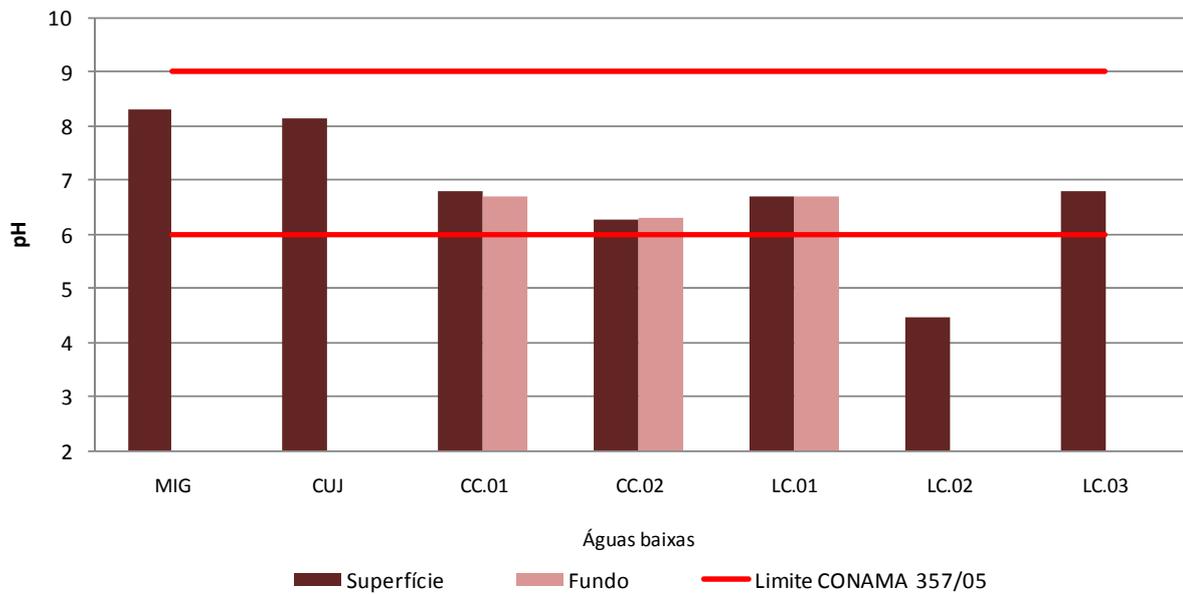


Figura 5.1-51 - Valores de pH nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

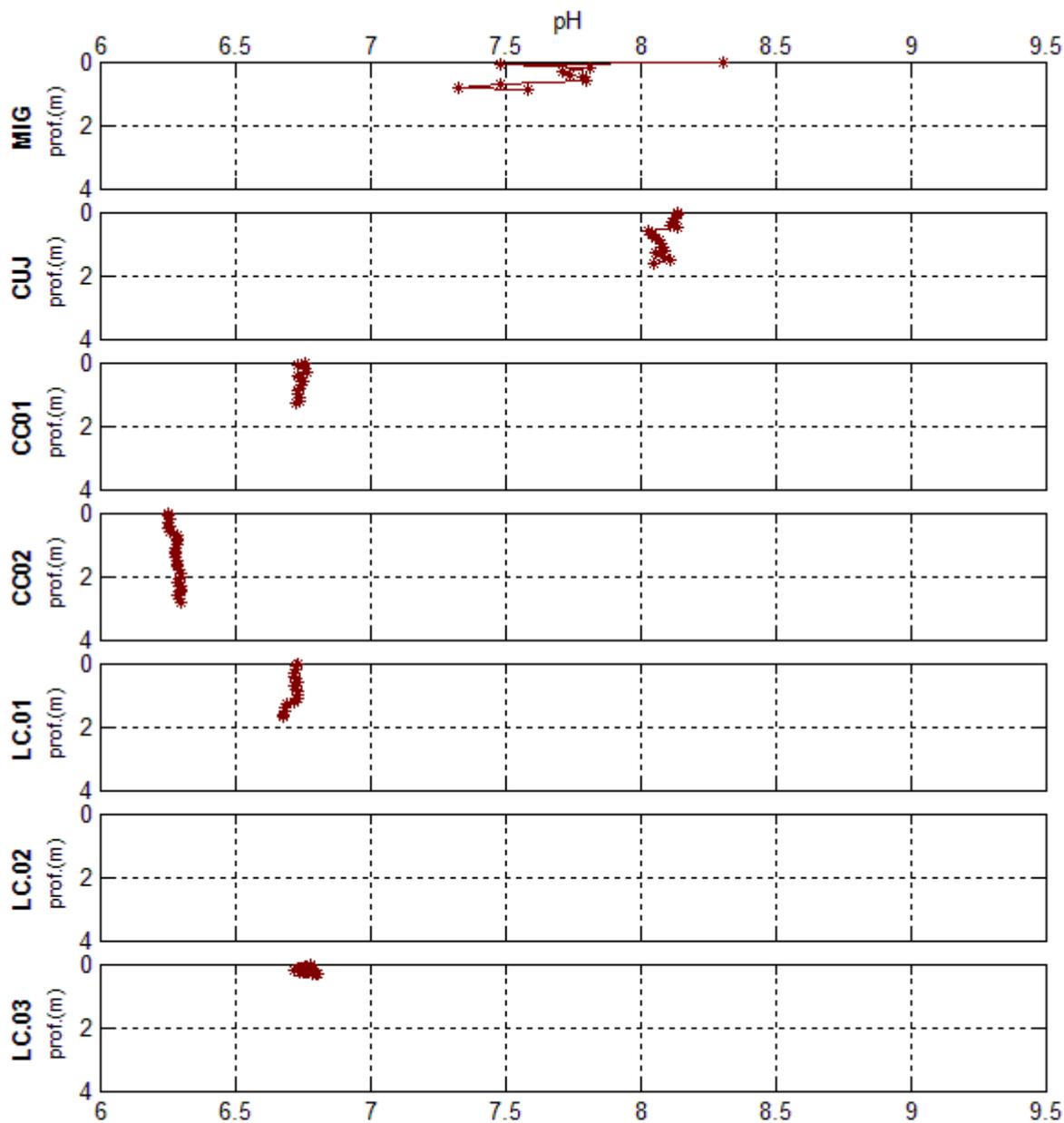


Figura 5.1-52 - Perfis de pH nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

No rio Madeira e nos tributários, todas as estações respeitaram o intervalo de pH de 6 a 9 previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de Classe 2. Nos lagos e canais, por outro lado, o intervalo supracitado não foi respeitado somente na estação LC.02. Trata-se, porém, de uma situação natural dos ambientes amostrados, que tendem a apresentar pH ácido. Essa situação ocorre devido ao aporte de material orgânico terrestre, que provoca o aumento da taxa de respiração. A liberação de CO<sub>2</sub> na água tende a diminuir o pH. Além disso, já foi mostrado na literatura científica que o caráter ácido é uma condição natural de alguns ambientes aquáticos amazônicos (Melack & Fisher, 1983).

## 5.1.4 - Químicas I-A

### 5.1.4.1 - Oxigênio - concentração

As principais fontes de oxigênio para ecossistemas aquáticos são a atmosfera e a fotossíntese realizada por algas e macrófitas. No caso de rios, a atmosfera recebe maior destaque, uma vez que a dinâmica fluvial é caracterizada por elevada turbulência e constante troca de gases na interface água-atmosfera (Wetzel, 2001).

As concentrações de oxigênio dissolvido (OD) oscilaram entre 6,9 mg/L (MON.01 fundo) e 8,6 mg/L (JUS.01 superfície), com média de  $7,7 \pm 0,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-53). Os perfis de oxigênio dissolvido (Figura 5.1-54) mostraram que houve pouca variação vertical dessas variáveis, além de demonstrarem que as estações de jusante são mais bem oxigenadas do que as estações de montante. Mesmo após o represamento, em geral, não houve deplecionamento de oxigênio nas estações do rio Madeira.

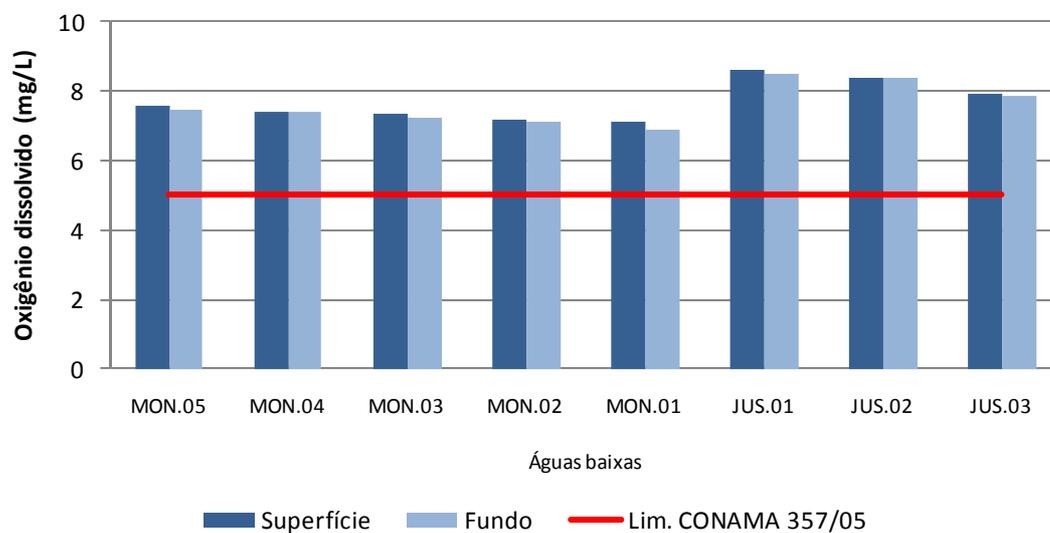


Figura 5.1-53 - Concentrações de oxigênio dissolvido no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

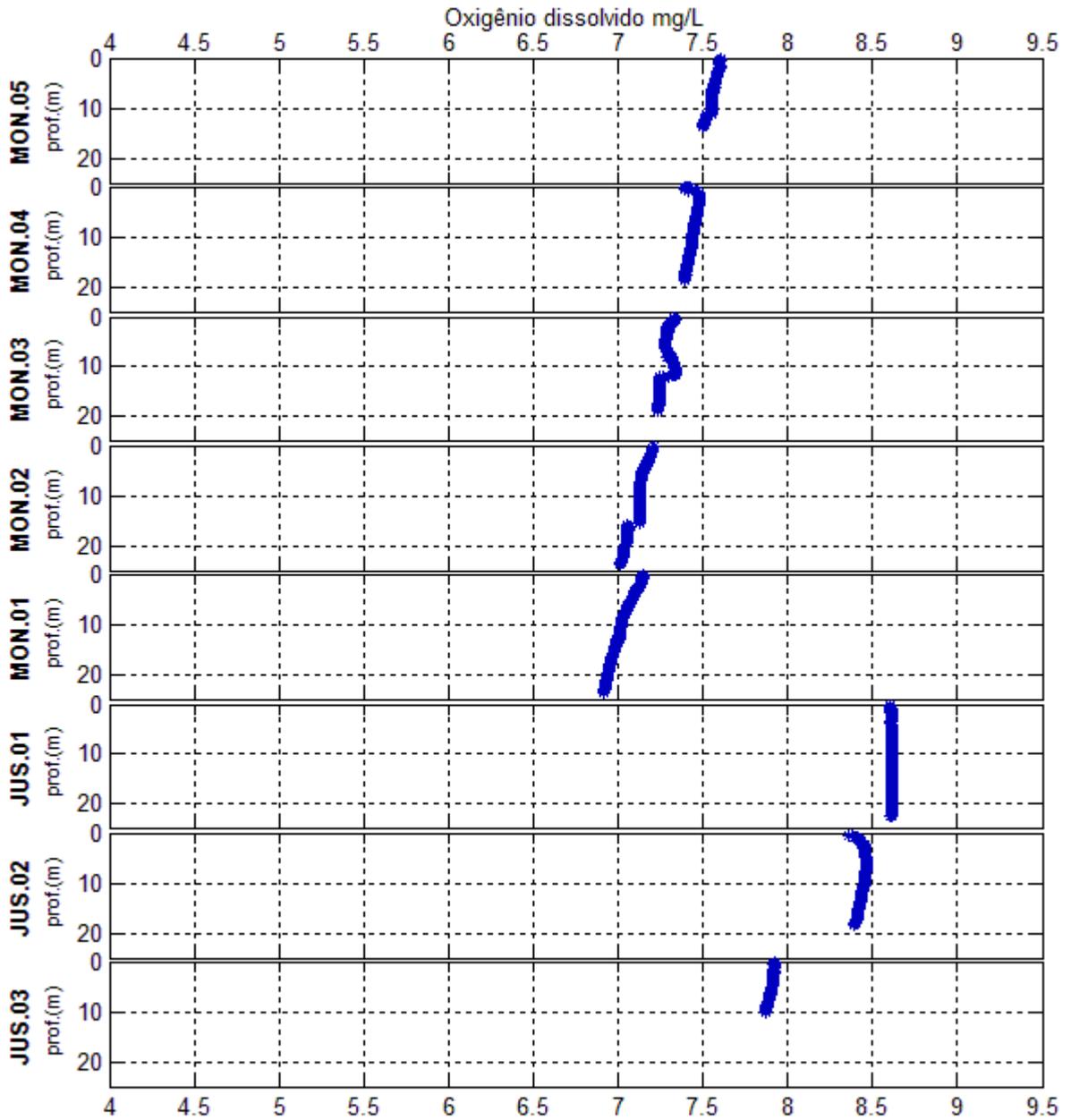


Figura 5.1-54 - Perfis de concentração de oxigênio dissolvido no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos tributários, o oxigênio dissolvido (OD) variou entre 0,55 mg/L (CAR fundo) e 7,5 mg/L (TEO e TEO.01 superfície), com média de  $5,3 \pm 2$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-55). Os perfis de oxigênio dissolvido (Figura 5.1-56) mostraram que as estações JAC.01, CRC, TEO.01, JAT I, JAT I.01 e CEA.01, localizadas a montante da barragem, apresentaram acentuado decréscimo de oxigênio dissolvido em direção ao fundo, padrão que se espera para ambientes lênticos. Esse gradiente de diminuição vertical do oxigênio corrobora a hipótese de que a estratificação térmica, provavelmente, está contribuindo para a hipoxia no fundo.

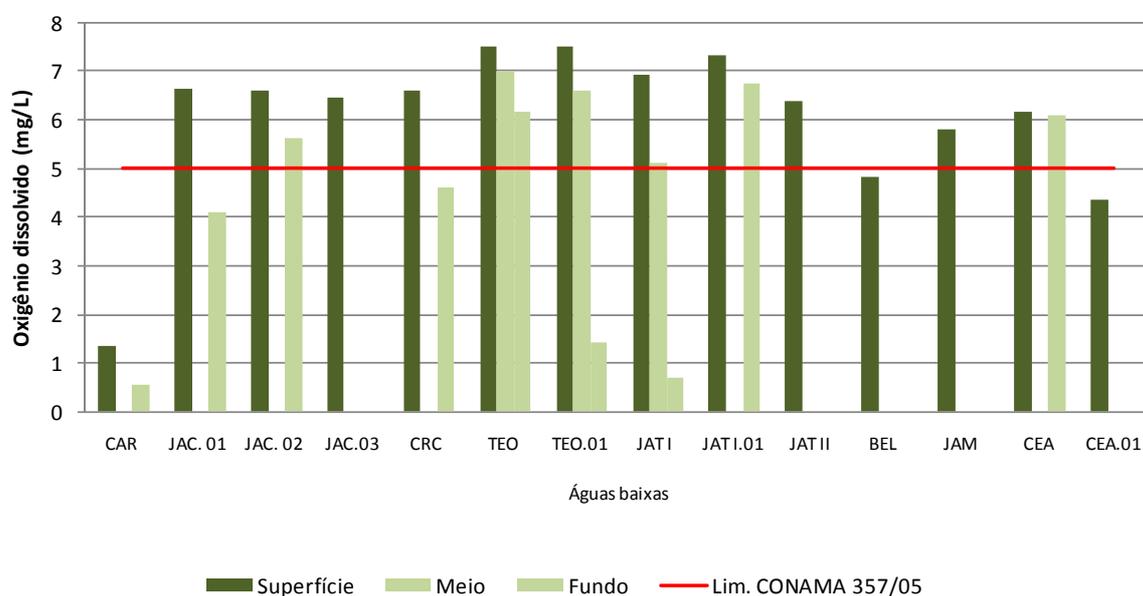
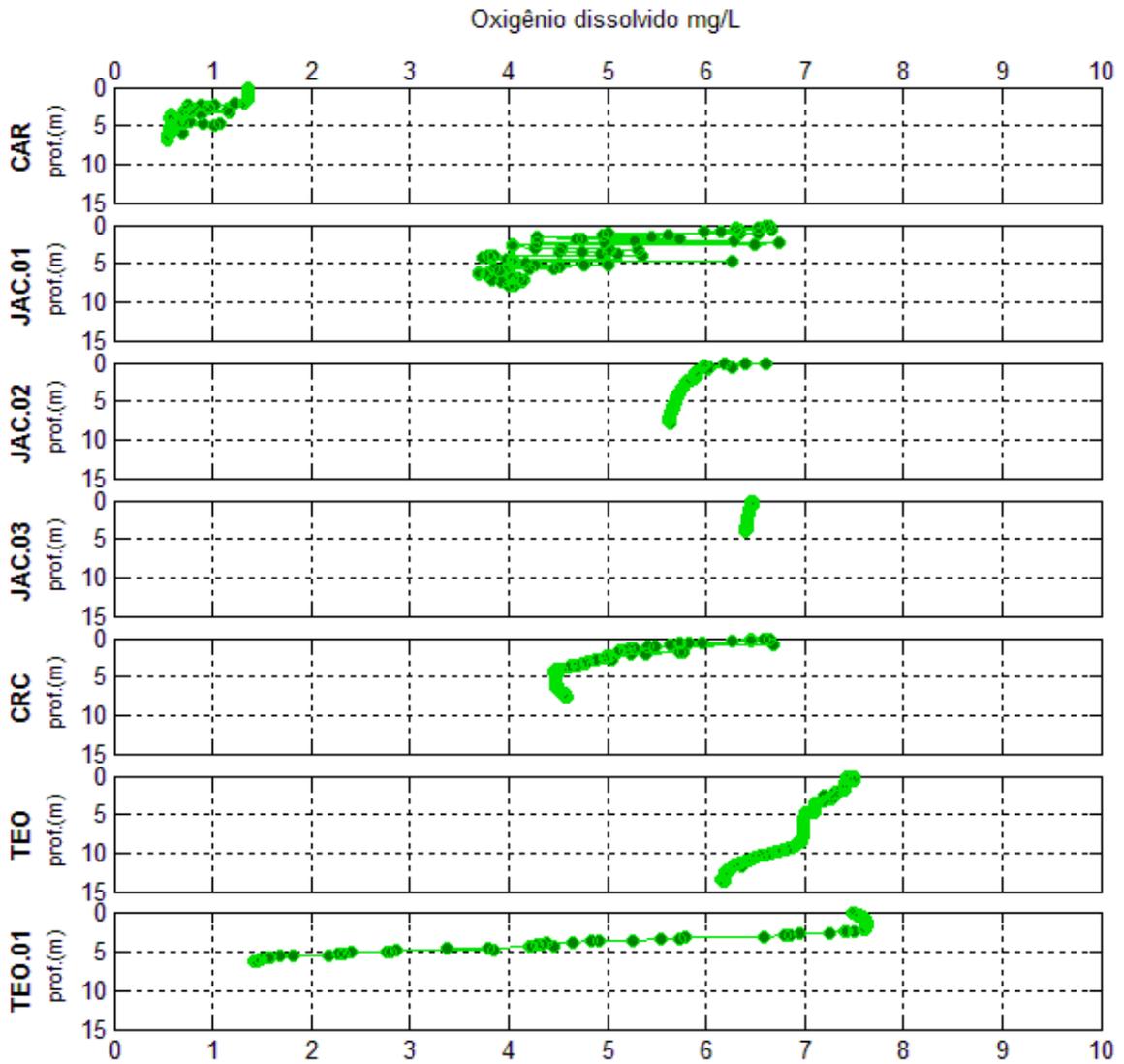


Figura 5.1-55 - Concentrações de oxigênio dissolvido nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).



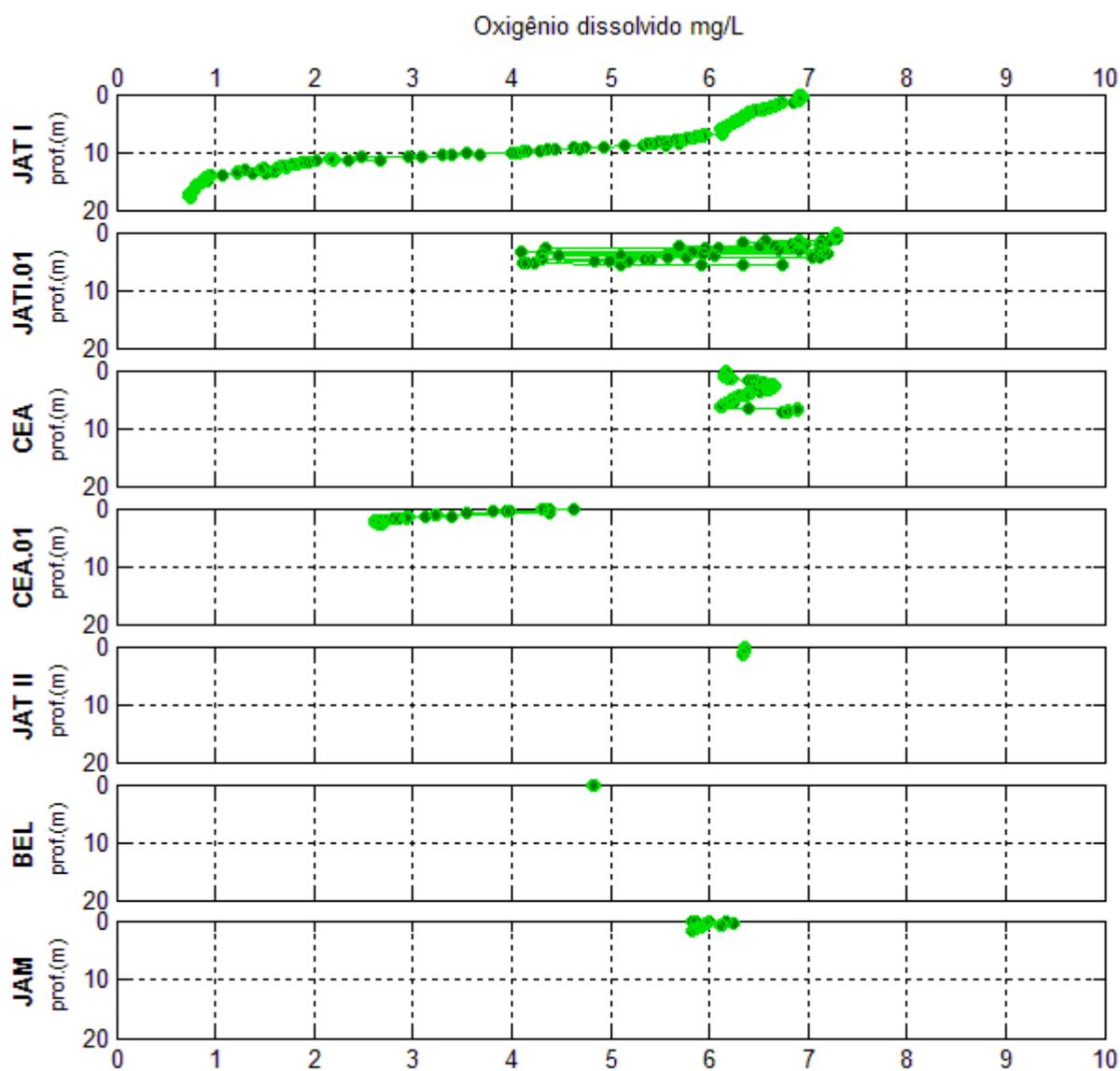


Figura 5.1-56 - Perfis de oxigênio dissolvido nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos lagos e canais, a média do oxigênio dissolvido (OD) foi de  $6,2 \pm 1,1$  mg/L (média  $\pm$  DP), com as concentrações oscilando entre 3,7 mg/L (LC.02) e 7,8 mg/L (CUJ) (Figura 5.1-57). Na estação LC.02, o baixo valor pode estar relacionado à intensa atividade de degradação de matéria orgânica, ao passo que na estação CUJ o alto valor pode estar relacionado a altos índices de produção fitoplanctônica. Os perfis de oxigênio dissolvido mostram que os lagos e canais não apresentaram declínio das concentrações de oxigênio com o aumento da profundidade, com exceção da estação LC.02, onde foi observado pouco decréscimo em direção ao fundo. Isto ocorreu devido à reduzida profundidade da coluna d'água neste período, o que impossibilitou o fenômeno da estratificação do oxigênio dissolvido (Figura 5.1-58).

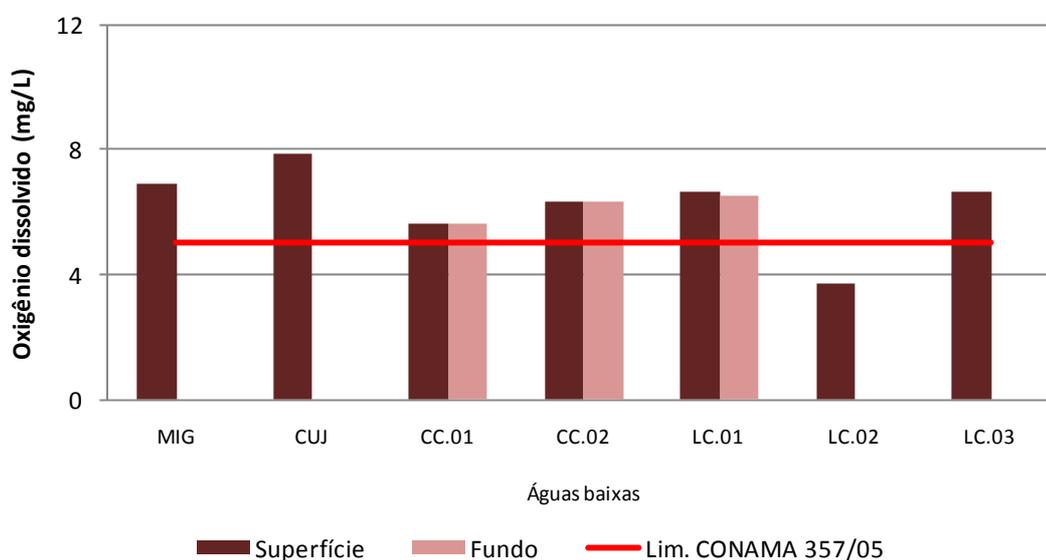


Figura 5.1-57 - Concentrações de oxigênio dissolvido nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

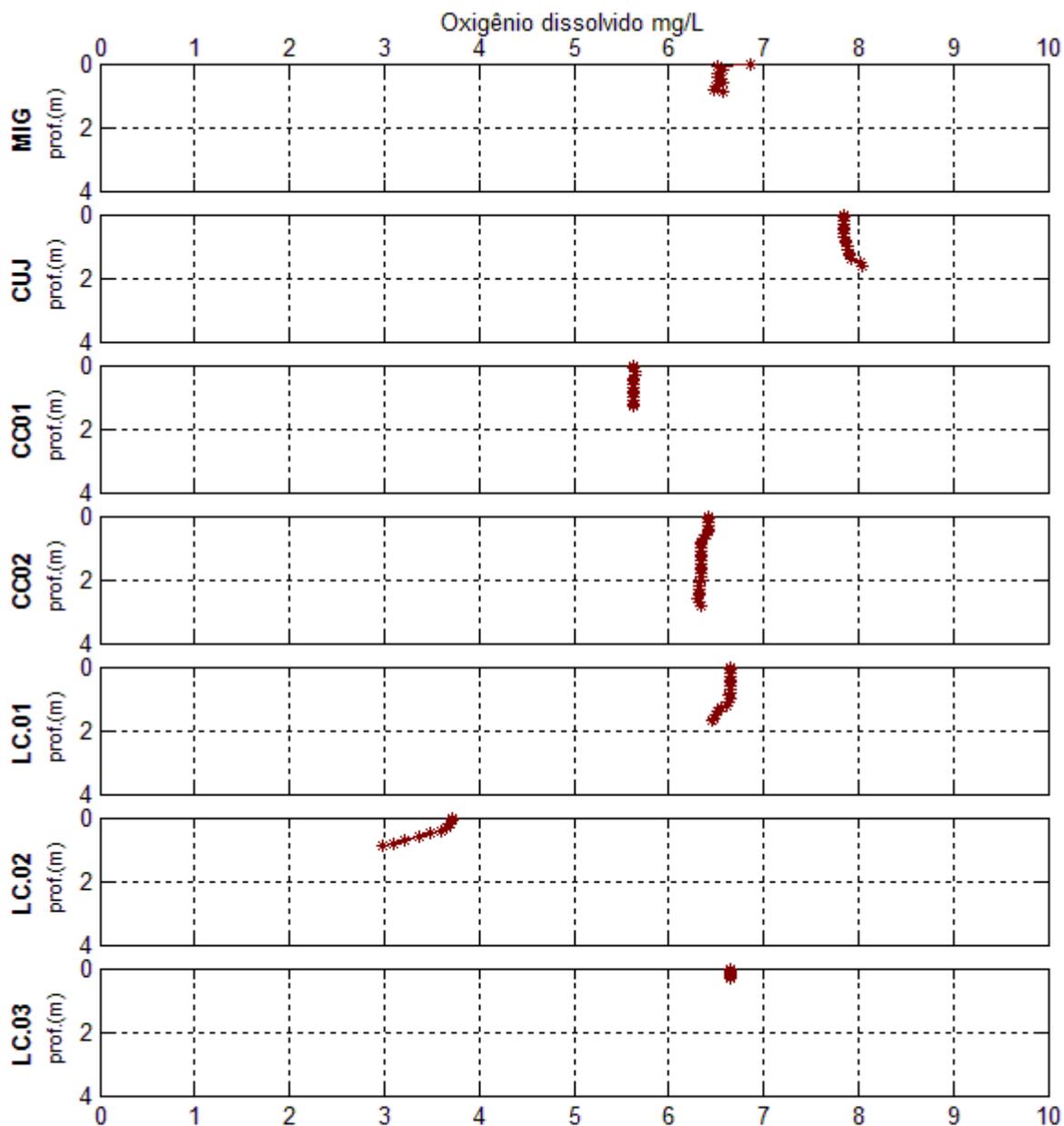


Figura 5.1-58 - Perfis de oxigênio dissolvido nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Na **Figura 5.1-59** pode ser observado que as estações JUS.01 e JUS.02 apresentaram índice de oxigenação maior do que nas demais estações. Essas estações situam-se a jusante do barramento e o efeito da passagem da água pelos vertedouros favorece a entrada de oxigênio por difusão. Como JUS.03 está mais de 70 km a jusante da região de corredeiras do rio, os valores decrescem novamente, pois a produção primária no rio Madeira é baixa devido à baixa transparência da água e, portanto, há mais respiração do que produção. O valor médio de concentração de oxigênio registrado neste estudo é semelhante ao valor médio das campanhas realizadas nos mesmos períodos (águas baixas) apresentadas no Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira entre janeiro de 2009 e agosto de 2011 ( $7,7 \pm 0,6$  mg/L média  $\pm$  DP).

Nos tributários, as estações CAR, JAC.01 fundo, CRC fundo, TEO.01 fundo, JAT I fundo e CEA.01 não atenderam a concentração mínima de OD para corpos d'água de Classe 2 segundo o Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 (5 mg/L). Essas estações atualmente são braços do reservatório, apresentaram coluna d'água hipóxica e anóxica em alguns casos. As baixas concentrações no fundo estão possivelmente associadas à estratificação térmica, que cria uma barreira para a difusão de gases, deixando o hipolímnio hipóxico devido ao fato de a respiração sobrepujar a produção primária nessa camada. Além disso, o aporte de material orgânico terrestre foi intensificado durante o enchimento do reservatório, o que tende a aumentar as taxas de decomposição aeróbia e, por conseguinte, diminuir os teores de oxigênio.

Já nos lagos e canais a estação LC.02, situada no lago Cuniã, não atendeu a este limite. A entrada de material de origem terrestre, favorecendo a decomposição e o consequente consumo do oxigênio pode explicar esses valores. Contudo, trata-se de uma condição natural desses ambientes (Melack & Fisher, 1983).

#### 5.1.4.2 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>)

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>) informa a quantidade de matéria orgânica e inorgânica em um corpo d'água susceptível à oxidação por via biológica (APHA, 1998). O cálculo da DBO<sub>5</sub> é feito com base nas concentrações de oxigênio no momento da incubação e cinco dias após a incubação da amostra.

Houve pouca variação espacial, com os valores oscilando entre 0,15 mg/L (MON.01 fundo) e 1,33 mg/L (JUS.02 fundo), com média de  $0,5 \pm 0,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-59). Os resultados obtidos neste monitoramento foram semelhantes aos descritos no EIA, que registrou média global de  $1,1 \pm 0,6$  mg/L (média  $\pm$  DP). Os resultados obtidos não apontam variação espacial e nem efeito do barramento. Os valores obtidos estão bem abaixo do limite estipulado pela Resolução CONAMA 357/2005 para corpos de água doce da Classe 2 (5 mg/L).

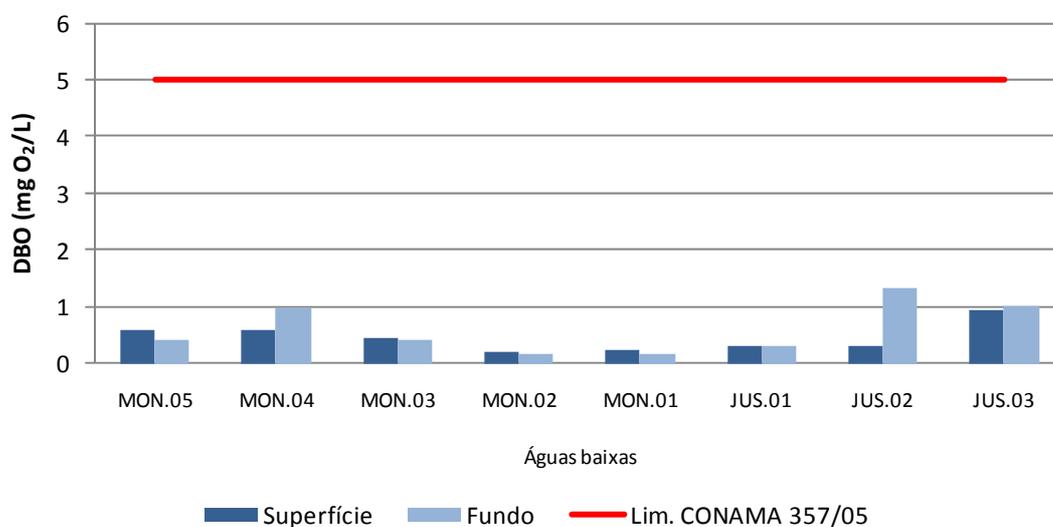


Figura 5.1-59 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Os tributários apresentaram baixos valores de DBO<sub>5</sub>, com uma média de  $0,97 \pm 0,44$  mg/L (média  $\pm$  DP). A DBO<sub>5</sub> variou de 0,16 mg/L (TEO) a 1,7 mg/L (JAM) (Figura 5.1-60).

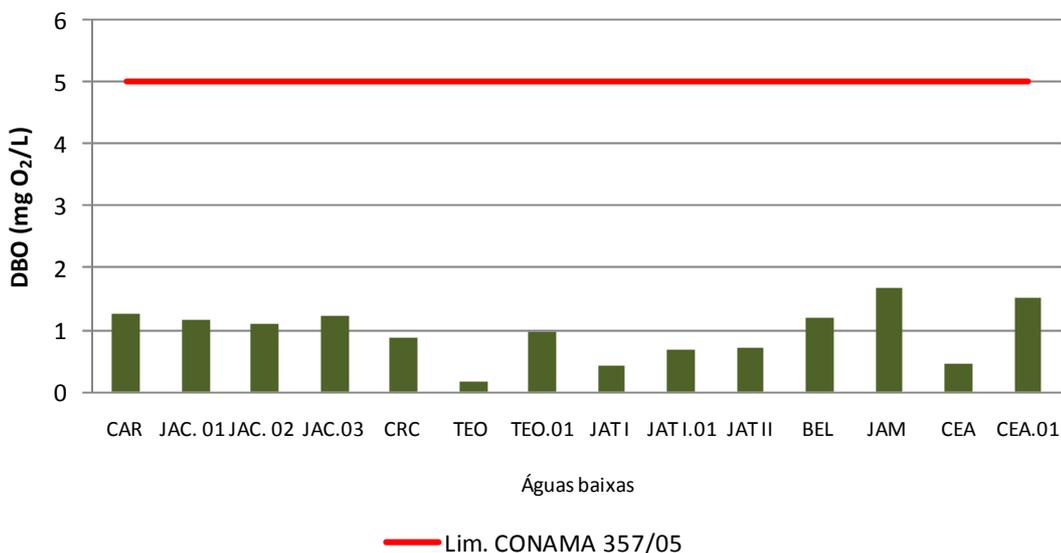


Figura 5.1-60 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e abril de 2011.

Nos lagos e canais, a DBO foi geralmente baixa, assim como observado para o rio Madeira e os tributários. Os valores variaram entre 0,73 mg/L (CUJ) e 1,65 mg/L (LC.02 e LC.01 fundo), com valor médio de  $1,4 \pm 0,5$  mg/L (média  $\pm$  DP). A variação espacial não foi alta, mas foi mais pronunciada do que no rio Madeira e nos tributários (Figura 5.1-61).

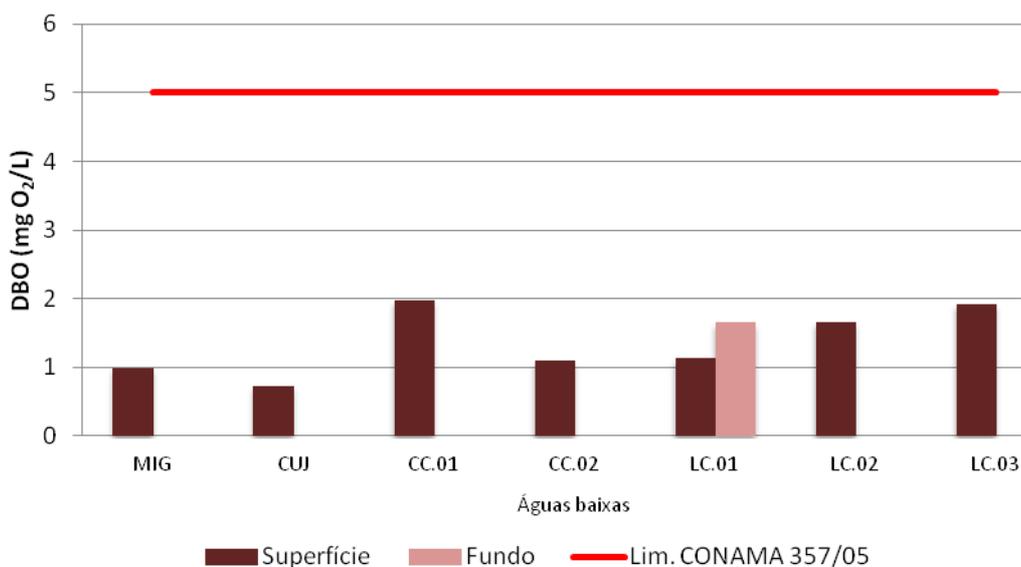


Figura 5.1-61 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Todas as estações de monitoramento do rio Madeira, dos tributários e dos lagos e canais atenderam à DBO<sub>5</sub> máxima de 5 mg/L prevista no Art.15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de Classe 2. Mesmo com a criação do reservatório, os resultados obtidos não apontam para modificações na DBO<sub>5</sub> nos ambientes estudados.

### 5.1.4.3 - Demanda química de oxigênio (DQO)

A demanda química de oxigênio (DQO) corresponde à medida da quantidade de matéria orgânica e inorgânica susceptível à oxidação química em um corpo d'água. A DQO é geralmente superior à DBO, uma vez que compostos biodegradáveis também são oxidados nesta análise (APHA, 1998).

No rio Madeira, os valores de DQO variaram de 13,56 mg/L (MON.03 fundo) a 65 mg/L (JUS.02 fundo), com um valor médio de  $44 \pm 16$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-62). Os valores encontrados estiveram próximos aos apresentados no EIA, que relata valor médio de  $40 \pm 16$  mg/L (média  $\pm$  DP).

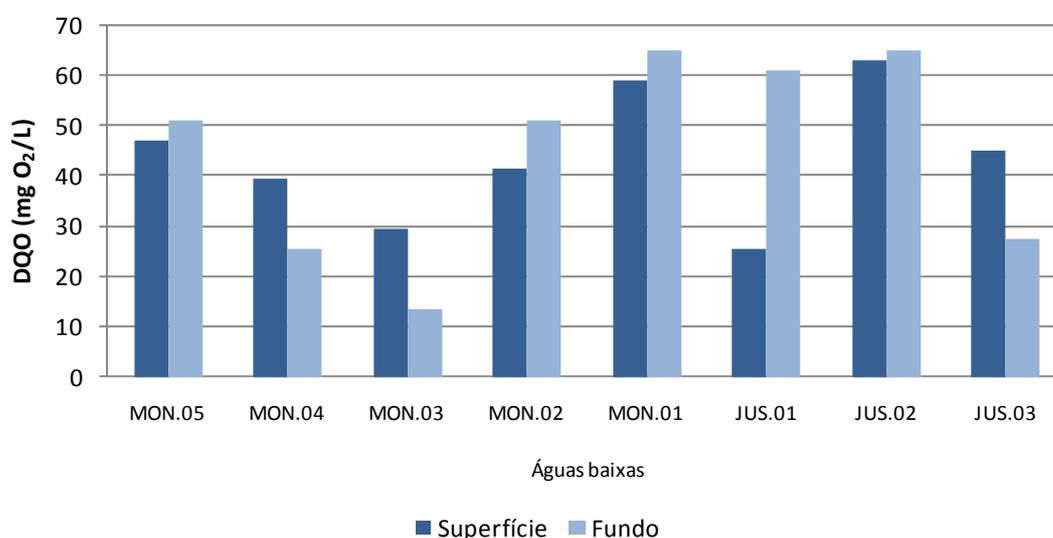


Figura 5.1-62 - Demanda química de oxigênio (DQO) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Os valores de DQO oscilaram entre 9,6 mg/L (JAM) e 74,87 mg/L (CEA), com valor médio de  $39 \pm 20$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-63). Por se tratarem de ambientes diferentes e desconectados, a DQO variou bastante entre as estações.

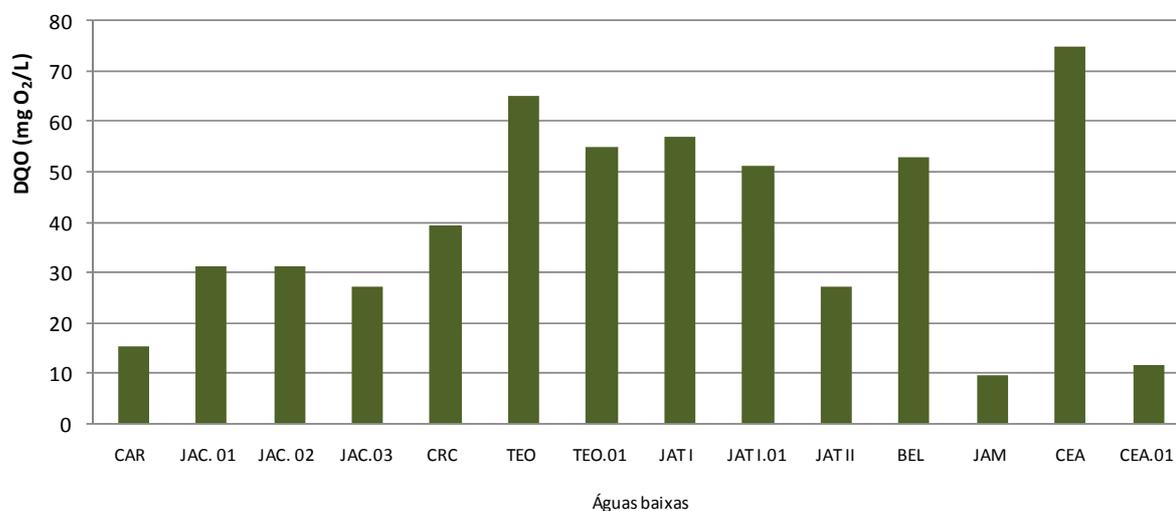


Figura 5.1-63 - Demanda química de oxigênio (DQO) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos lagos e canais, a DQO foi geralmente mais baixa do que no rio Madeira e os tributários. Os valores oscilaram entre 17,51 mg/L (LC.01) e 37,3 mg/L (CC.01), com valor médio de  $25 \pm 7,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-64).

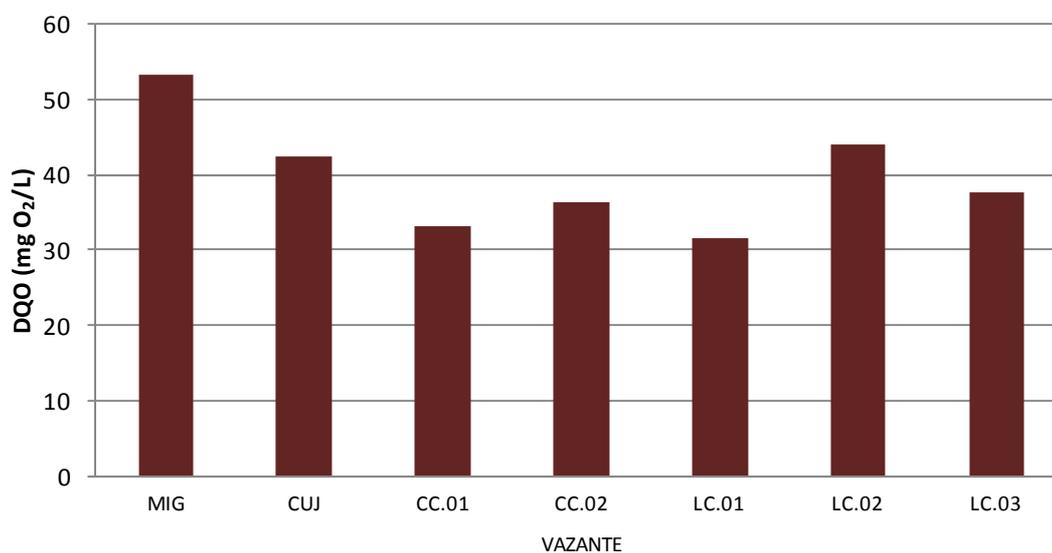


Figura 5.1-64 - Demanda química de oxigênio (DQO) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Mesmo com a criação do reservatório, os resultados obtidos não apontam para modificações nos valores de DQO nos ambientes amostrados.

#### 5.1.4.4 - Carbono inorgânico, Carbono orgânico total, Carbono total e Carbono orgânico dissolvido

O carbono inorgânico (CI) apresentou valores mínimo e máximo de 7,1 mg/L (MON.05 fundo) e 8,7 mg/L (MON.01 fundo), respectivamente. O valor médio foi de  $7,9 \pm 0,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-65**). Houve pouca variabilidade espacial nas concentrações de CI e a variação entre superfície e fundo foi praticamente inexistente, com valores muito próximos. Esses resultados indicam que a formação do reservatório não influenciou, até o presente momento, a dinâmica do CI nas estações do rio Madeira.

A média do carbono orgânico total (COT) foi de  $5,3 \pm 0,8$  mg/L (média  $\pm$  DP), variando entre 3,65 mg/L (JUS.03 fundo) e 6,6 mg/L (MON.04 fundo) (**Figura 5.1-66**). As concentrações de COT no rio Madeira geralmente atingem seus maiores valores nos períodos de enchente e águas altas e os menores valores nos períodos de vazante e águas baixas. O mesmo acontece com o carbono orgânico dissolvido (COD) que registrou valores que oscilaram entre 2,9 mg/L (MON.03 fundo) e 4,8 mg/L (MON.05 superfície). O valor médio foi de  $3,6 \pm 0,6$  mg/L (média  $\pm$  DP), semelhante ao valor médio das campanhas realizadas nos mesmos períodos (águas baixas) apresentadas no Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira entre janeiro de 2009 e agosto de 2011 ( $3,07 \pm 0,7$  mg/L média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-67**).

Não houve equivalência na composição do carbono total (CT) no rio Madeira, A parcela inorgânica contribuiu em média com 60% e a orgânica com 40% do total. O CT não apresentou grande variação espacial, de forma que a concentração média foi  $13,2 \pm 0,7$  mg/L (média  $\pm$  DP), variando entre 12 mg/L (MON.03 fundo) e 14,3 mg/L (MON.04 fundo) (**Figura 5.1-68**).

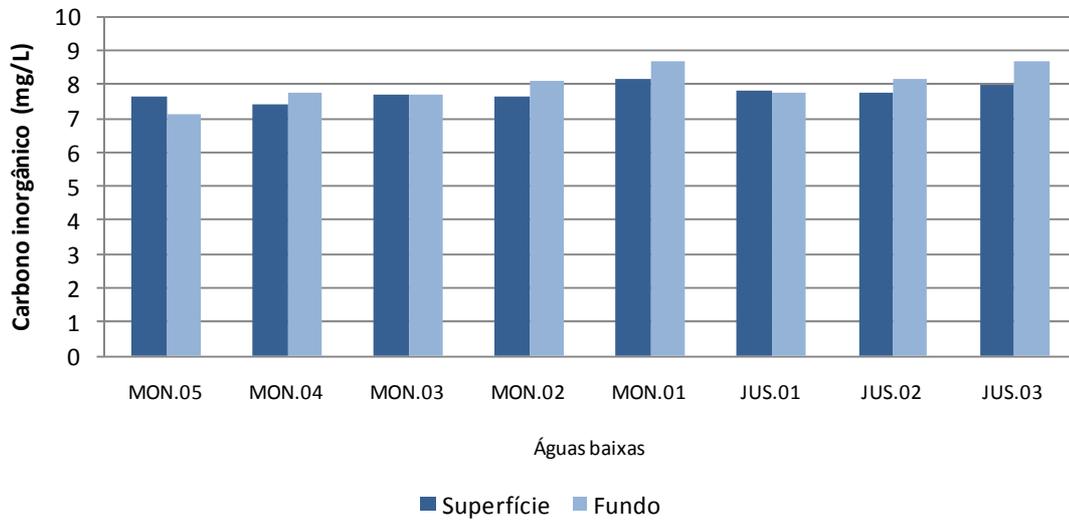


Figura 5.1-65 - Concentrações de carbono inorgânico no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

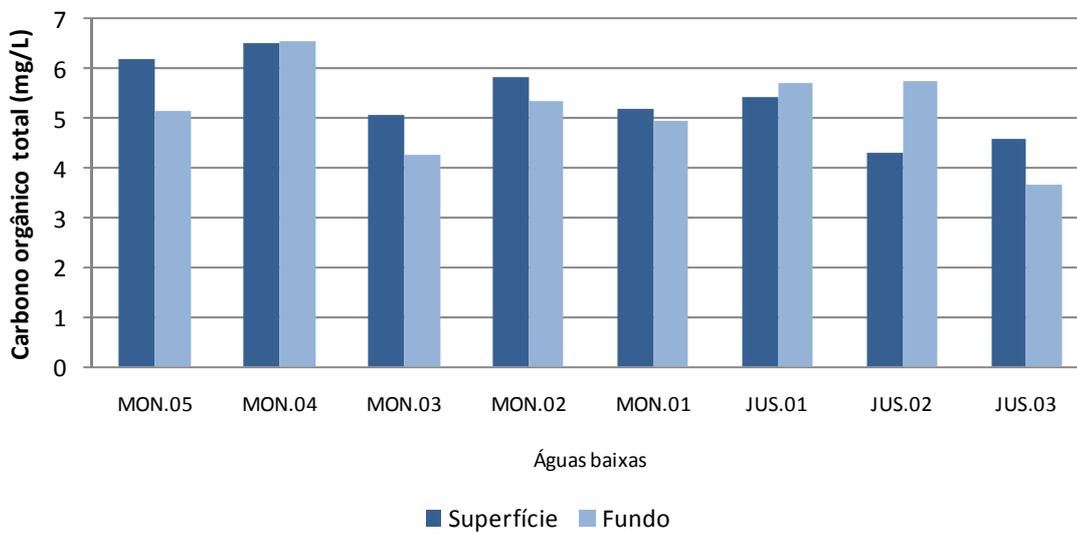


Figura 5.1-66 - Concentrações de carbono orgânico total (COT) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

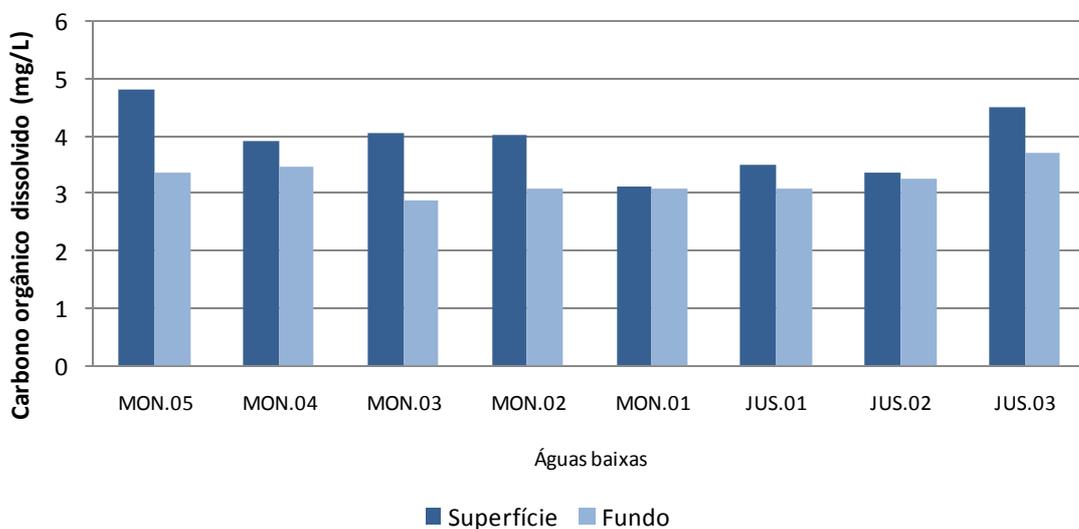


Figura 5.1-67 - Concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

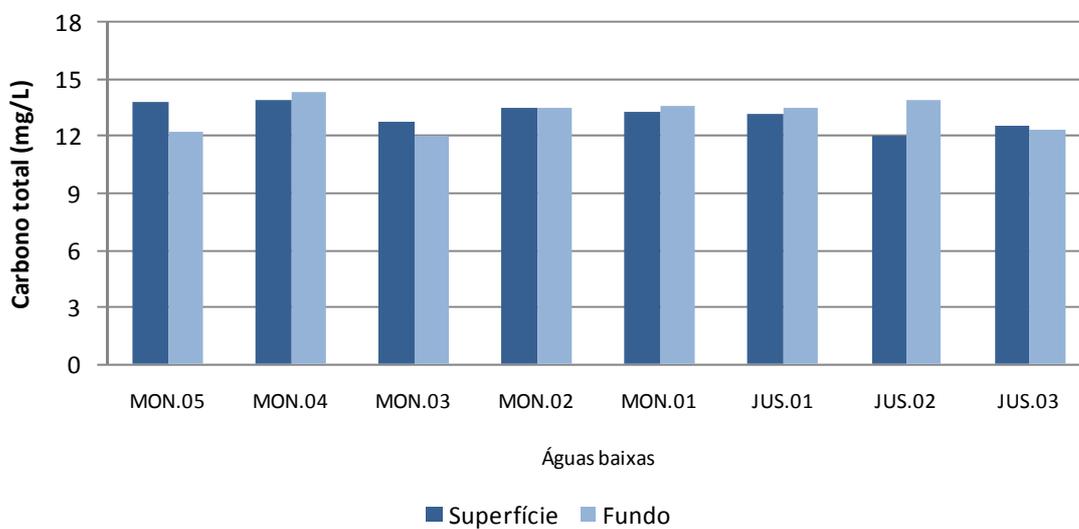


Figura 5.1-68 - Concentrações de carbono total (CT) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos tributários, os valores de carbono inorgânico foram menores que no rio Madeira. A concentração média dessa parcela foi de  $5,7 \pm 3,1$  mg/L (média  $\pm$  DP), de modo que as concentrações oscilaram entre 1,7 mg/L (JAT II) e 9,35 mg/L (CAR) (Figura 5.1-69). Os valores de CI mais elevados foram encontrados nas estações CAR, CRC, TEO, TEO.01, JAT.I, JATI.01 e CEA, estações que apresentaram características da água semelhantes às do rio Madeira, que tem maiores concentrações de CI. Essas estações estão situadas em braços reservatório e boa parte da água que banha esses ambientes é oriunda do rio Madeira.

As concentrações de carbono orgânico total (COT) oscilaram entre 3,9 mg/L (JAM) e 8,1 mg/L (CEA.01), com uma média de  $5,5 \pm 1,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-70). O carbono orgânico dissolvido (COD) apresentou média de  $4,2 \pm 1,2$  mg/L (média  $\pm$  DP). Os valores oscilaram entre 3,1 mg/L (CRC) e 7,6 mg/L (CEA.01) (Figura 5.1-71).

Houve equivalência na composição do carbono total (CT) nos tributários, sendo a parcela inorgânica, tendo respondido, em média, por 51% do carbono total. A concentração média de CT foi de  $11,2 \pm 3$  mg/L (média  $\pm$  DP), sendo que os valores variaram entre 6,7 mg/L (JAM) e 14,9 mg/L (JAT I.01) (Figura 5.1-72).

Os maiores valores foram observados nas estações CAR, CRC, JAT.I, JATI.01, TEO, TEO.01, e CEA, estações que apresentaram características da água semelhantes às do rio Madeira. Essas estações estão situadas em braços do reservatório e boa parte da água que banha esses ambientes é oriunda do rio Madeira.

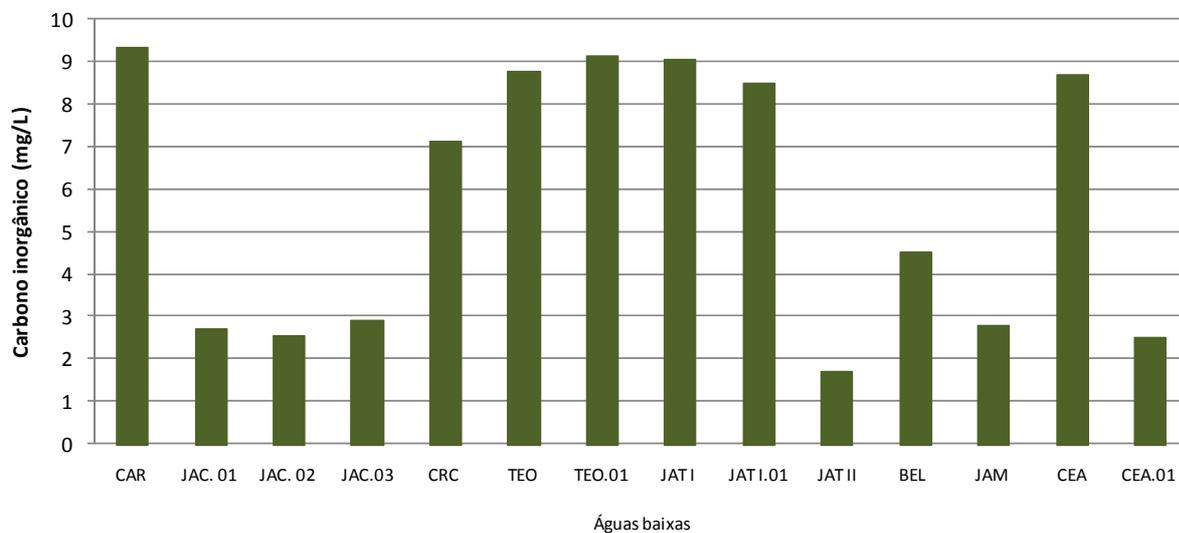


Figura 5.1-69 - Concentrações de carbono inorgânico nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

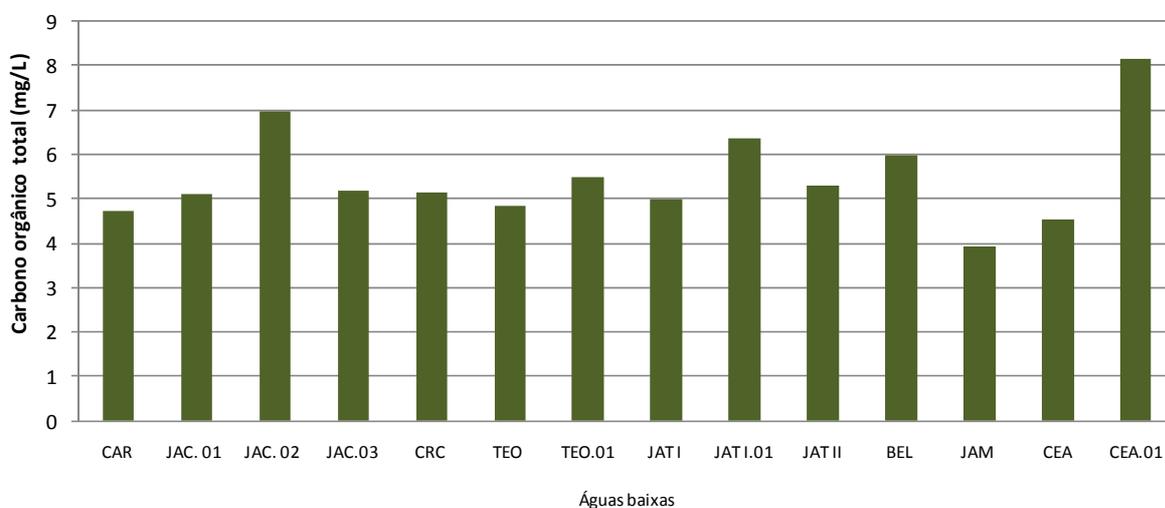


Figura 5.1-70 - Concentrações de carbono orgânico total (COT) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

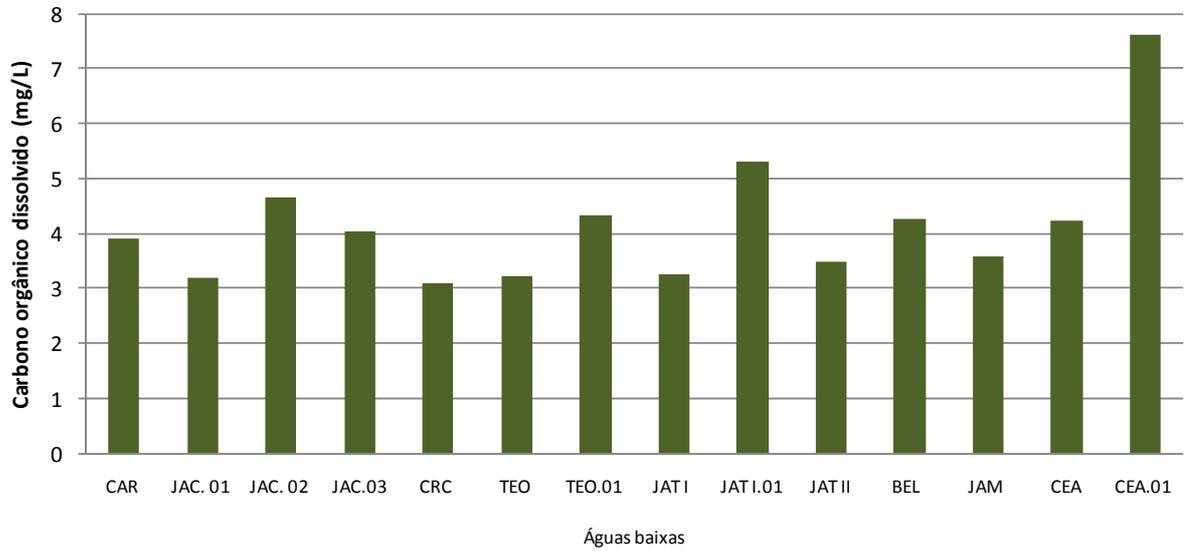


Figura 5.1-71 - Concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

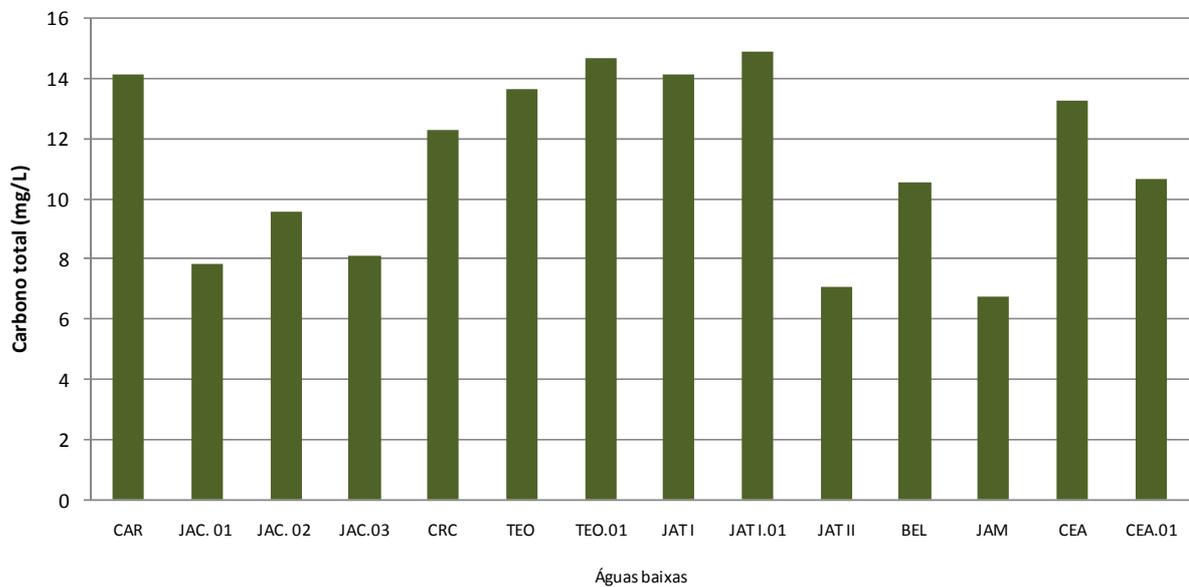


Figura 5.1-72 - Concentrações de carbono total (CT) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos lagos e canais, o carbono inorgânico (CI) apresentou concentração média de  $2,4 \pm 0,6$  mg/L (média  $\pm$  DP). Os valores de CI oscilaram entre 1,5 mg/L (MIG) e 3 mg/L (LC.02) (Figura 5.1-73).

As concentrações de carbono orgânico total (COT) oscilaram entre 3,6 mg/L (CC.01) e 8,9 mg/L (CUJ), com uma média de  $5,8 \pm 1,7$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-74). O carbono orgânico dissolvido (COD) apresentou média de  $4 \pm 1,6$  mg/L (média  $\pm$  DP). Os valores oscilaram entre 2,8 mg/L (CC.01) e 6,6 mg/L (CUJ) (Figura 5.1-75).

O carbono total (CT) dos lagos e canais foi composto predominantemente pela parcela orgânica, que respondeu por 70% do total. As concentrações de CT oscilaram entre 6,6 mg/L (CC.01) e 11,8 mg/L (CUJ), com média de  $8,2 \pm 1,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-76).

Mesmo com a criação do reservatório, os resultados obtidos não apontam para modificações nos lagos e canais amostrados. Todos os lagos e canais estão situados a jusante do reservatório da UHE Santo Antônio, em uma distância superior a 33 Km e, como o fluxo de água não foi alterado, não há grande efeito da usina sobre esses ambientes.

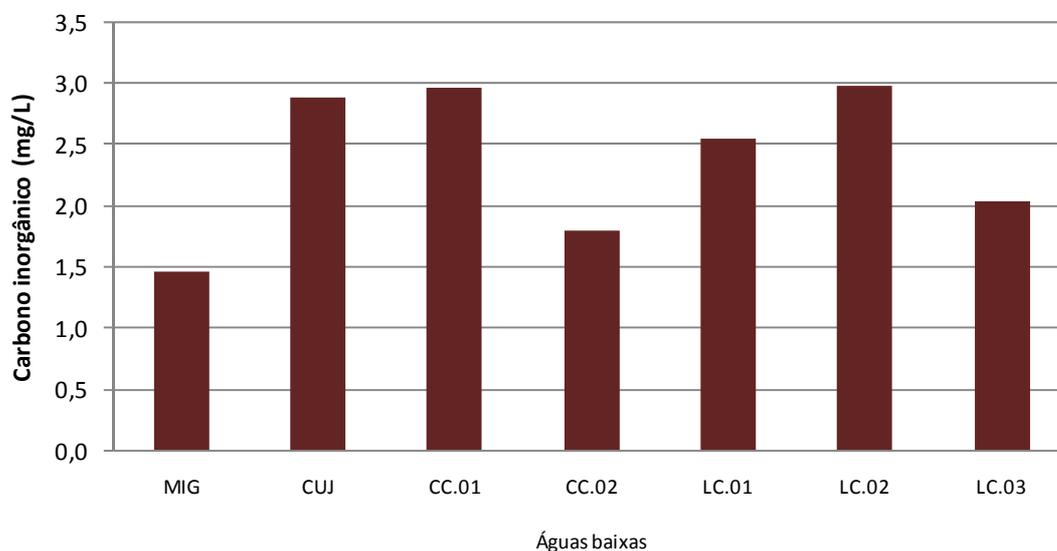


Figura 5.1-73 - Concentrações de carbono inorgânico nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

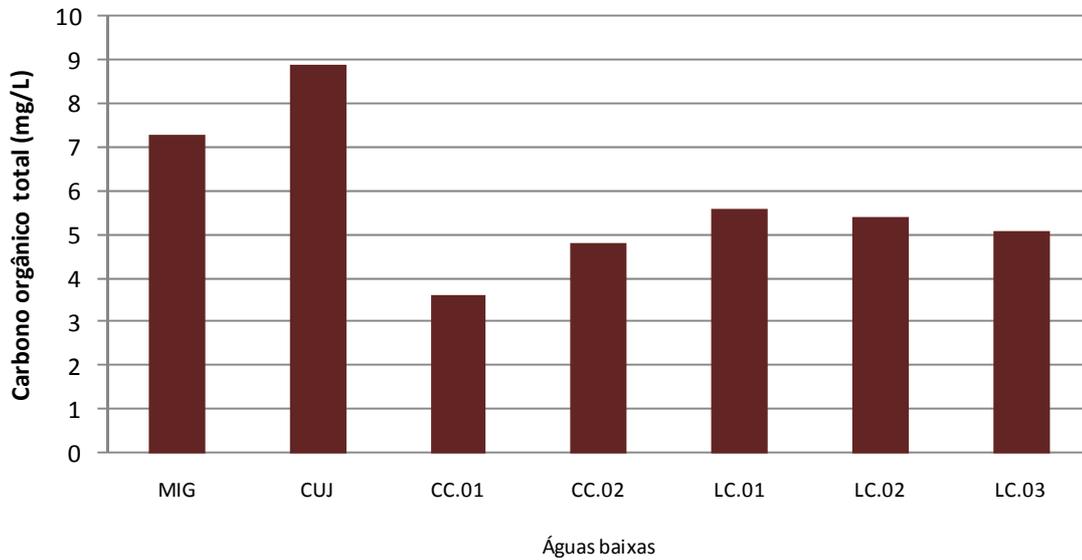


Figura 5.1-74 - Concentrações de carbono orgânico total (COT) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

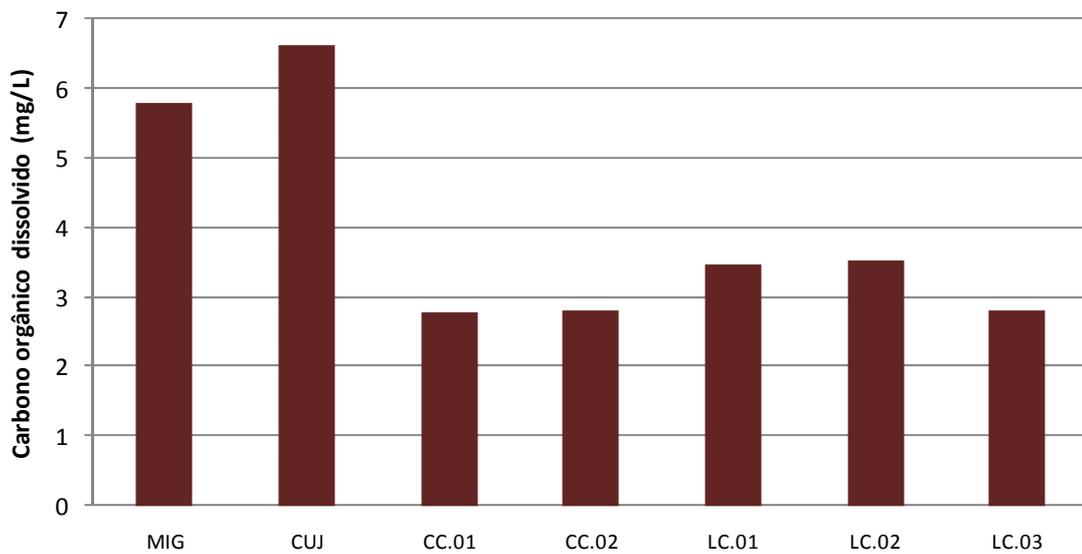


Figura 5.1-75 - Concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

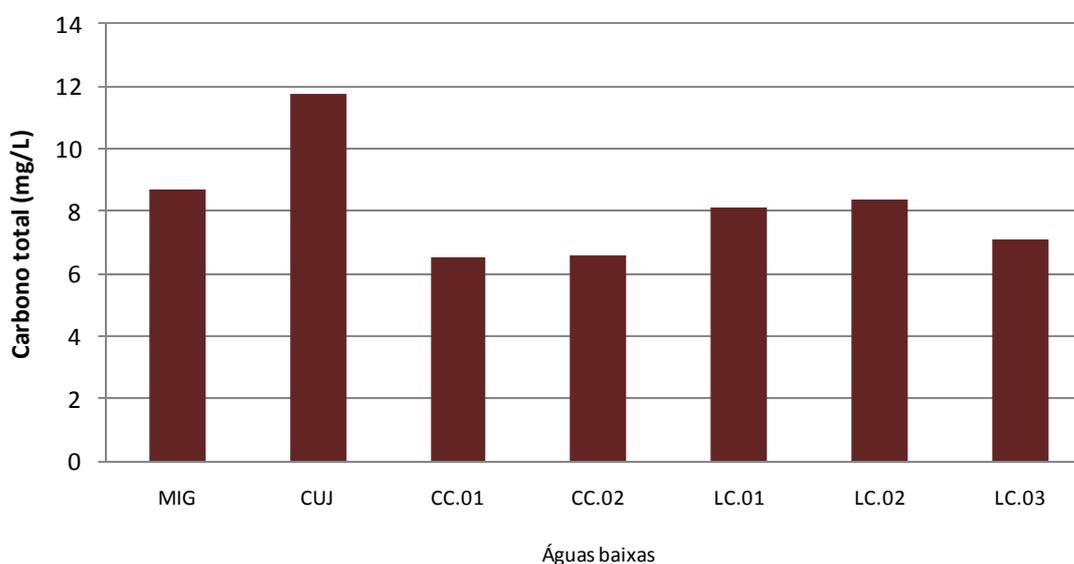


Figura 5.1-76 - Concentrações de carbono total (CT) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

## 5.1.5 - Química II

### 5.1.5.1 - Sistema tampão (Alcalinidade, Dureza e Dureza devido ao cálcio e magnésio)

A alcalinidade mede a capacidade tamponante do sistema. Os valores de alcalinidade oscilaram entre 27 mg/L (MON.05 fundo) e 40 mg/L (MON.03 fundo), com média de  $30 \pm 3,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-77). Os valores encontrados corroboram o que foi relatado no EIA, onde a alcalinidade média descrita é de  $26,4 \pm 2,5$  mg/L (média  $\pm$  DP). As principais substâncias responsáveis por conferir alcalinidade aos ecossistemas aquáticos são os bicarbonatos, os carbonatos e os hidróxidos. A distribuição entre as três formas ocorre em função do pH:  $4,4 < \text{pH} < 8,3$  (bicarbonatos);  $8,3 < \text{pH} < 9,4$  (carbonatos);  $\text{pH} > 9,4$  (hidróxidos e carbonatos). Como o pH do rio Madeira esteve sempre entre 4,4 e 8,3, toda a alcalinidade deveu-se aos bicarbonatos.

A dureza da água é consequência de cátions como o cálcio e o magnésio. Os valores da dureza do rio Madeira oscilaram entre 43 mg/L (JUS.01) e 58,4 mg/L (JUS.02 fundo), com média de  $52 \pm 4,7$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-78). Os valores de dureza permitem classificar as águas do rio Madeira como “mole”. A maior parte da dureza foi conferida pelo cálcio ( $31 \pm 3$  mg/L, média  $\pm$  DP). Os valores oscilaram entre 26,2 mg/L (JUS.01 superfície) e 37,7 mg/L (MON.01 superfície) (Figura 5.1-79). Já a dureza devido ao magnésio apresentou média de  $21 \pm 2$  mg/L (média  $\pm$  DP), com os valores oscilando entre 17 mg/L (JUS.01 superfície) e 23,7 mg/L (JUS.02 fundo) (Figura 5.1-80). No rio Madeira, a variação vertical foi mínima para todas as variáveis do sistema tampão.

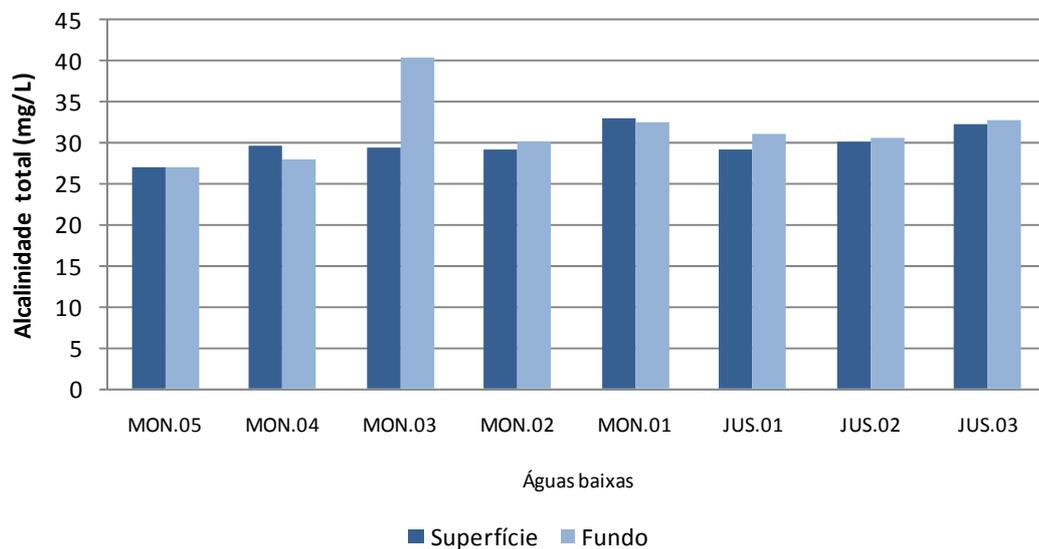


Figura 5.1-77 - Alcalinidade total no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

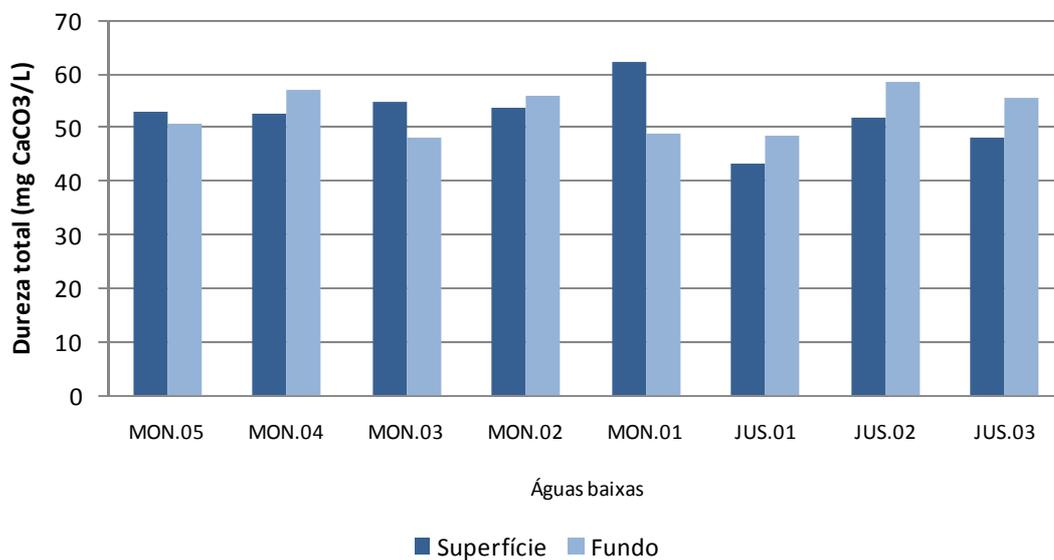


Figura 5.1-78 - Dureza total da água no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

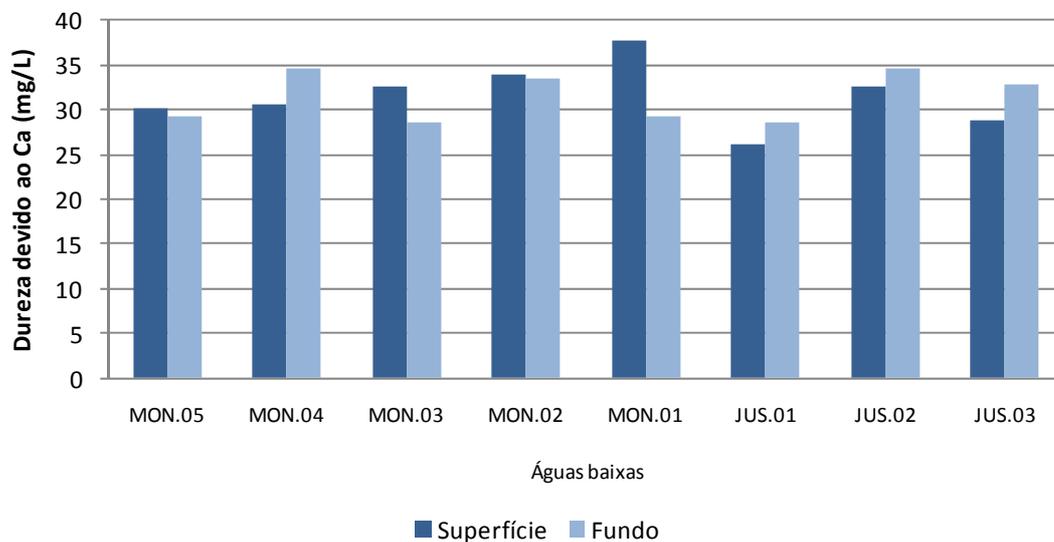


Figura 5.1-79 - Dureza devido ao cálcio no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

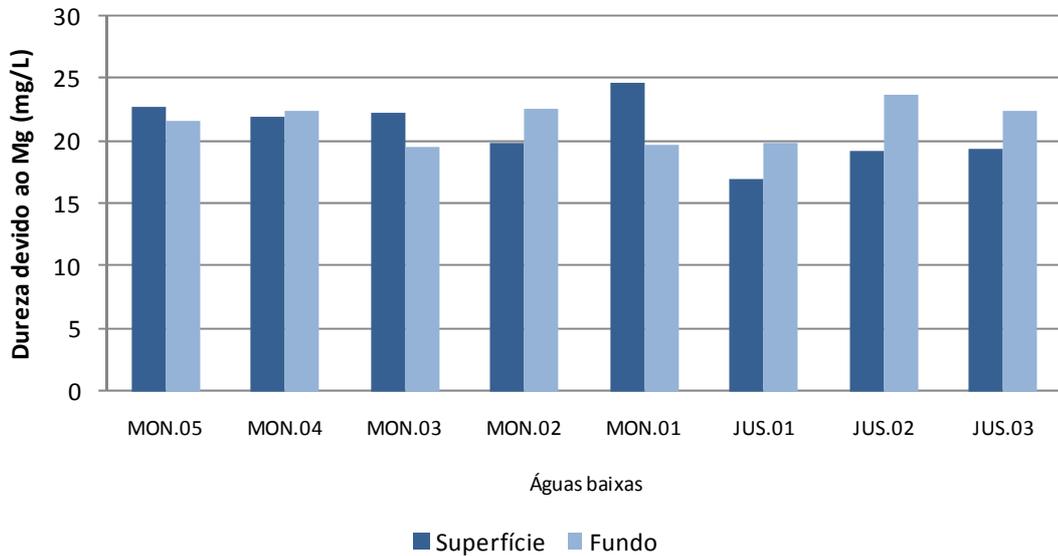


Figura 5.1-80 - Dureza devido ao magnésio no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

A alcalinidade média dos tributários oscilou entre 2,3 mg/L (JAT II) e 276 mg/L (CRC), com média de  $50 \pm 68$  mg/L (média  $\pm$  DP). (Figura 5.1-81). O alto valor encontrado na estação CRC foi responsável por elevar o desvio padrão da alcalinidade nos tributários. Como o pH situou-se sempre entre 4,4 e 8,3, toda a alcalinidade dos tributários foi devida ao bicarbonato.

A dureza total da água apresentou média de  $31 \pm 22$  mg/L (média  $\pm$  DP), com os valores oscilando entre 7,3 mg/L (JAT II) e 65,4 mg/L (JAT I) (Figura 5.1-82). A dureza dos tributários deveu-se principalmente ao cálcio, que teve média de  $19 \pm 12$  mg/L (média  $\pm$  DP), variando entre 5 mg/L (JAC.01 e JAT II) e 39 mg/L (JAT I) (Figura 5.1-83). Já a dureza devido ao magnésio oscilou entre 2,2 mg/L (JAC.03) e 26,2 mg/L (JAT I), com média global de  $12 \pm 9$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-84). As águas dos tributários podem ser classificadas como “mole”.

Os maiores valores de dureza foram registrados nas estações CAR, CRC, TEO, TEO.01, JAT I, JAT I.01 e CEA. Essas estações apresentam grande influência do rio Madeira, já que estão situadas em braços do reservatório e boa parte da água que banha esses ambientes é oriunda do rio Madeira.

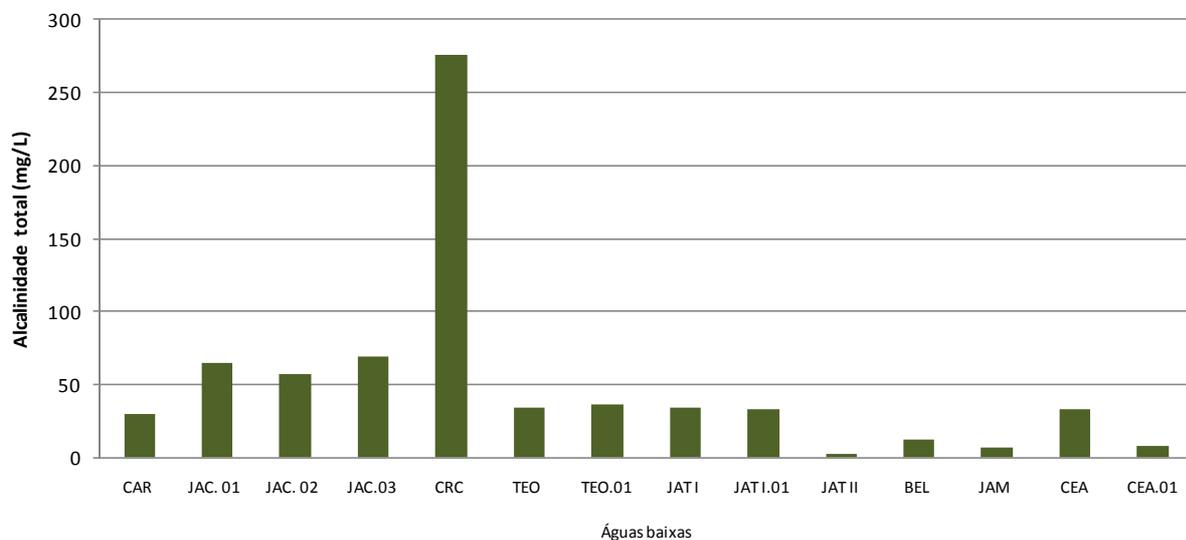


Figura 5.1-81 - Alcalinidade total nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

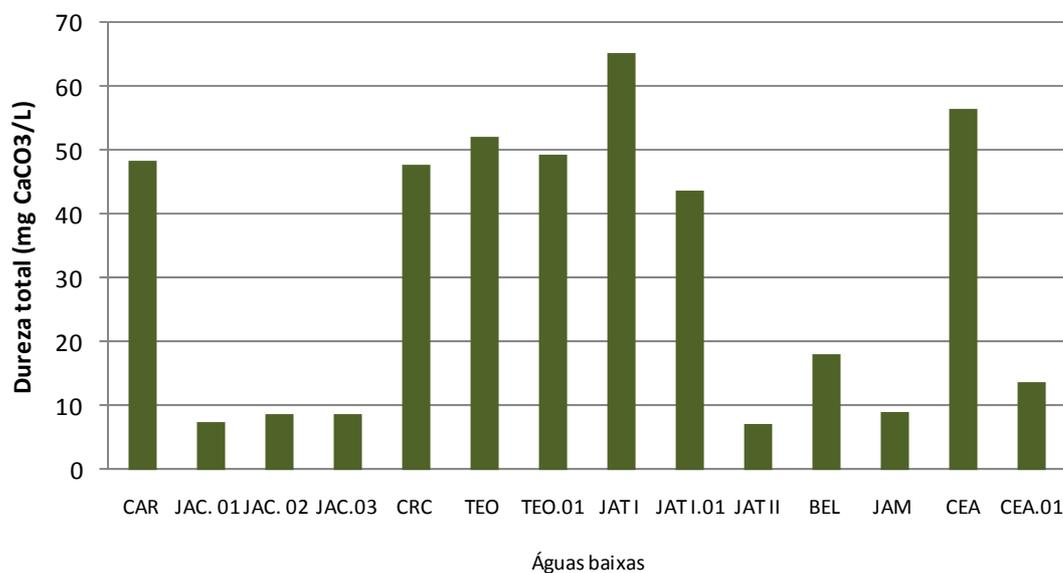


Figura 5.1-82 - Dureza total da água nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

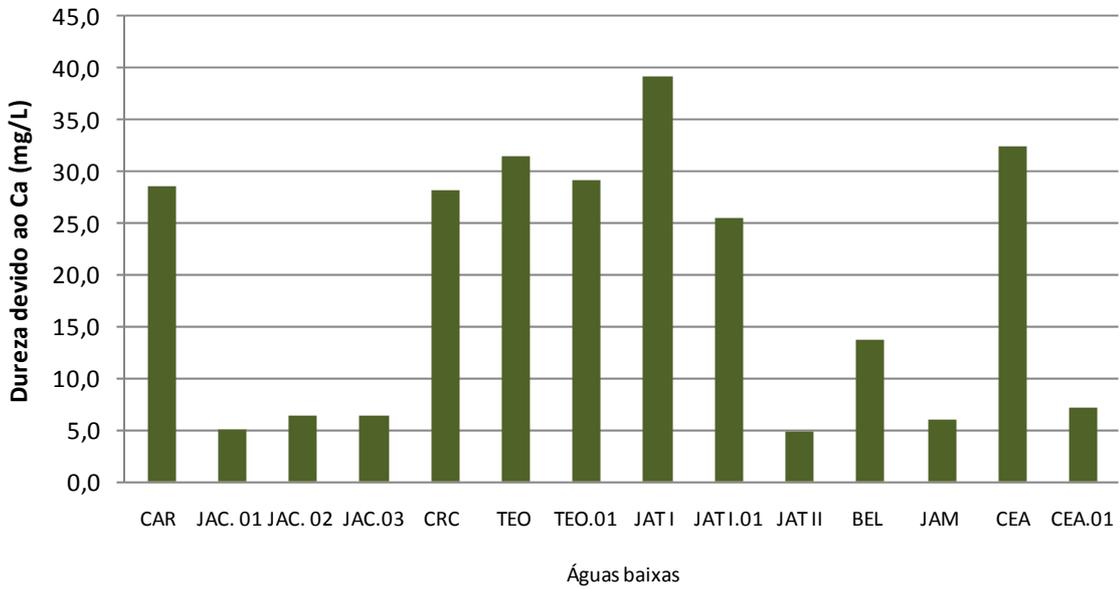


Figura 5.1-83 - Dureza devido ao cálcio nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

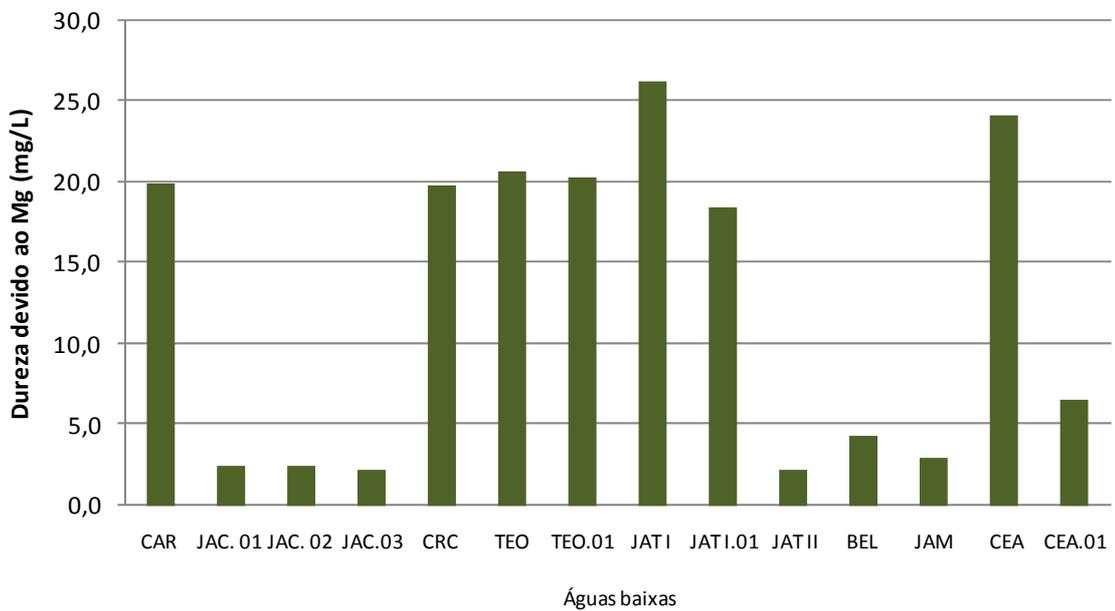


Figura 5.1-84 - Dureza devido ao magnésio nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Dentre os três tipos de ambientes amostrados, os lagos e canais foram os que apresentaram os menores valores de alcalinidade. Os valores de alcalinidade oscilaram entre 0,6 mg/L (MIG) e 9,4 mg/L (CUJ), com valor médio de  $4,3 \pm 2,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-85). Como o pH dos lagos e canais situou-se sempre entre 4,4 e 8,3, toda a alcalinidade foi devida ao bicarbonato. Na estação LC.02 a alcalinidade da água esteve abaixo do limite de detecção do método analítico (0,001).

A dureza da água dos lagos e canais oscilou entre 3,4 mg/L (LC.03) e 54 mg/L (LC.02), com média de  $12 \pm 17$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-86). O alto valor encontrado na estação LC.02 foi responsável por elevar tanto a média global, quanto o desvio padrão da dureza nos lagos e canais. A dureza devido ao cálcio oscilou entre 1,5 mg/L (LC.03) e 19 mg/L (LC.02), com média de  $5 \pm 5,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-87). Já a dureza devido ao magnésio apresentou valor médio de  $7 \pm 11$  mg/L (média  $\pm$  DP), com os valores oscilando entre 1,8 mg/L (MIG) e 35 mg/L (LC.02) (Figura 5.1-88). As águas dos lagos e canais podem ser classificadas como “moles”.

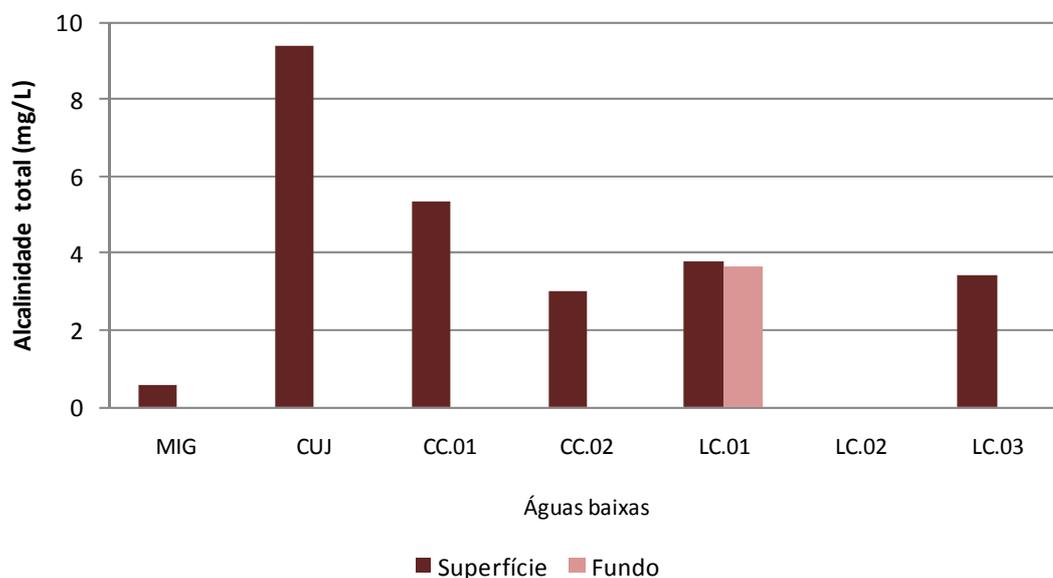


Figura 5.1-85 - Alcalinidade total nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

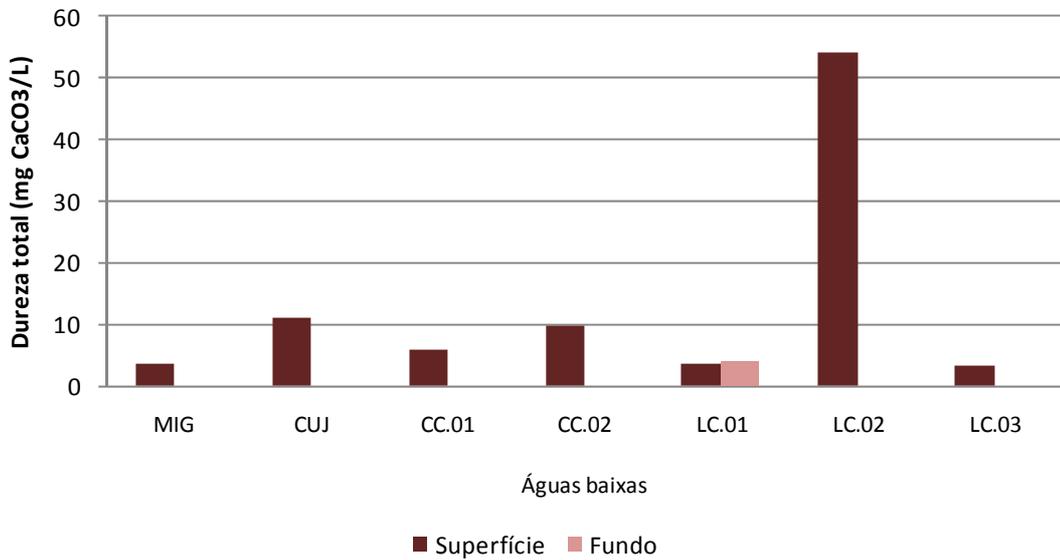


Figura 5.1-86 - Dureza total da água nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

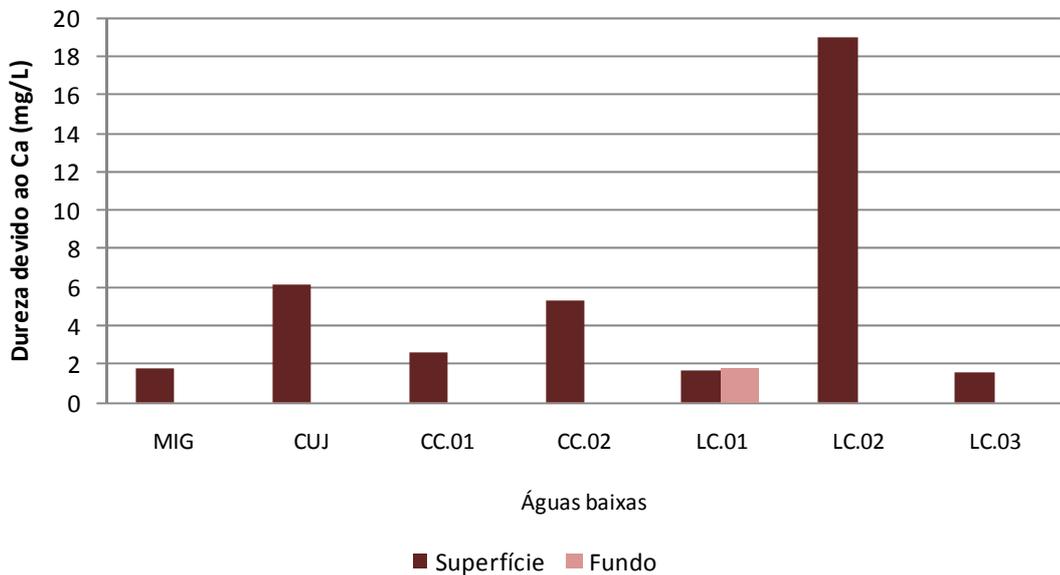


Figura 5.1-87 - Dureza devido ao cálcio nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

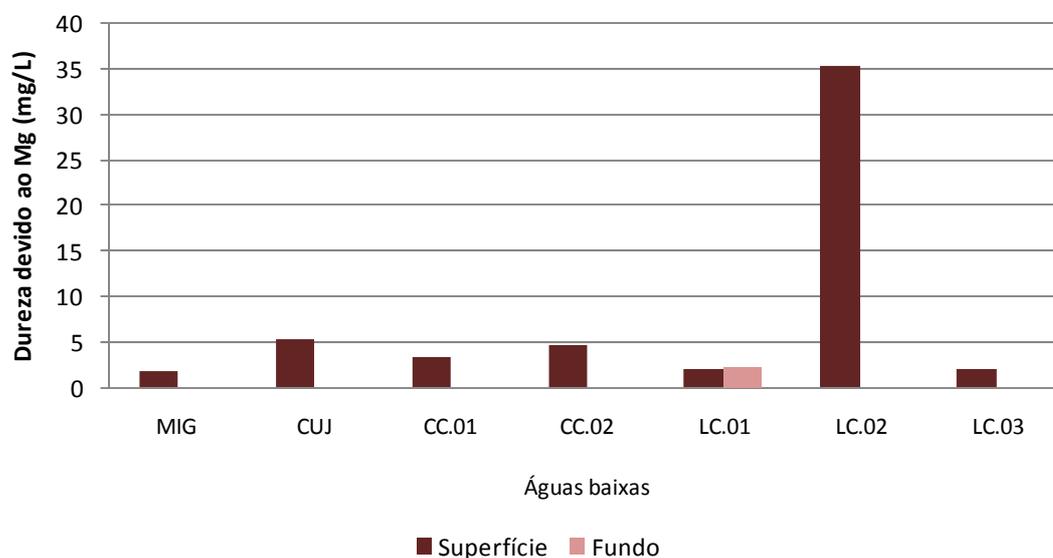


Figura 5.1-88 - Dureza devido ao magnésio nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

## 5.1.6 - Químicas III

### 5.1.6.1 - Íons principais ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ )

A composição iônica de rios e lagos é regida pelos quatro principais cátions (cálcio, magnésio, sódio e potássio) e pelos quatro principais ânions (bicarbonato, carbonato, cloreto e sulfato) (Wetzel, 2001). Os ecossistemas de água doce são marcados por possuírem baixa concentração iônica. A precipitação atmosférica e a composição das rochas da bacia de drenagem são as principais variáveis que determinam a concentração iônica do ambiente aquático (Esteves, 1998). Segundo Esteves (1998), a principal fonte de íons para águas amazônicas é o intemperismo das rochas da cordilheira dos Andes, que por ser uma cadeia montanhosa recente, fornece grande quantidade de cátions e ânions.

Nos pontos amostrados no rio Madeira, o cátion e o ânion mais abundante foram o cálcio e o bicarbonato, respectivamente (**Quadro 5.1-1**). Em média, os cátions mais abundantes foram o cálcio (55%), o magnésio (22%), o sódio (15%) e o potássio (8%), ao passo que os ânions foram o bicarbonato (58%), seguido pelo sulfato (37%) e o cloreto (5%).

A concentração média de sódio ( $\text{Na}^+$ ) foi de  $3,5 \pm 0,5$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-89), variando entre 2,7 mg/L (MON.04 superfície) e 4,2 mg/L (JUS.02 fundo). Assim como o sódio, o potássio ( $\text{K}^+$ ) quase não variou espacialmente, oscilando entre 1,66 mg/L (MON.04 superfície) e 2,22 mg/L (MON.05 fundo). Esse cátion apresentou média de  $1,9 \pm 0,2$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-90).

As concentrações médias de cálcio oscilaram entre 10,5 mg/L (JUS.01 superfície) e 15 mg/L (MON.01 superfície), com média de  $12 \pm 1,2$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-91). O magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) apresentou concentração média de  $5,1 \pm 0,5$  mg/L (média  $\pm$  DP) sendo que os valores oscilaram entre 4,1 mg/L (JUS.01 superfície) e 5,95 mg/L (MON.01 superfície) (Figura 5.1-92).

O cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) apresentou concentrações que variaram entre 0,7 mg/L (MON.05 fundo) e 7,5 mg/L (MON.01 superfície), com uma média igual de  $2,1 \pm 2$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-93). A concentração média de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) foi de  $15,8 \pm 2,2$  mg/L (média  $\pm$  DP). Os valores oscilaram entre 13,4 mg/L (MON.05 fundo) e 23 mg/L (JUS.02 superfície) (Figura 5.1-94).

O bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) foi o ânion mais abundante. As concentrações oscilaram entre 2 mg/L (MON.05 superfície) e 36,5 mg/L (JUS.02 superfície), com média de  $19,4 \pm 9,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-95).

Quadro 5.1-1 - Composição iônica, em porcentagem, no rio Madeira, tributários e lagos e canais no período de águas baixas (novembro de 2012).

Íons %								
Águas baixas								
Rio Madeira			Tributários			Lagos		
Cátions	$\text{Ca}^{2+}$	55	Cátions	$\text{Ca}^{2+}$	18	Cátions	$\text{Ca}^{2+}$	11
	$\text{K}^+$	8		$\text{K}^+$	50		$\text{K}^+$	36
	$\text{Na}^+$	15		$\text{Na}^+$	12		$\text{Na}^+$	23
	$\text{Mg}^{2+}$	22		$\text{Mg}^{2+}$	20		$\text{Mg}^{2+}$	30
	Total	100		Total	100		Total	100
Ânions	$\text{HCO}_3^-$	58	Ânions	$\text{HCO}_3^-$	48	Ânions	$\text{HCO}_3^-$	28
	$\text{Cl}^-$	5		$\text{Cl}^-$	18		$\text{Cl}^-$	18
	$\text{SO}_4^{2-}$	37		$\text{SO}_4^{2-}$	34		$\text{SO}_4^{2-}$	54
	Total	100		Total	100		Total	100

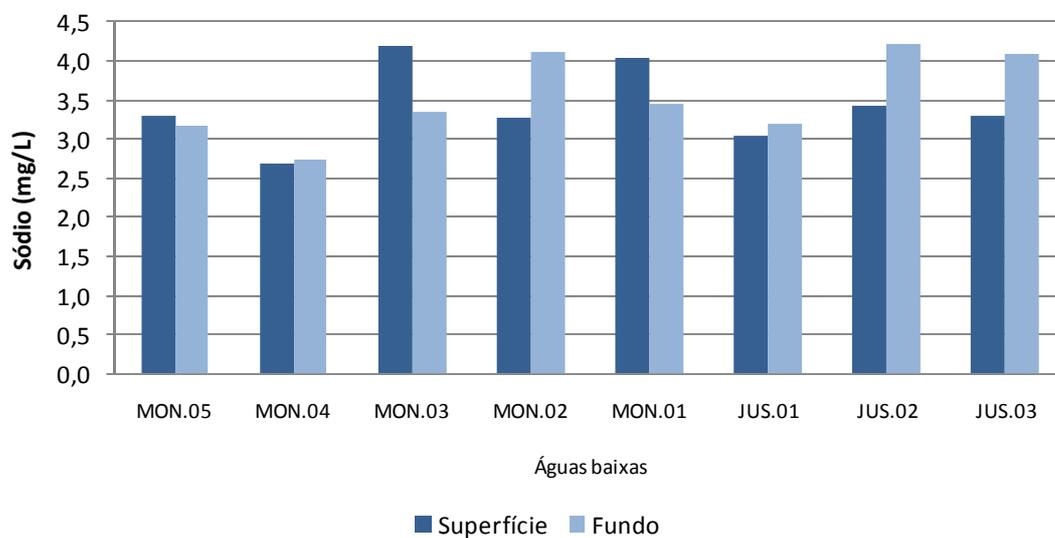


Figura 5.1-89 - Concentrações de sódio ( $\text{Na}^+$ ) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

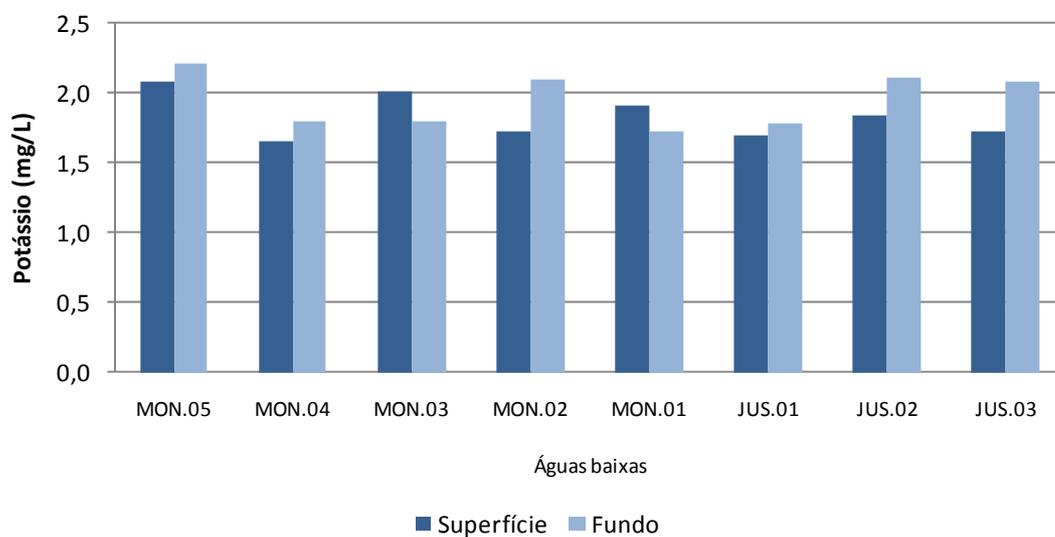


Figura 5.1-90 - Concentrações de potássio ( $\text{K}^+$ ) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

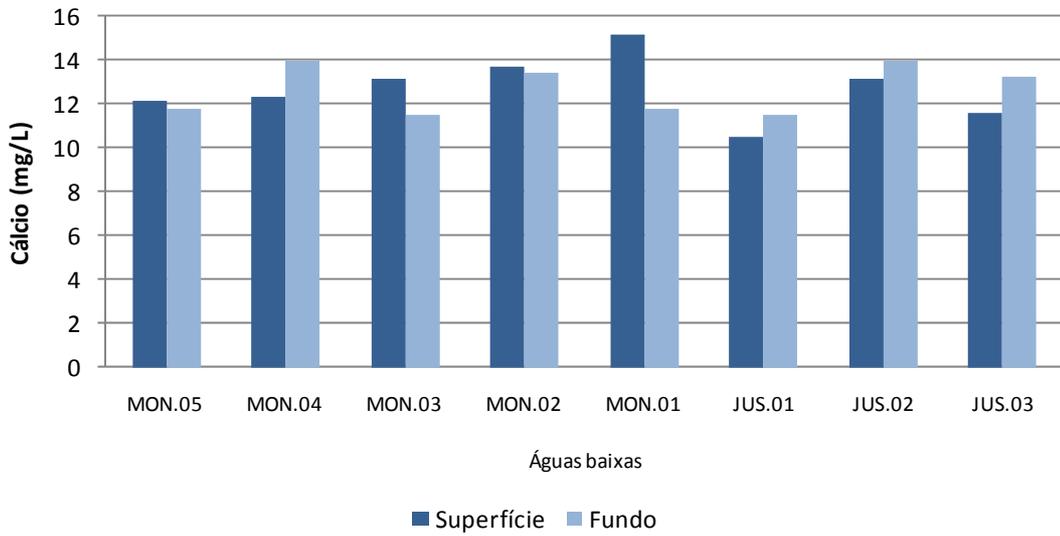


Figura 5.1-91 - Concentrações de cálcio ( $Ca^{2+}$ ) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

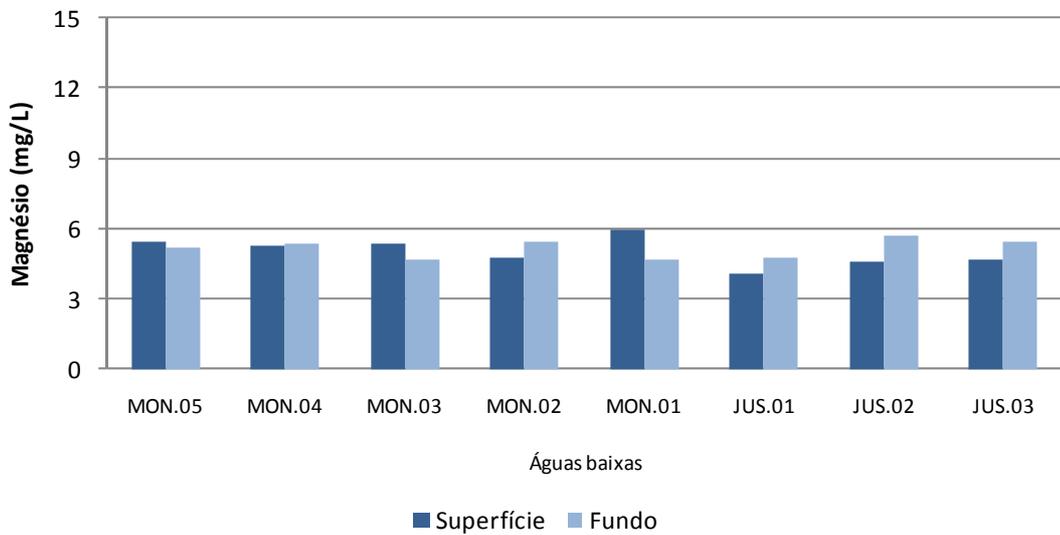


Figura 5.1-92 - Concentrações de magnésio ( $Mg^{2+}$ ) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

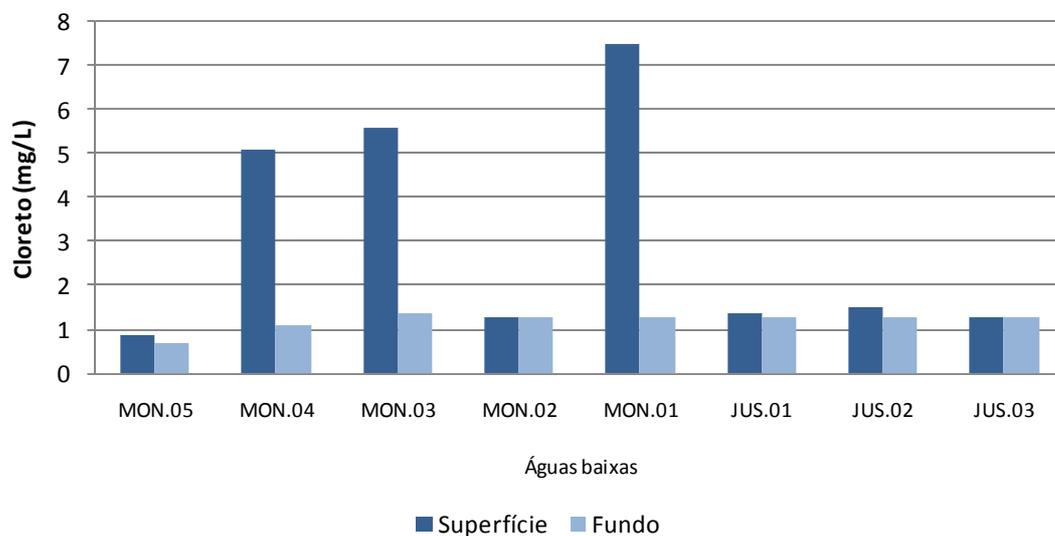


Figura 5.1-93 - Concentrações de cloreto (Cl<sup>-</sup>) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

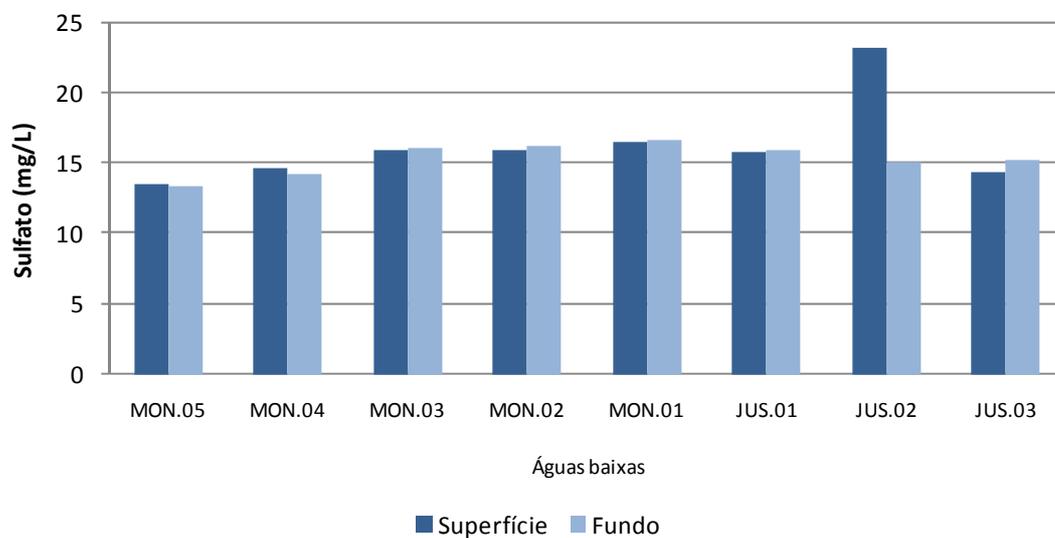


Figura 5.1-94 - Concentrações de sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

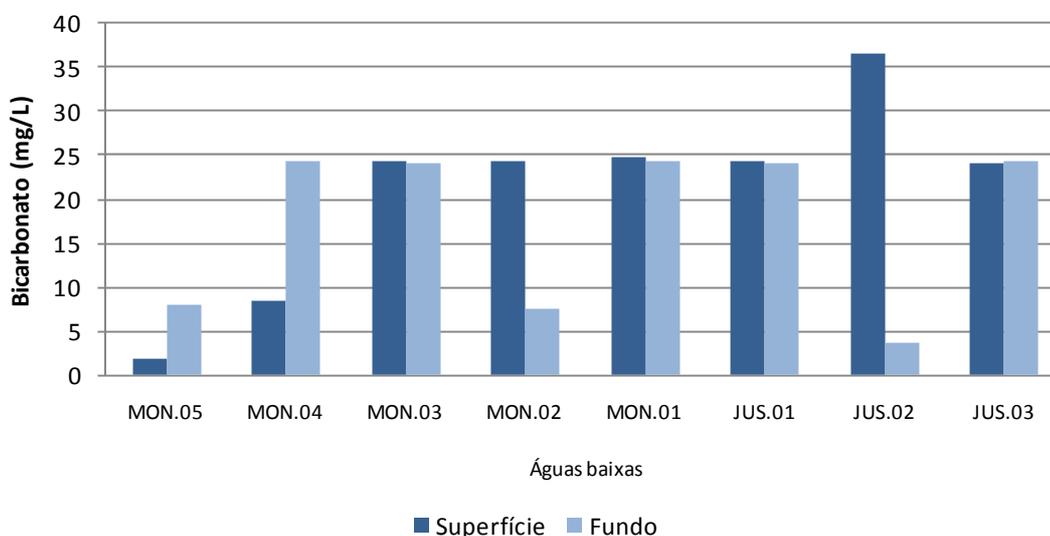


Figura 5.1-95 - Concentrações de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos tributários, o potássio foi o cátion com maior abundância média (50%), seguido do magnésio (20%), do cálcio (18%) e do sódio (12%). Em relação aos ânions, o mais abundante foi o bicarbonato (48%) seguido pelo sulfato (34%) e o cloreto (18%). A contribuição de cada um dos cátions e ânions em cada mês está apresentada no **Quadro 5.1-1**.

Os tributários apresentaram, em geral, baixas concentrações de sódio ( $\text{Na}^+$ ). As concentrações variaram de 0,4 mg/L (JAT II) a 11,5 mg/L (BEL), com média de  $2,8 \pm 2,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-96**). O alto valor encontrado na estação BEL foi responsável por elevar a média da sódio nos tributários. O potássio ( $\text{K}^+$ ), apresentou concentrações que oscilaram entre 1,4 mg/L (JATII) e 2,6 mg/L (CEA.01). Esses valores produziram uma média de  $1,8 \pm 0,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-97**).

A concentração média de cálcio foi de  $7,6 \pm 5,1$  mg/L (média  $\pm$  DP), sendo que os valores oscilaram entre 2 mg/L (JATII) e 15,7 mg/L (JATI) (**Figura 5.1-98**). As concentrações de magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) oscilaram entre 0,5 mg/L (JAC.02, JAC.03 e JATII) e 6,4 mg/L (JAT I), com média de  $3 \pm 2,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-99**).

O cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) apresentou concentrações que variaram entre 1,1 mg/L (JAC.01 e JAC.03) e 15,2 mg/L (BEL), com uma média igual a  $5,8 \pm 4,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-100**). O íon  $\text{Cl}^-$  não foi detectado na estação JAT II. Já o sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) apresentou valor médio global de  $15,8 \pm 2,2$

mg/L (média ± DP). As concentrações oscilaram entre 2,9 mg/L (CEA.01) e 16,5 mg/L (TEO) (Figura 5.1-101). O íon  $\text{SO}_4^{2-}$  esteve abaixo do limite de detecção (<0,5 mg/L) nas estações JAC.01, JAC.02, JAC.03, JAT II e JAM

O bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) foi o ânion mais abundante. As concentrações oscilaram entre 4,4 mg/L (CRC) e 24,7 mg/L (JAC.02), com média de  $15,9 \pm 6,8$  mg/L (média ± DP) (Figura 5.1-102).

Durante os meses amostrados, foram observados maiores concentrações dos íons (exceto o potássio) nas estações CAR, CRC, TEO, JAT I e CEA, que estão situadas em braços do recém formado reservatório. Boa parte da água que banha esses ambientes é oriunda do rio Madeira.

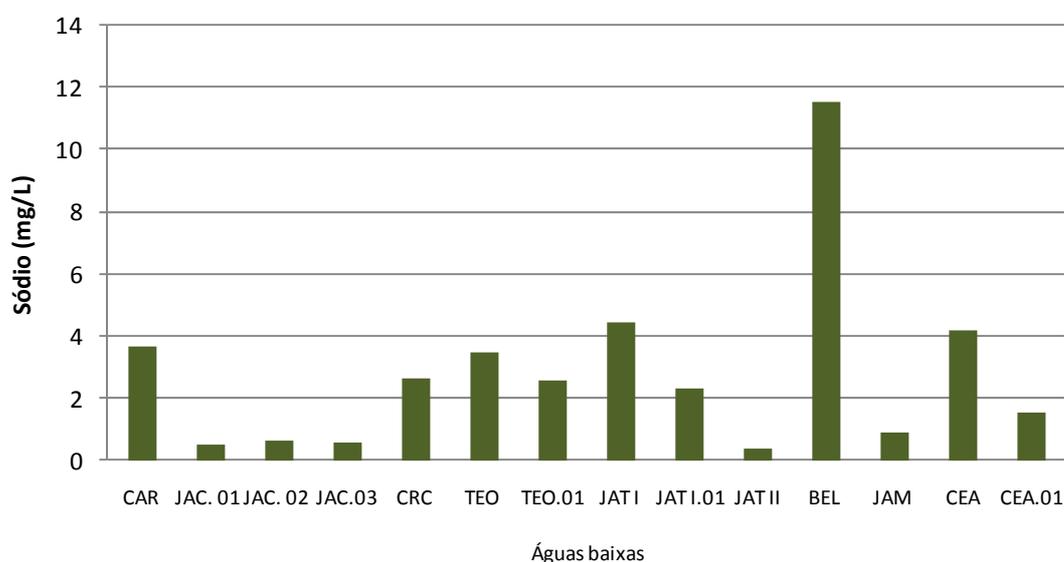


Figura 5.1-96 - Concentrações de sódio ( $\text{Na}^+$ ) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

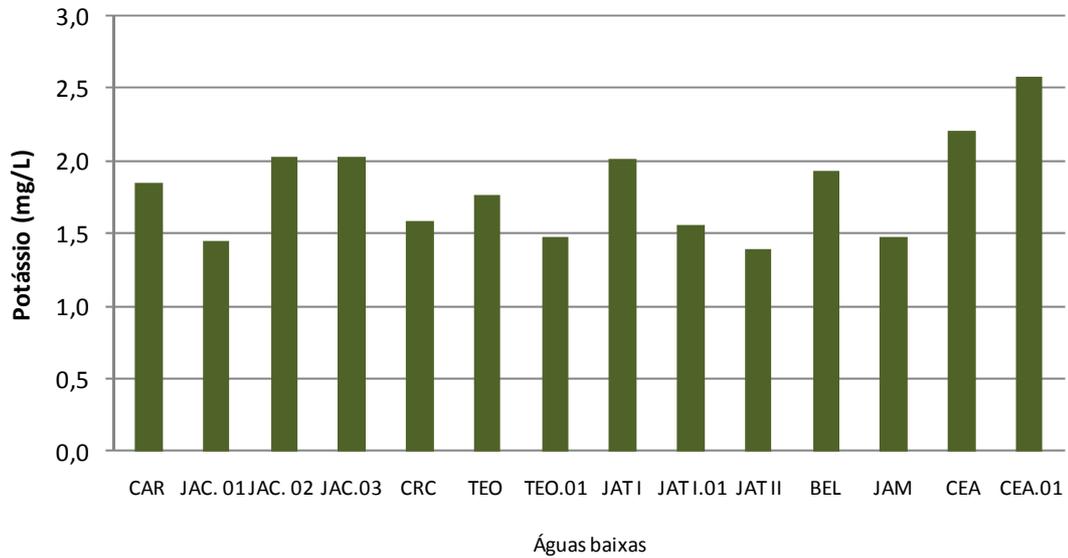


Figura 5.1-97 - Concentrações de potássio ( $K^+$ ) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

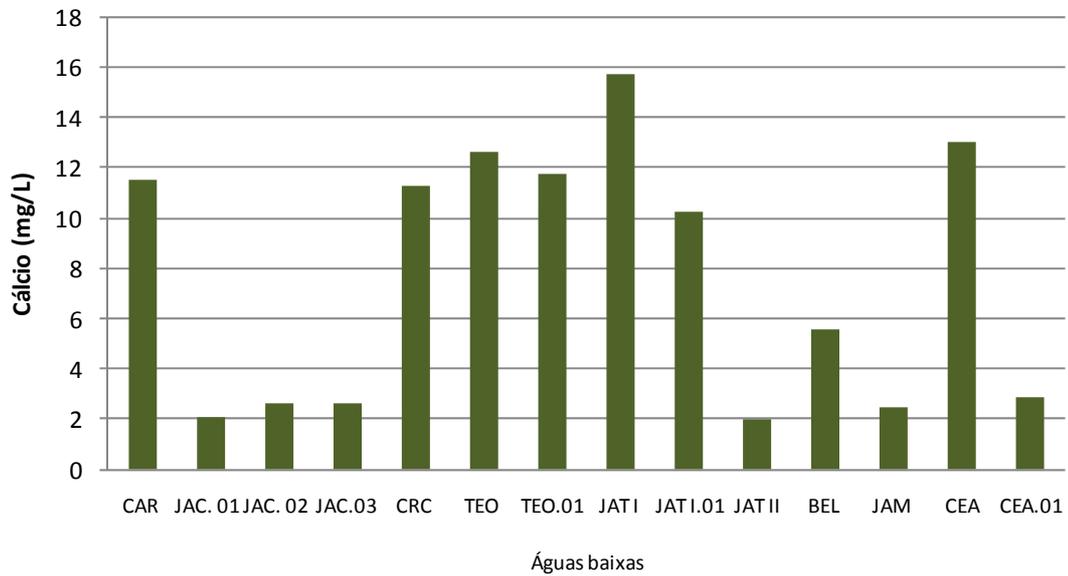


Figura 5.1-98 - Concentrações de cálcio ( $Ca^{2+}$ ) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

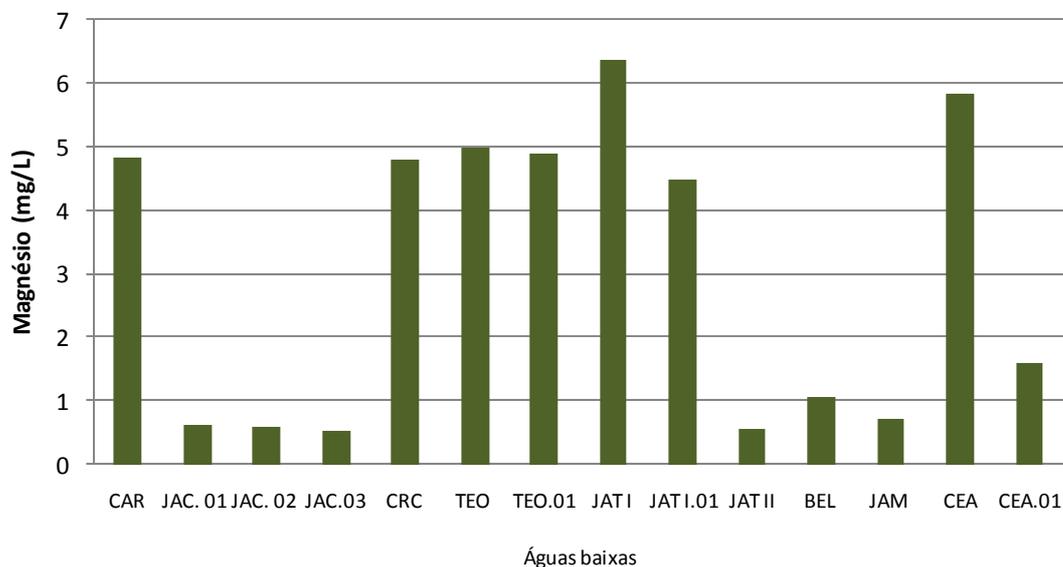


Figura 5.1-99 - Concentrações de magnésio ( $Mg^{2+}$ ) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

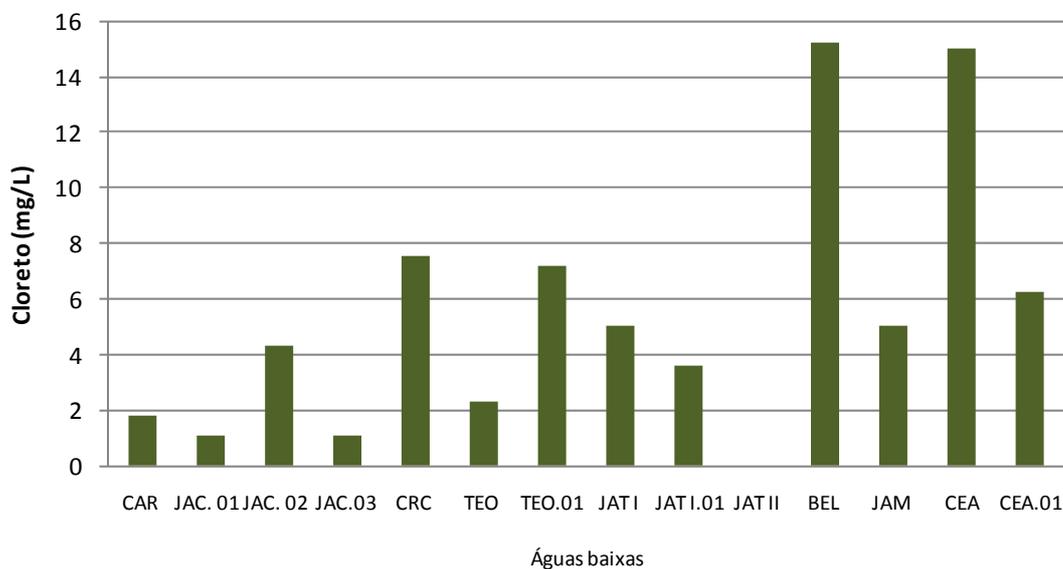


Figura 5.1-100 - Concentrações de cloreto ( $Cl^-$ ) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

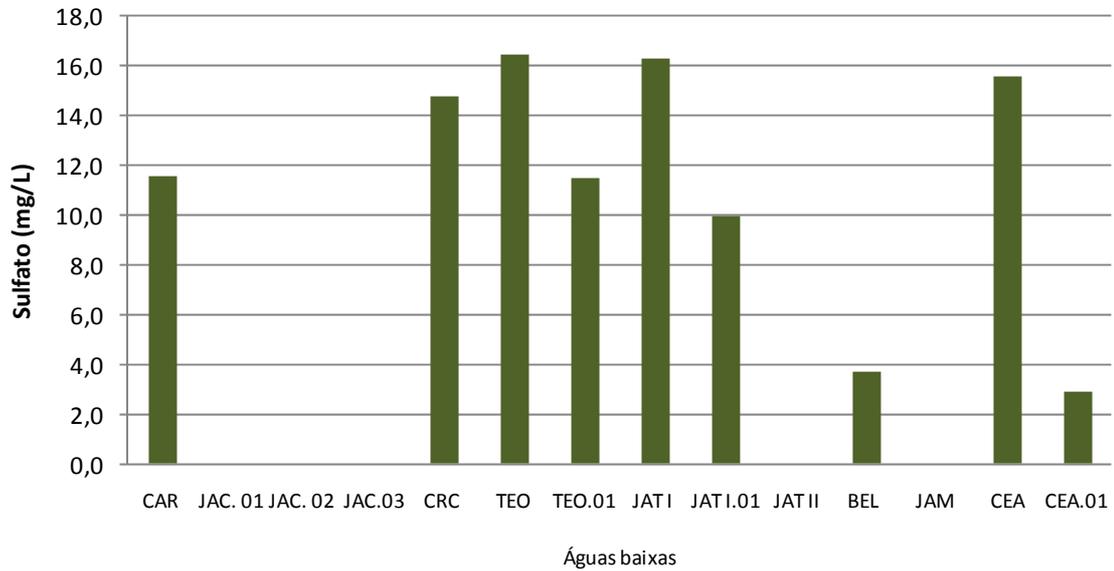


Figura 5.1-101 - Concentrações de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

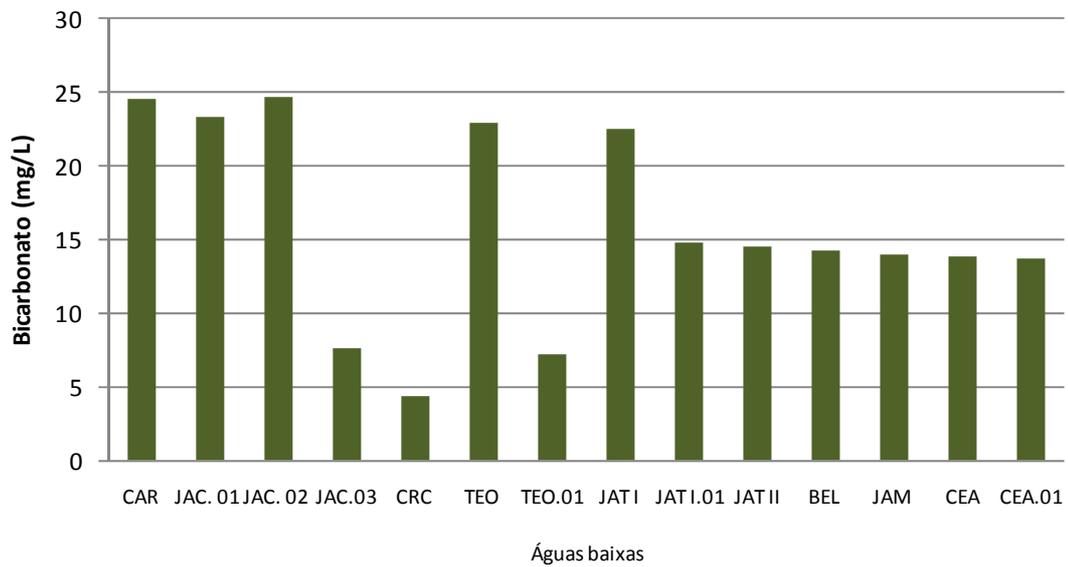


Figura 5.1-102 - Concentrações de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos lagos e canais, assim como nos tributários, o potássio foi o cátion com mais abundância (36%), seguido do magnésio (30%), do sódio (23%) e do cálcio (11%). Em relação aos ânions, o sulfato foi o mais abundante (54%), seguido pelo bicarbonato (28%) e cloreto (18%). A contribuição de cada um dos cátions e ânions é demonstrada no **Quadro 5.1-1**.

O sódio ( $\text{Na}^+$ ) apresentou concentrações bastante modestas nos lagos e canais, tendo apresentado uma média de  $0,6 \pm 0,3$  mg/L (média  $\pm$  DP). As concentrações oscilaram entre 0,28 mg/L (LC.01 superfície) e 1,2 mg/L (CUJ) (**Figura 5.1-103**). O potássio ( $\text{K}^+$ ) também apresentou baixas concentrações, com valores variando entre 0,8 mg/L (LC.02) e 1,7 mg/L (CC.02) e uma média de  $1,3 \pm 0,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-104**).

O cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) apresentou concentrações que oscilaram entre 0,6 mg/L (LC.03) e 7,6 mg/L (LC.02), exibindo uma média de  $2 \pm 2,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-105**). Em relação ao magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), as concentrações variaram entre 0,4 mg/L (MIG, LC.01 e LC.03) e 8,5 mg/L (LC.02), com média de  $1,7 \pm 2,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-106**). O alto valor encontrado na estação LC.02 foi responsável por elevar a média do cálcio e do magnésio nos lagos e canais.

O ânion cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) foi detectado apenas nas estações CUJ, CC.01, LC.01 e LC.03, gerando uma média de  $8 \pm 4,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-107**). Em relação ao sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), somente a estação LC.02 registrou concentrações detectáveis (49,8 mg/L)

As concentrações de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) oscilaram entre 12,2 mg/L (LC.03) e 13,3 mg/L (CC.01 e MIG), com média de  $12,8 \pm 0,5$  mg/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-108**).

Os resultados obtidos não apontam para modificações nas concentrações de cátions e ânions nos lagos e canais com a criação do reservatório. Os lagos e canais se situam cerca de 33 a 130 km a jusante do reservatório da UHE Santo Antônio e, como o fluxo de água não foi alterado nessa região, não há grande efeito da usina sobre esses ambientes.

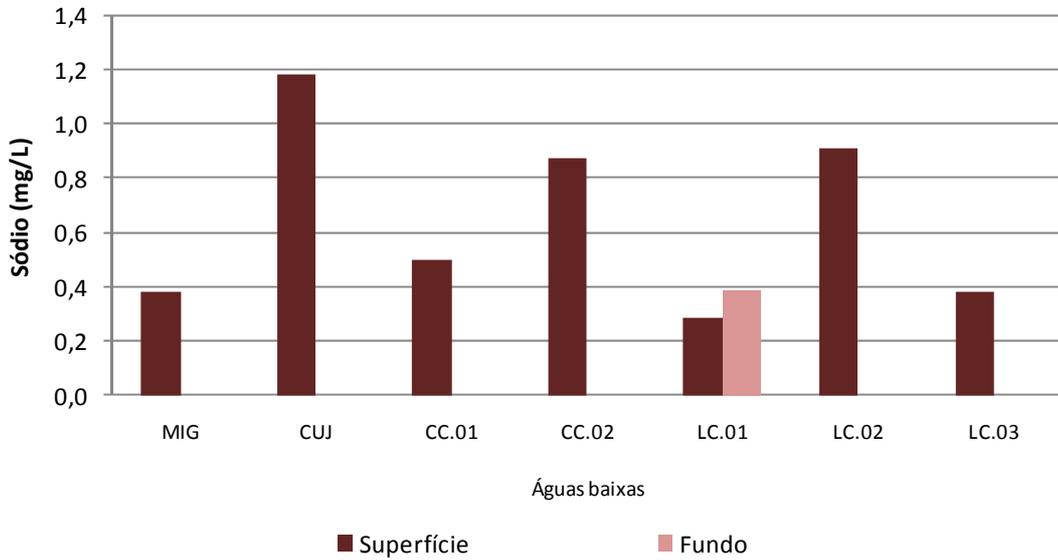


Figura 5.1-103 - Concentrações de sódio ( $\text{Na}^+$ ) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

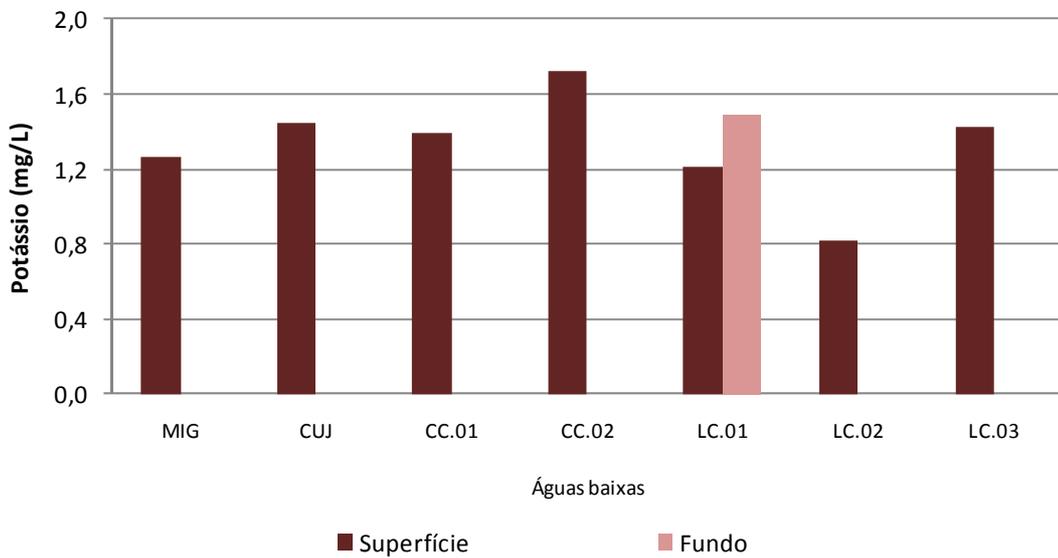


Figura 5.1-104 - Concentrações de potássio ( $\text{K}^+$ ) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

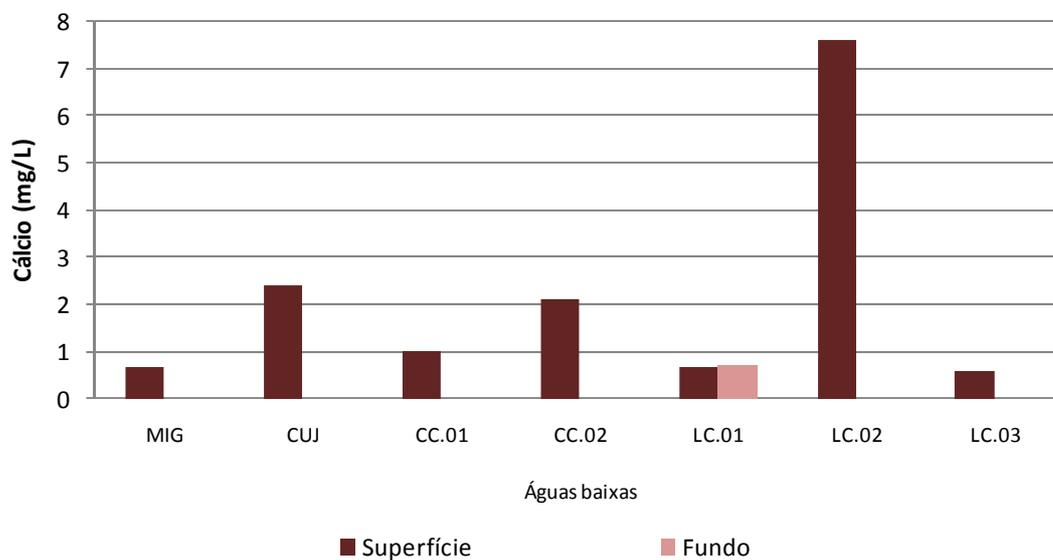


Figura 5.1-105 - Concentrações de cálcio ( $Ca^{2+}$ ) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

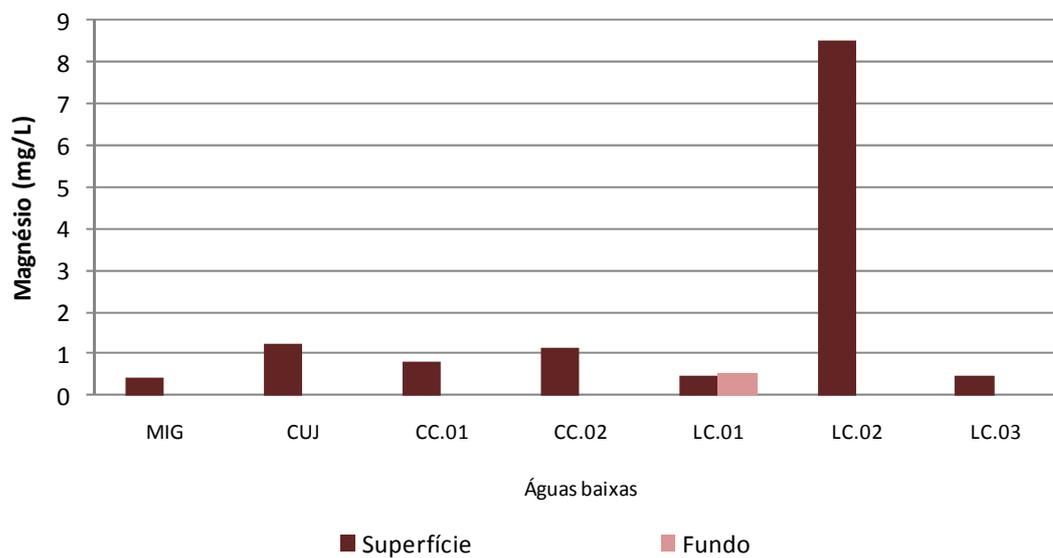


Figura 5.1-106 - Concentrações de magnésio ( $Mg^{2+}$ ) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

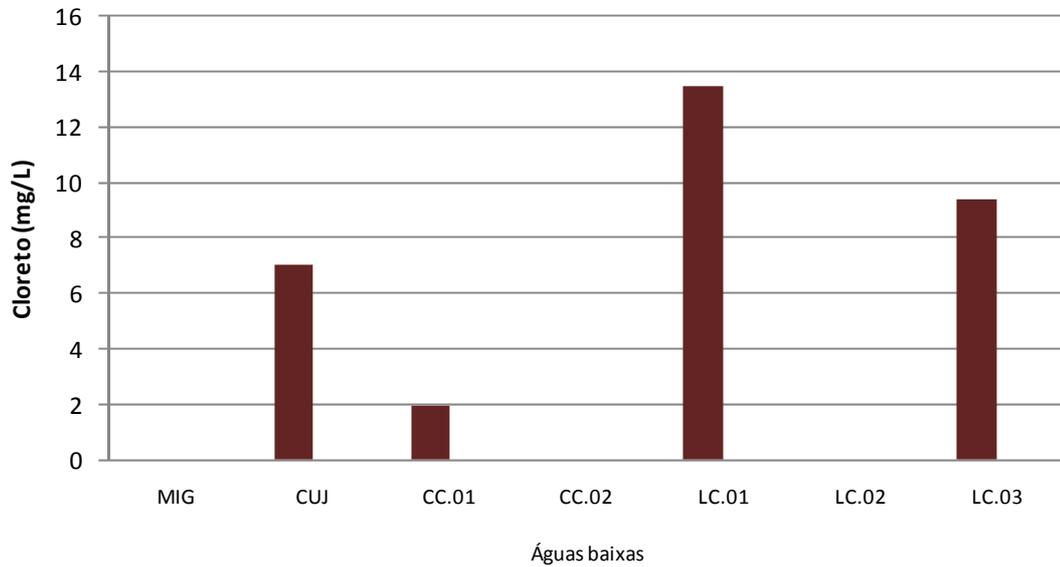


Figura 5.1-107 - Concentrações de cloreto (Cl<sup>-</sup>) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

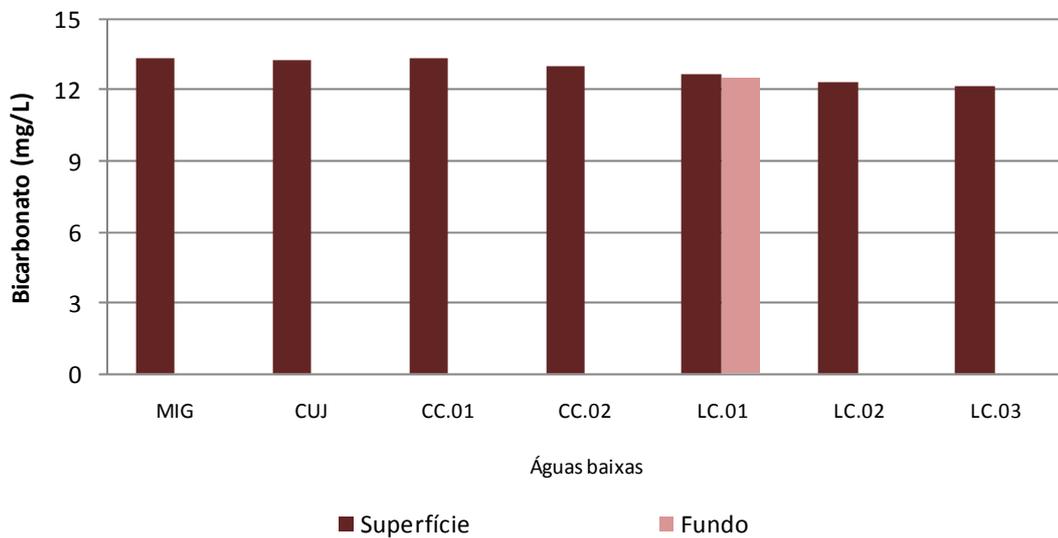


Figura 5.1-108 - Concentrações de bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

## 5.1.7 - Químicas IV

### 5.1.7.1 - Conteúdo nutricional: Nitrogênio (Nitrogênio amoniacal, Nitrito, Nitrato, Nitrogênio inorgânico dissolvido, Nitrogênio orgânico dissolvido, Nitrogênio total dissolvido, Nitrogênio orgânico total e Nitrogênio particulado, Nitrogênio total)

O nitrogênio é um elemento importante para assegurar a produtividade de ambientes aquáticos e, em baixas concentrações, pode tornar-se um fator limitante (Esteves, 1998). O nitrogênio amoniacal (amônia), o nitrato e o nitrito constituem as principais formas inorgânicas de nitrogênio presentes na água.

No rio Madeira, o nitrato foi a fração que mais contribuiu para o nitrogênio inorgânico dissolvido, tendo sido em média 98% dessa fração. As concentrações de nitrato variaram entre 514 ug/L (JUS.02 superfície) e 728 ug/L (MON.05 fundo), com média de  $617 \pm 49$  ug/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-109). O rio Madeira, mesmo com a criação do reservatório, não apresentou variação vertical nos valores de nitrato.

O nitrogênio amoniacal registrou valores baixos e foi a segunda fração que mais contribuiu para o nitrogênio inorgânico. As concentrações de nitrogênio amoniacal oscilaram entre 5 ug/L (JUS.01 fundo) e 15,8 ug/L (MON.01 superfície), com média de  $9,4 \pm 2,5$  ug/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-110), semelhante ao valor médio das campanhas realizadas nos mesmos períodos (águas baixas) apresentadas no Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira entre janeiro de 2009 e agosto de 2011 ( $6,2 \pm 4,2$  ug/L média  $\pm$  DP). A absorção de nitrogênio amoniacal por microorganismos é de grande importância para o metabolismo planctônico. Quando presente em grandes concentrações, o nitrogênio amoniacal passa a ser tóxico aos organismos.

O nitrito apresentou concentração média de  $2,27 \pm 0,57$  ug/L (média  $\pm$  DP), variando entre 1,6 ug/L (JUS.01 fundo) e 3,4 ug/L (JUS.02 fundo) (Figura 5.1-111). O nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), que é a soma das concentrações de nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrito, apresentou concentração média de  $629 \pm 49$  ug/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-112). O NID foi em média 49% do nitrogênio total, sendo o restante composto pela fração orgânica.

A concentração média de nitrogênio orgânico total foi de  $658 \pm 111$  ug/L (média  $\pm$  DP), variando entre 359 ug/L (MON.01 superfície) e 977 ug/L (JUS.03 superfície) (Figura 5.1-113). O nitrogênio orgânico dissolvido variou entre 71 ug/L (MON.01 superfície) e 401 ug/L (JUS.01 fundo), com média de  $275 \pm 79$  ug/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-114).

O nitrogênio particulado apresentou concentração média de  $383 \pm 169$  ug/L (média  $\pm$  DP), oscilando entre 74 ug/L (JUS.01 fundo) e 769 ug/L (MON.05 superfície) (Figura 5.1-115). A fração particulada foi em média 29% do nitrogênio total, estando o restante na fração dissolvida. O nitrogênio total dissolvido variou entre 675 ug/L (MON.02 superfície) e 1007 ug/L (JUS.01 fundo), com média de  $904 \pm 54$  ug/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-116). O nitrogênio total apresentou concentração média de  $1287 \pm 139$  ug/L (média  $\pm$  DP), variando entre 1010 ug/L (MON.02 superfície) e 1576 ug/L (JUS.03 superfície) (Figura 5.1-117).

As diferentes formas de nitrogênio como, nitrato, amônia, nitrito, nitrogênio total dissolvido e o nitrogênio total, tiveram pouca variaram espacial e vertical nas diferentes estações amostradas no reservatório, no corpo central do rio Madeira. Esses resultados indicam que a formação do reservatório não influenciou, até o presente momento, a dinâmica do nitrogênio nas estações do rio Madeira.

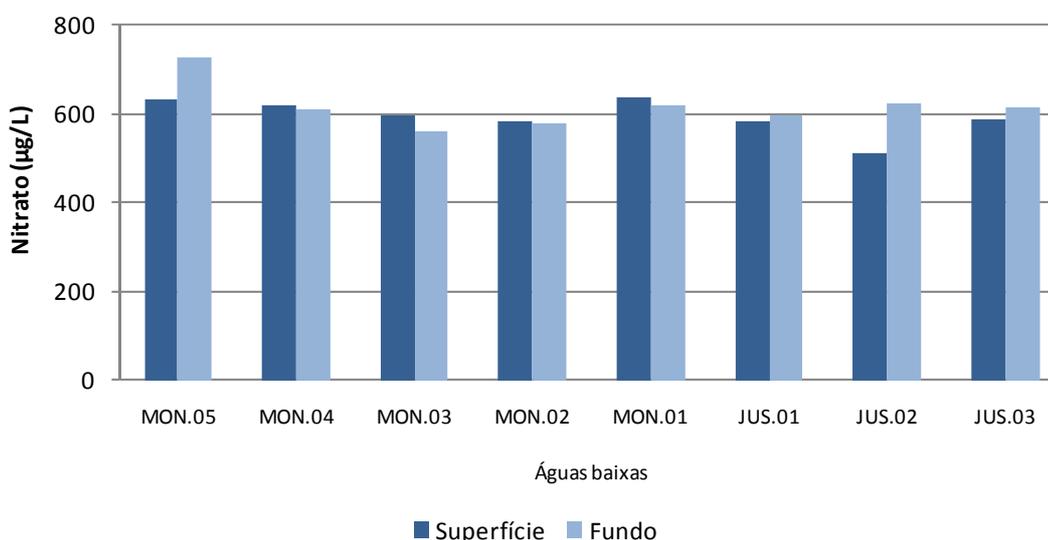


Figura 5.1-109 - Concentrações de nitrato no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

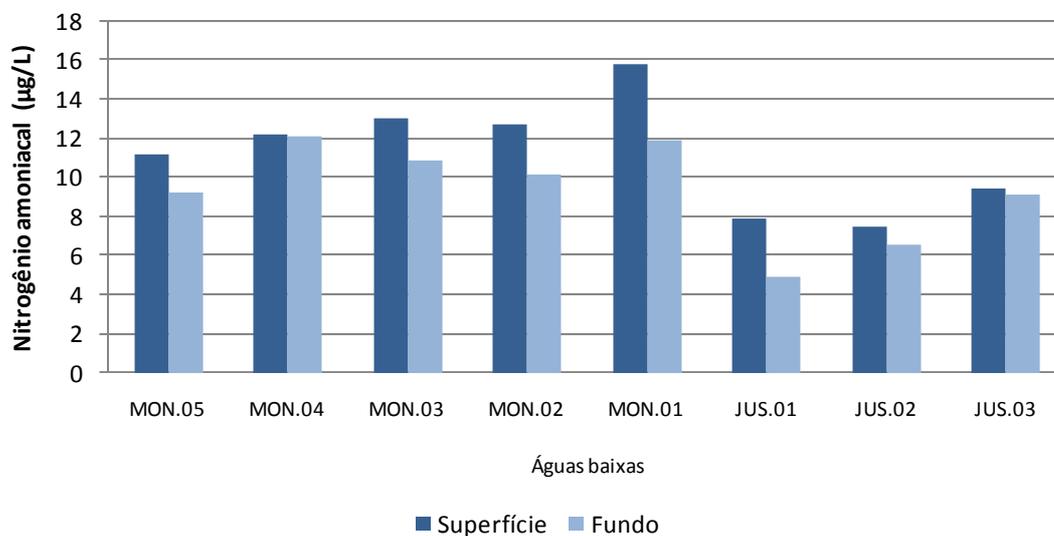


Figura 5.1-110 - Concentrações de nitrogênio amoniacal no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

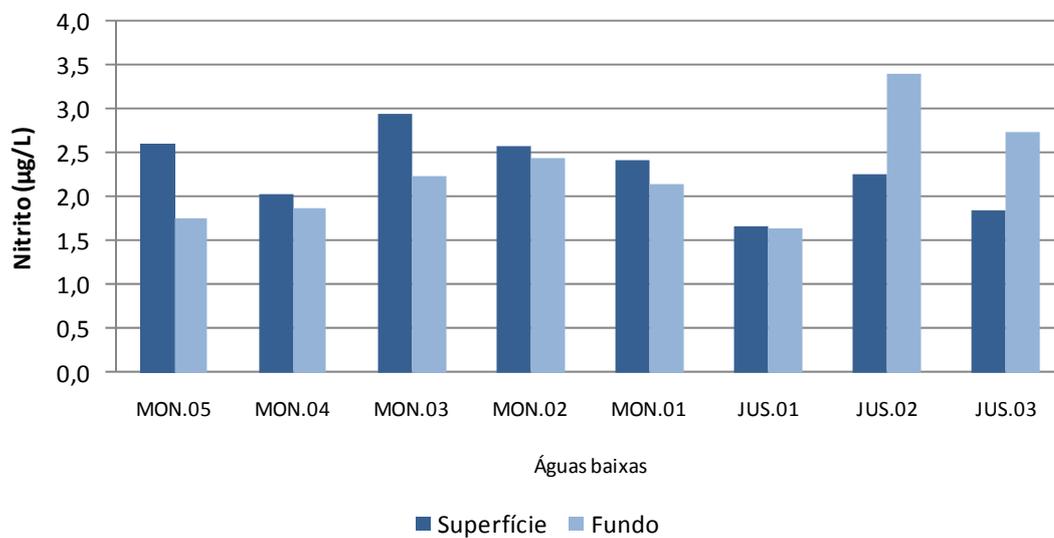


Figura 5.1-111 - Concentrações de nitrito no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

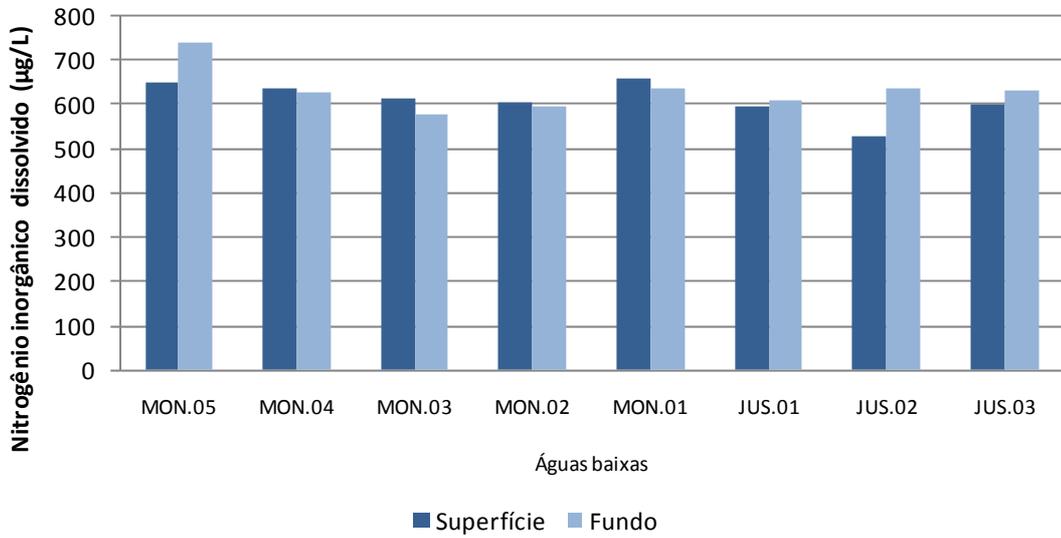


Figura 5.1-112 - Concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

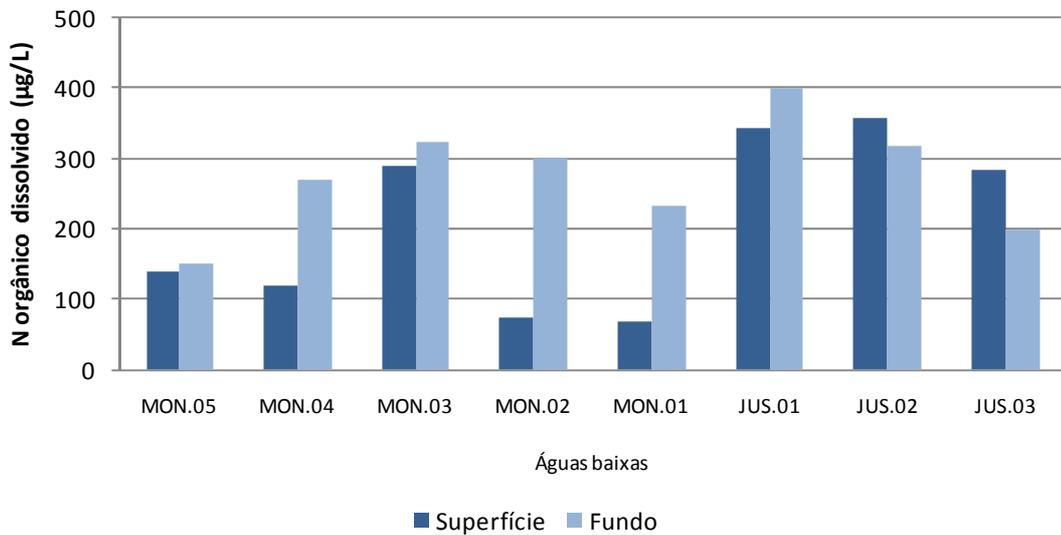


Figura 5.1-113 - Concentrações de nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

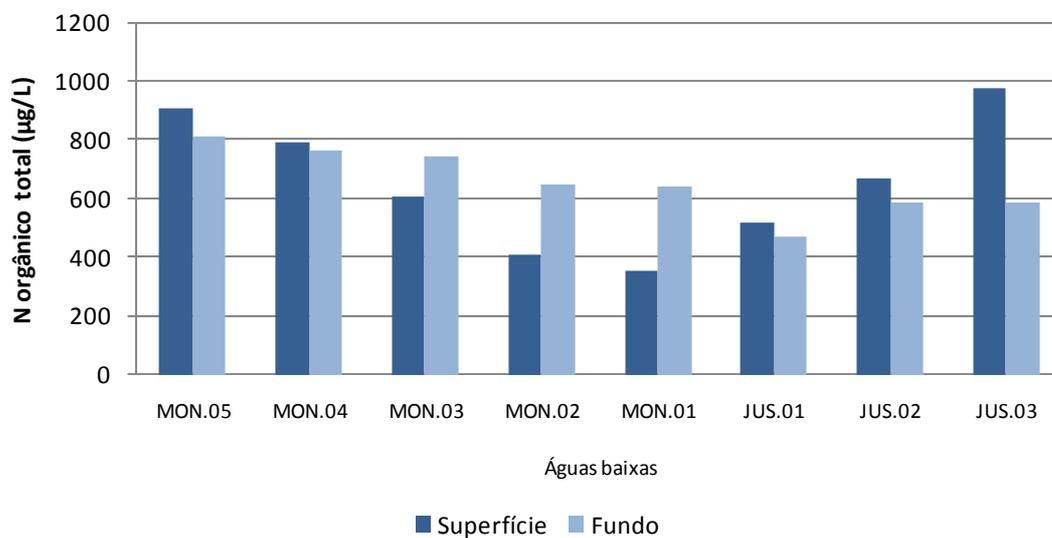


Figura 5.1-114 - Concentrações de nitrogênio orgânico total (NOT) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

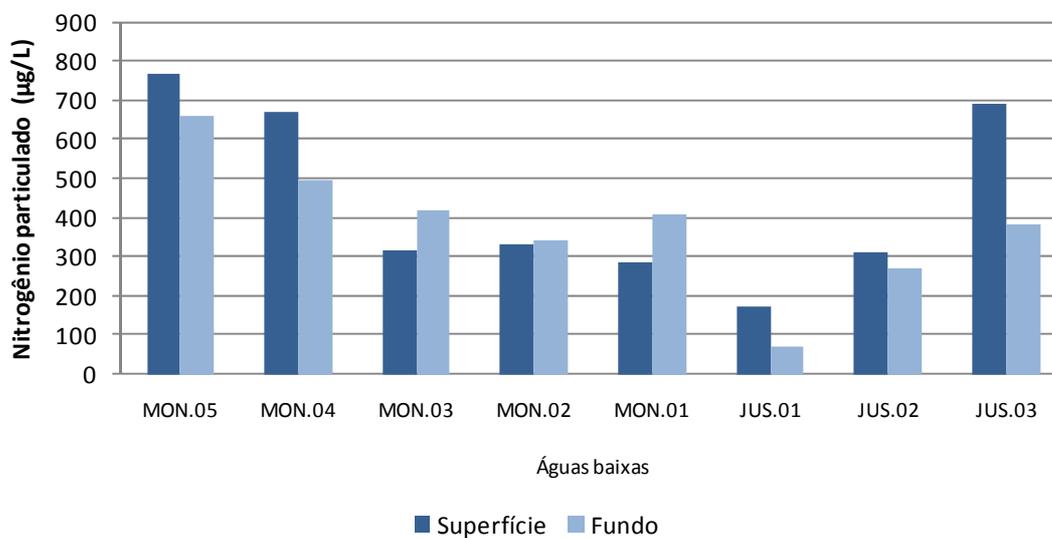


Figura 5.1-115 - Concentrações de nitrogênio particulado (NP) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

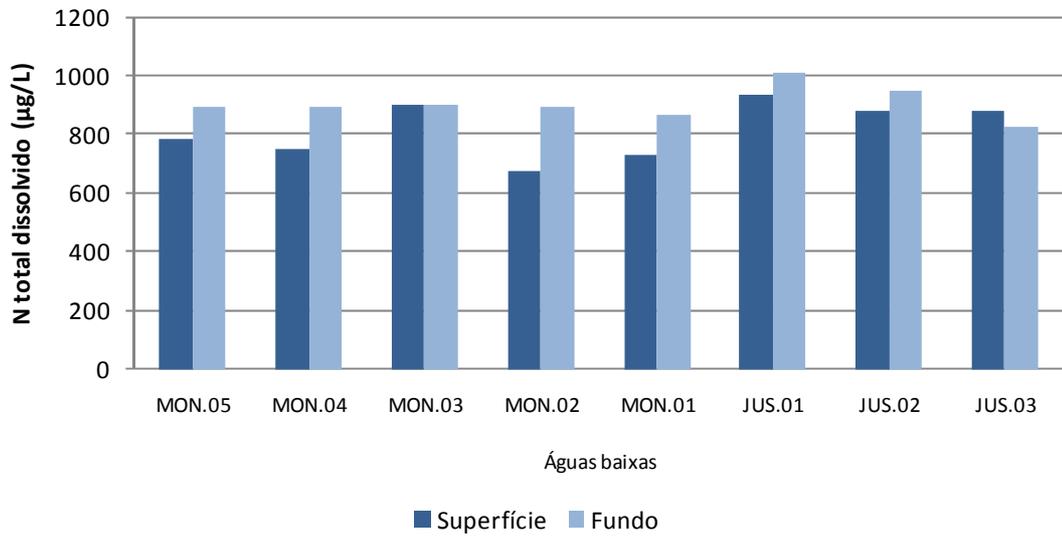


Figura 5.1-116 - Concentrações de nitrogênio total dissolvido (NTD) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

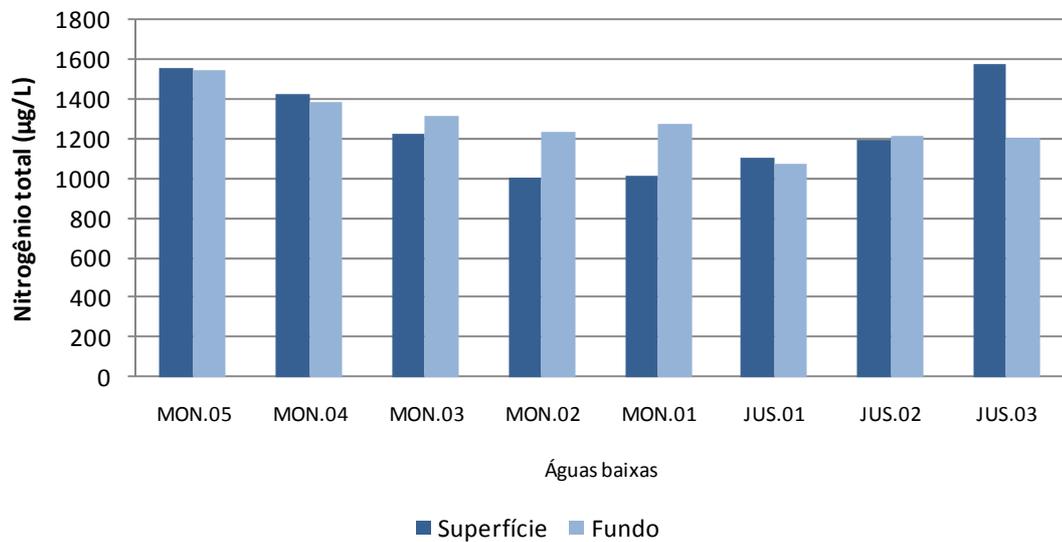


Figura 5.1-117 - Concentrações de nitrogênio total (NT) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos tributários, o nitrato foi a fração que mais contribuiu para o nitrogênio inorgânico dissolvido, tendo sido em média 96% dessa fração, porcentagem semelhante à encontrada para o rio Madeira. As concentrações de nitrato variaram entre 372 ug/L (JAM) e 727 ug/L (BEL), com média de  $560 \pm 52$  ug/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-118**).

As concentrações de nitrogênio amoniacal oscilaram entre 3,8 ug/L (JAC.03) e 19,7 ug/L (CAR fundo), com média de  $10,8 \pm 4,7$  ug/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-119**). Não há indicativos de que o enchimento do reservatório tenha aumentado as concentrações de nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_4$ ), já que essa fração apresentou concentração inferior ao valor médio das campanhas realizadas nos mesmos períodos (águas baixas) apresentadas no Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira entre janeiro de 2009 e agosto de 2011 ( $19,9 \pm 32$  ug/L média  $\pm$  DP).

O nitrito apresentou concentração média de  $3,5 \pm 1,4$  ug/L (média  $\pm$  DP), variando entre 1,9 ug/L (JAC.03) e 7,7 ug/L (BEL) (**Figura 5.1-120**). O nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) apresentou concentração média de  $578 \pm 71$  ug/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-121**). O NID foi em média 54% do nitrogênio total, sendo o restante composto pela fração orgânica.

A concentração média de nitrogênio orgânico total foi de  $485 \pm 224$  ug/L (média  $\pm$  DP), variando entre 179 ug/L (TEO.01 fundo) e 991 ug/L (TEO.01 meio) (**Figura 5.1-122**). Já o nitrogênio orgânico dissolvido variou entre 31 ug/L (TEO superfície) e 274 ug/L (CRC fundo), com média de  $123 \pm 72$  ug/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-123**).

O nitrogênio particulado apresentou concentração média de  $362 \pm 209$  ug/L (média  $\pm$  DP), oscilando entre 112 ug/L (JAT I) e 871 ug/L (TEO.01 meio) (**Figura 5.1-124**). A fração particulada foi em média 34% do nitrogênio total, estando o restante na fração dissolvida. O nitrogênio total dissolvido variou entre 570 ug/L (JAM) e 904 ug/L (BEL), com média de  $701 \pm 71$  ug/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-125**). O nitrogênio total apresentou concentração média de  $1063 \pm 230$  ug/L (média  $\pm$  DP), variando entre 763 ug/L (TEO.01 fundo) e 1610 ug/L (TEO.01 meio) (**Figura 5.1-126**). Nas estações TEO e TEO.01 apresentaram uma certa variação vertical, que está possivelmente ligado a fatores naturais.

Nos tributários, a variação espacial foi baixa, apesar de, serem ambientes diferentes e desconectados. Esses resultados indicam que a formação do reservatório não influenciou, até o presente momento, a dinâmica do nitrogênio nos tributários.

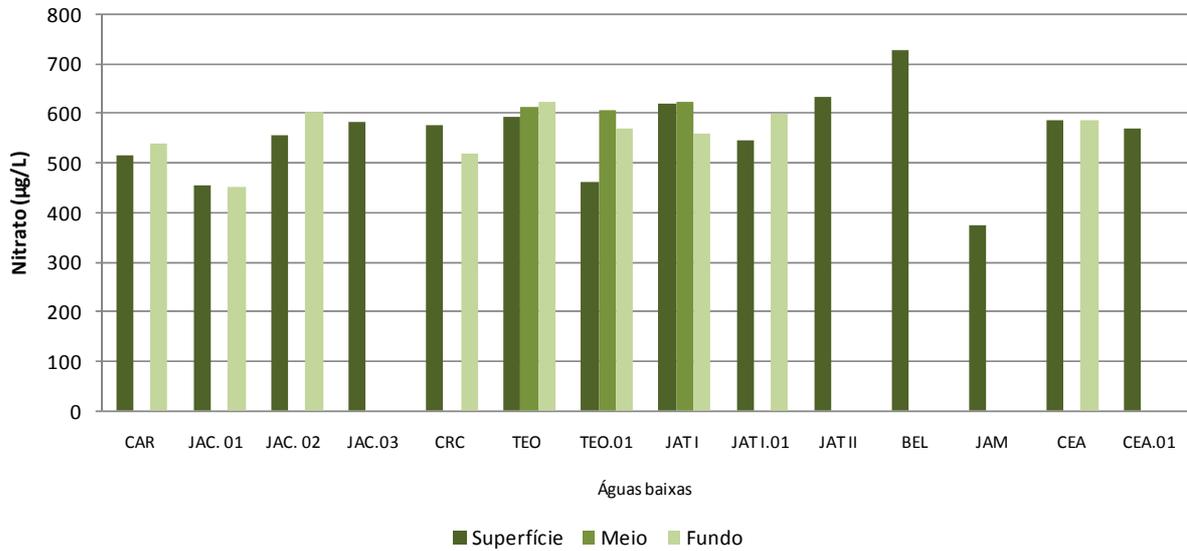


Figura 5.1-118 - Concentrações de nitrato nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

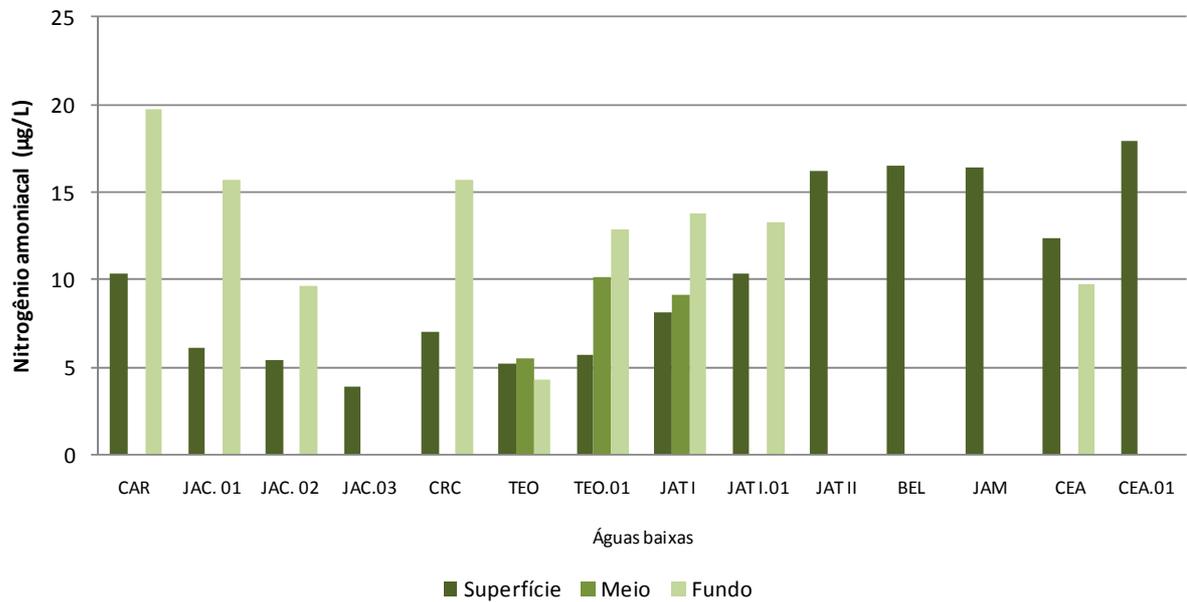


Figura 5.1-119 - Concentrações de nitrogênio amoniacoal nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

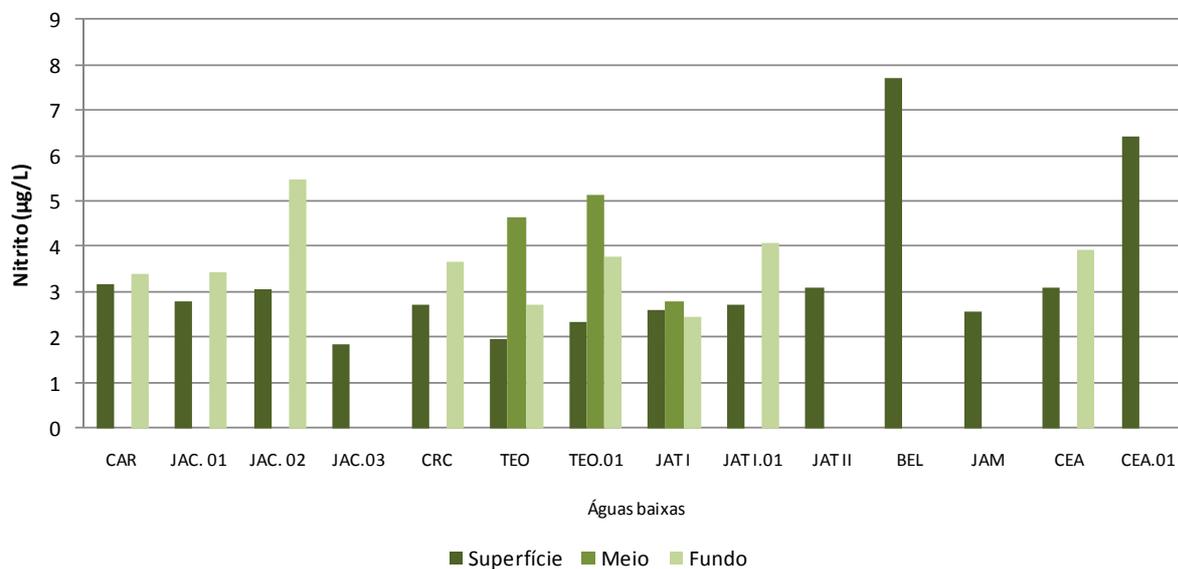


Figura 5.1-120 - Concentrações de nitrito nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

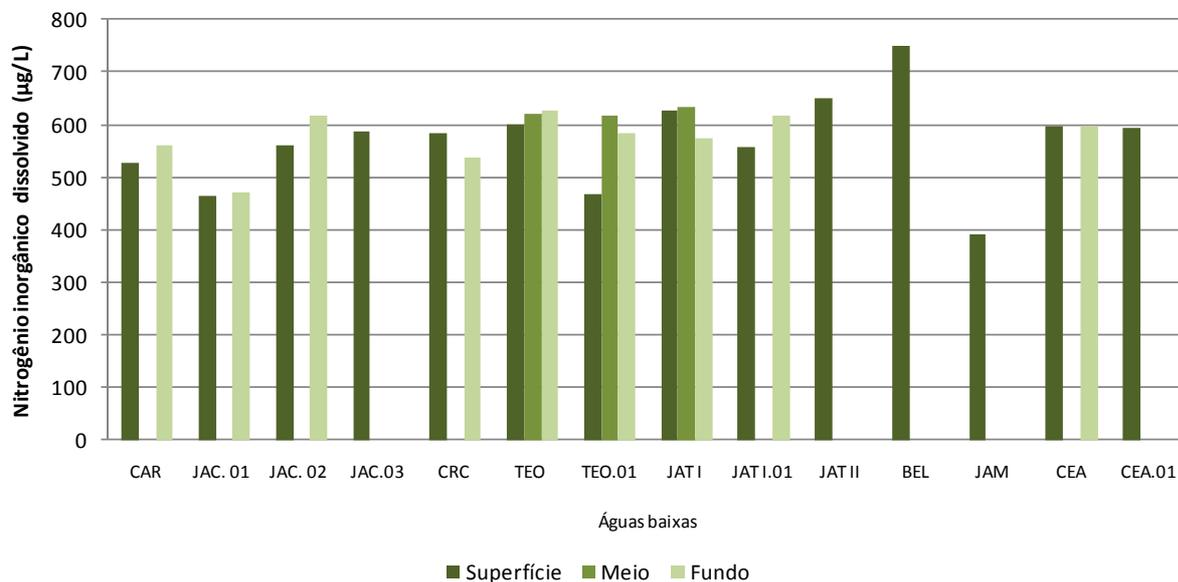


Figura 5.1-121 - Concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

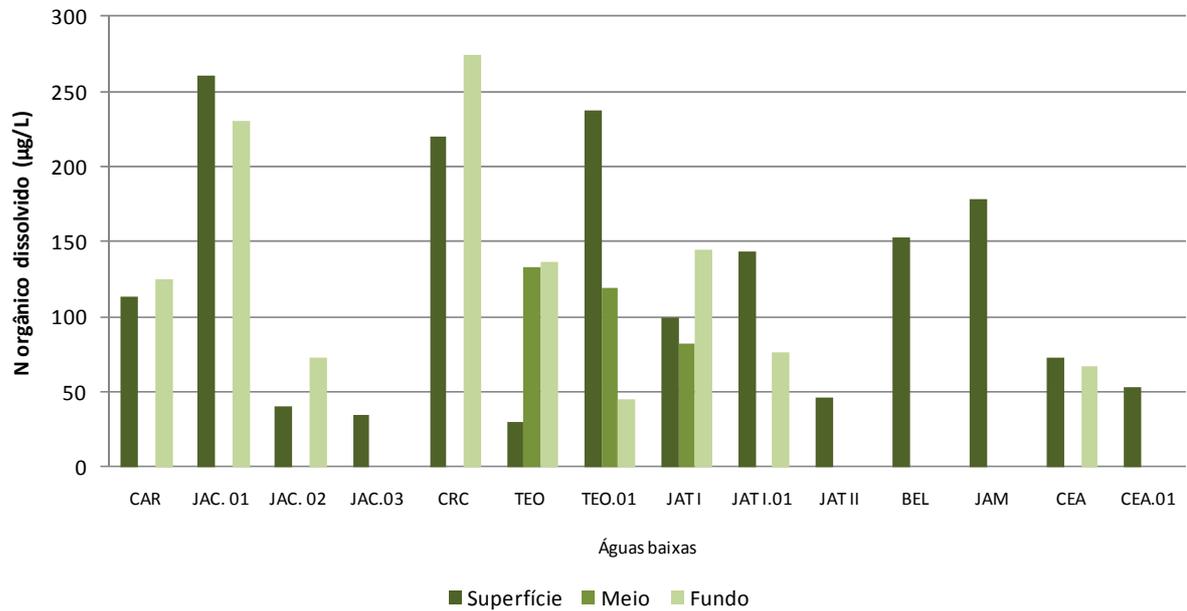


Figura 5.1-122 - Concentrações de nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

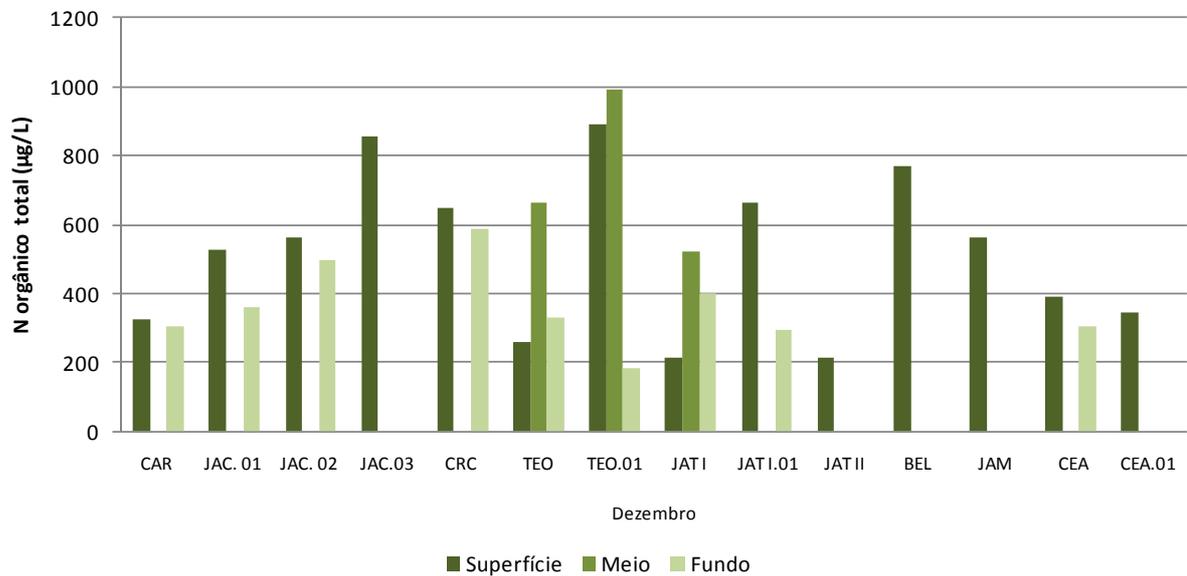


Figura 5.1-123 - Concentrações de nitrogênio orgânico total (NOT) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

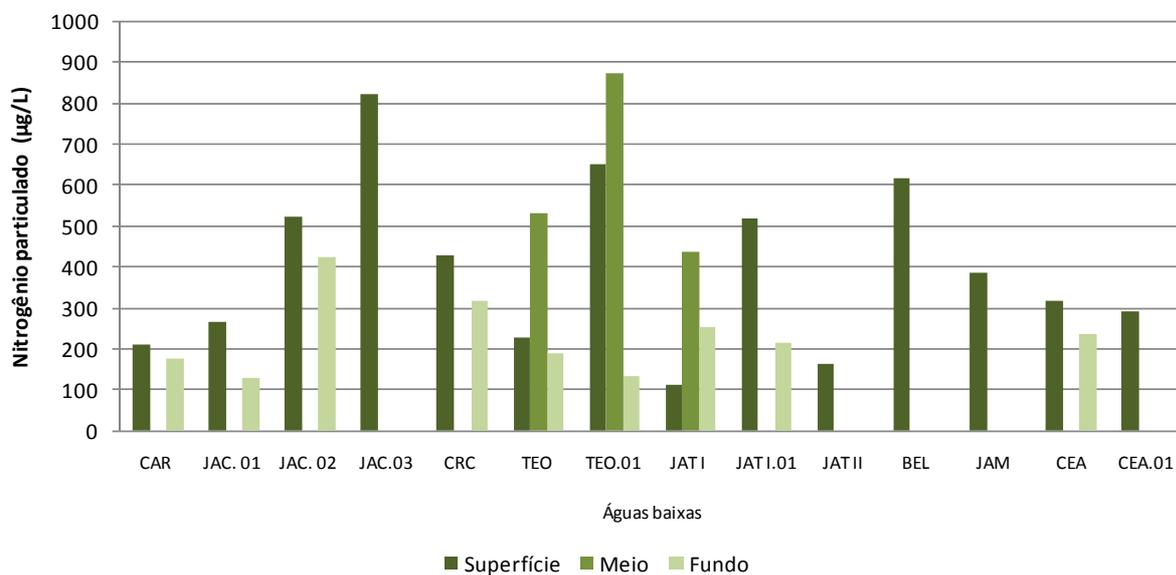


Figura 5.1-124 - Concentrações de nitrogênio particulado (NP) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

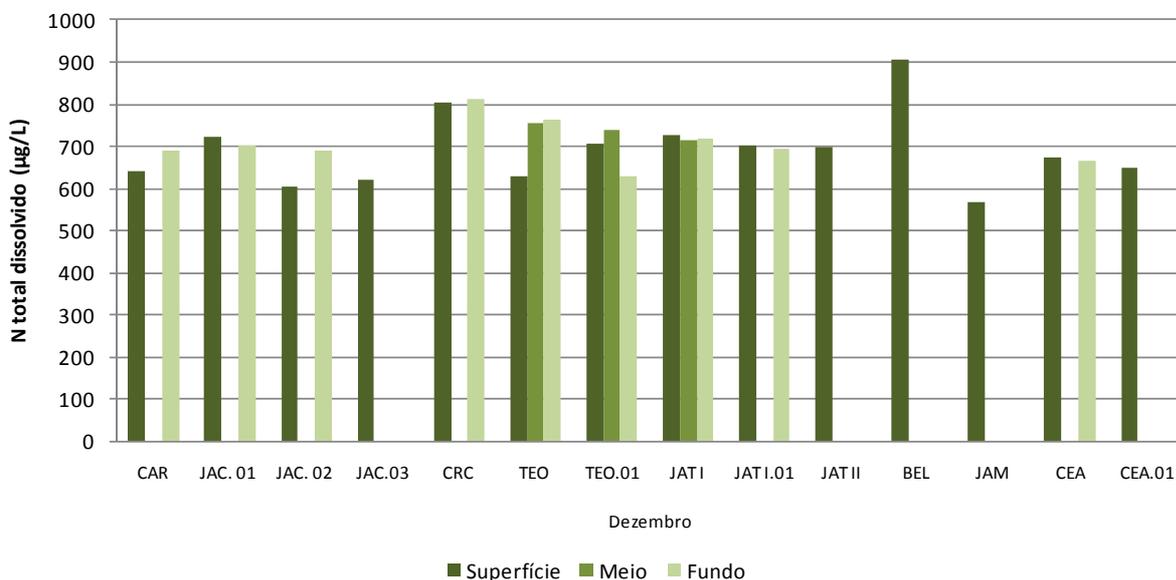


Figura 5.1-125 - de nitrogênio total dissolvido (NTD) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

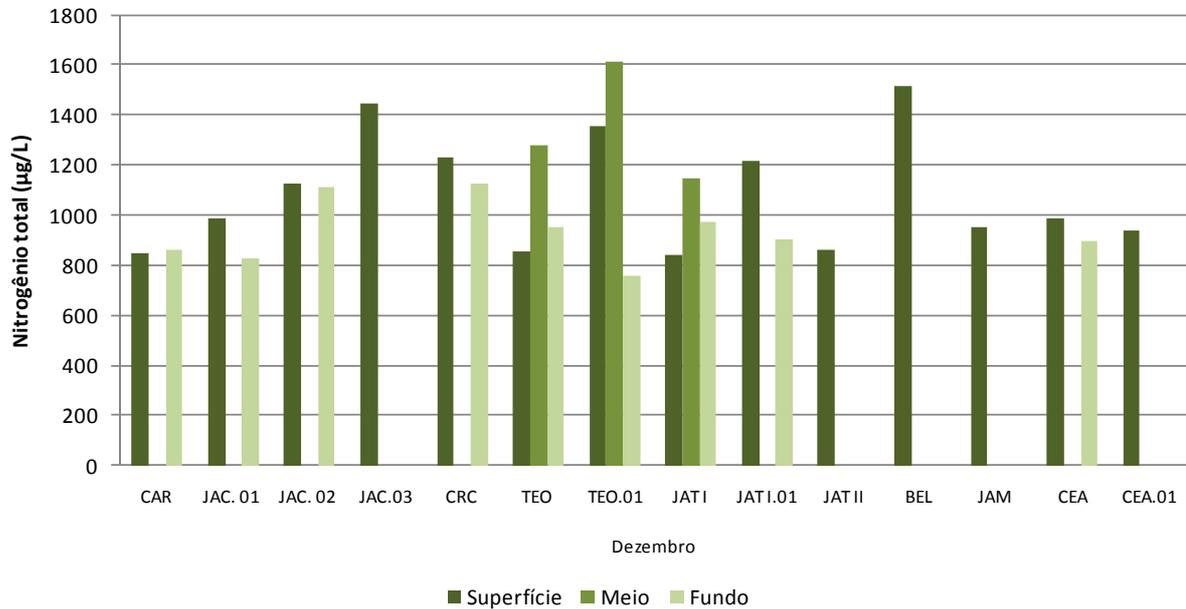


Figura 5.1-126 - Concentrações de nitrogênio total (NT) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos lagos e canais, o nitrato foi a fração que mais contribuiu para o nitrogênio inorgânico dissolvido, tendo sido em média 98% dessa fração, porcentagem semelhante à encontrada para o rio Madeira e para os tributários. As concentrações de nitrato variaram entre 295 ug/L (CC.02 superfície) e 505 ug/L (CUJ), com média de  $398 \pm 87$  ug/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-127).

As concentrações de nitrogênio amoniacal oscilaram entre 2,6 ug/L (CC.02) e 29 ug/L (LC.02), com média de  $8,9 \pm 9,3$  ug/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-128). Valor inferior ao valor médio das campanhas realizadas nos mesmos períodos (águas baixas) apresentadas no Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira entre janeiro de 2009 e agosto de 2011 ( $20 \pm 22$  ug/L média  $\pm$  DP).

O nitrito apresentou concentração média de  $2,6 \pm 0,5$  ug/L (média  $\pm$  DP), variando entre 2 ug/L (CUJ) e 3,5 ug/L (LC.01 fundo) (Figura 5.1-129). O nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) apresentou concentração média de  $409 \pm 88$  ug/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-130). O NID foi em média 43% do nitrogênio total, sendo o restante composto pela fração orgânica.

A concentração média de nitrogênio orgânico total foi de  $640 \pm 185$  ug/L (média  $\pm$  DP), variando entre 446 ug/L (LC.01 superfície) e 991 ug/L (LC.02) (Figura 5.1-131). O nitrogênio orgânico dissolvido variou entre 81 ug/L (LC.01 fundo) e 212 ug/L (CC.01), com média de  $152 \pm 41$  ug/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-132).

O nitrogênio particulado apresentou concentração média de  $487 \pm 169$  ug/L (média  $\pm$  DP), oscilando entre 321 ug/L (LC.01 superfície) e 843 ug/L (LC.02) (Figura 5.1-133). A fração particulada foi em média 46% do nitrogênio total, estando o restante na fração dissolvida. O nitrogênio total dissolvido variou entre 482 ug/L (LC.03) e 637 ug/L (CUJ), com média de  $561 \pm 61$  ug/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-134). O nitrogênio total apresentou concentração média de  $1064 \pm 208$  ug/L (média  $\pm$  DP), variando entre 835 ug/L (CC.02) e 1456 ug/L (LC.02) (Figura 5.1-135).

Mesmo com a criação do reservatório, os resultados obtidos não apontam para modificações nos lagos e canais amostrados. Todos os lagos e canais estão situados a jusante do reservatório da UHE Santo Antônio e, como o fluxo de água não foi alterado a jusante, não há grande efeito da usina sobre esses ambientes.

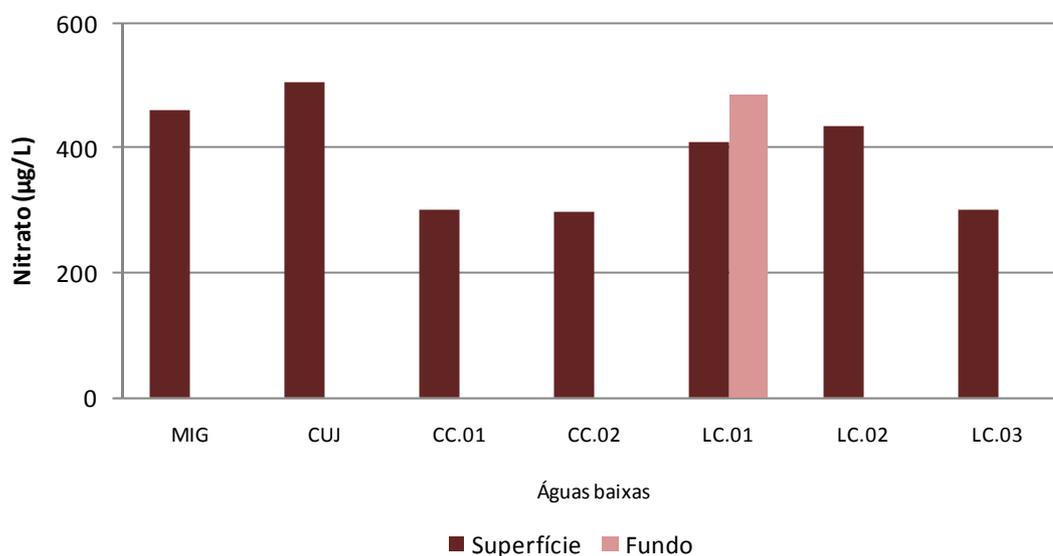


Figura 5.1-127 - Concentrações de nitrato nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

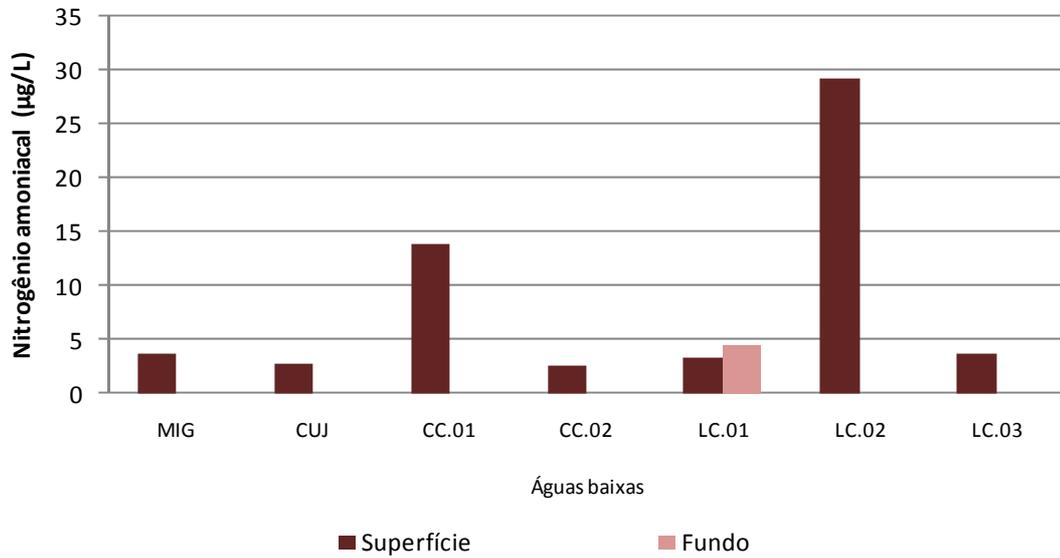


Figura 5.1-128 - Concentrações de nitrogênio amoniacal nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

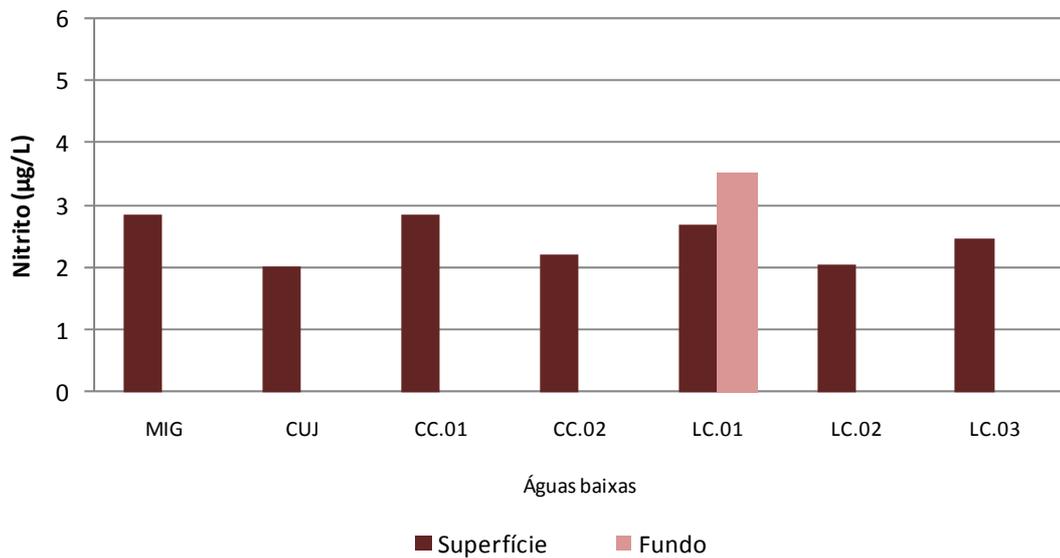


Figura 5.1-129 - Concentrações de nitrito nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

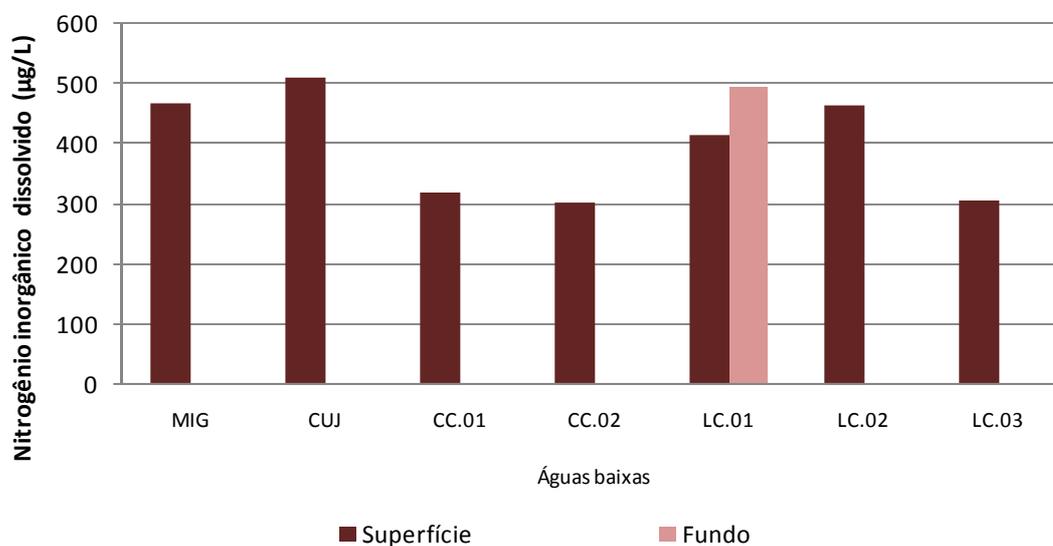


Figura 5.1-130 - Concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

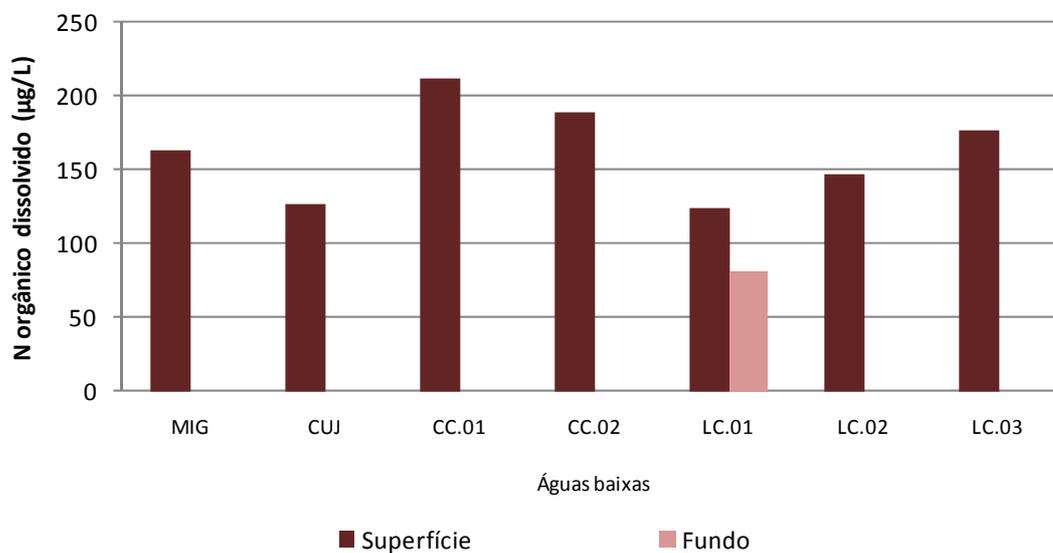


Figura 5.1-131 - Concentrações de nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

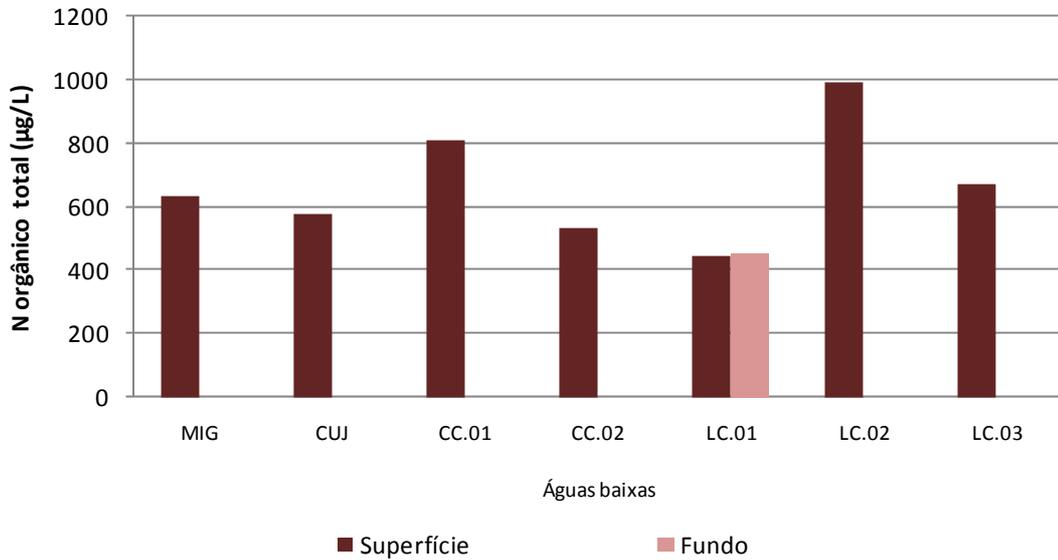


Figura 5.1-132 - Concentrações de nitrogênio orgânico total (NOT) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

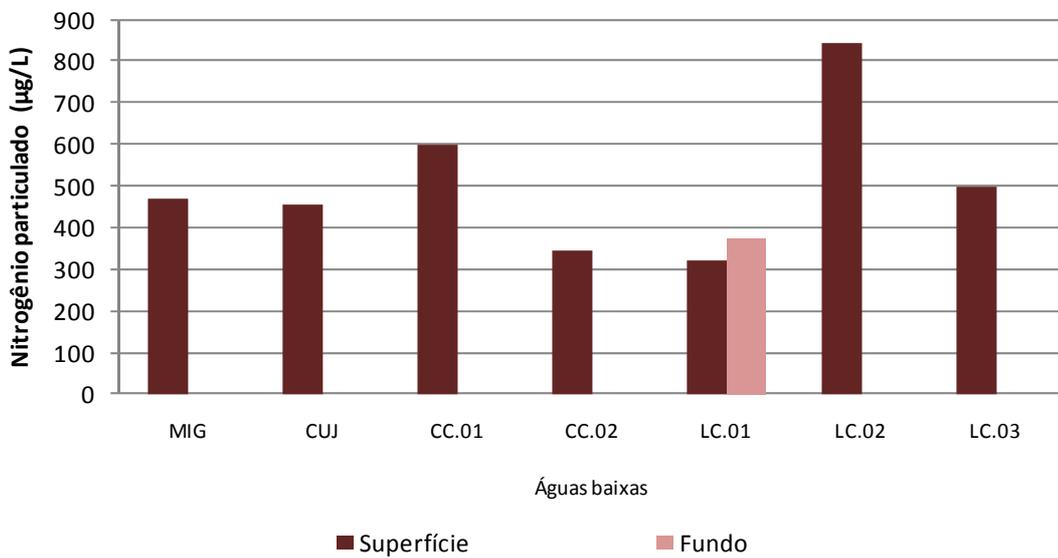


Figura 5.1-133 - Concentrações de nitrogênio particulado (NP) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

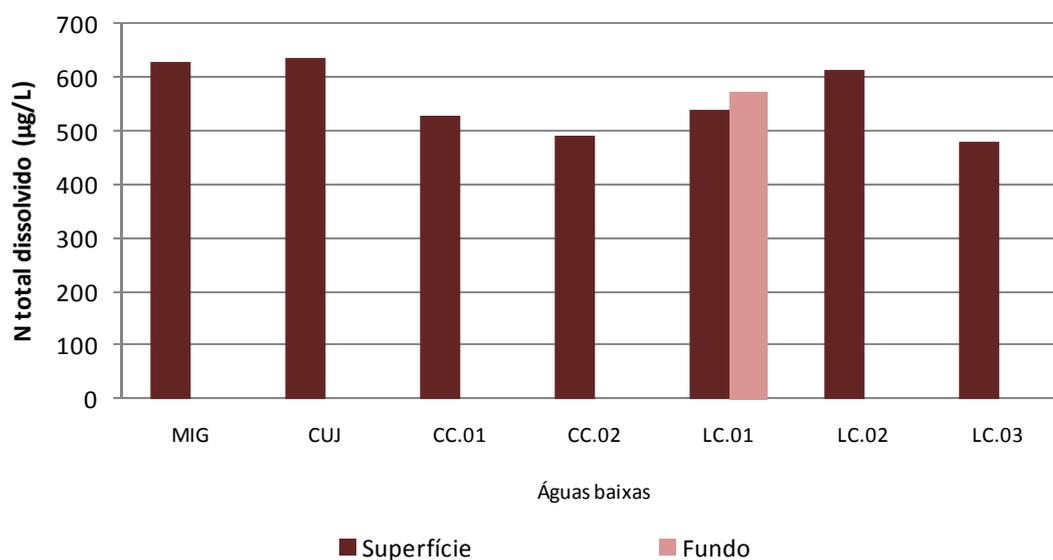


Figura 5.1-134 - Concentrações de nitrogênio total dissolvido (NTD) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

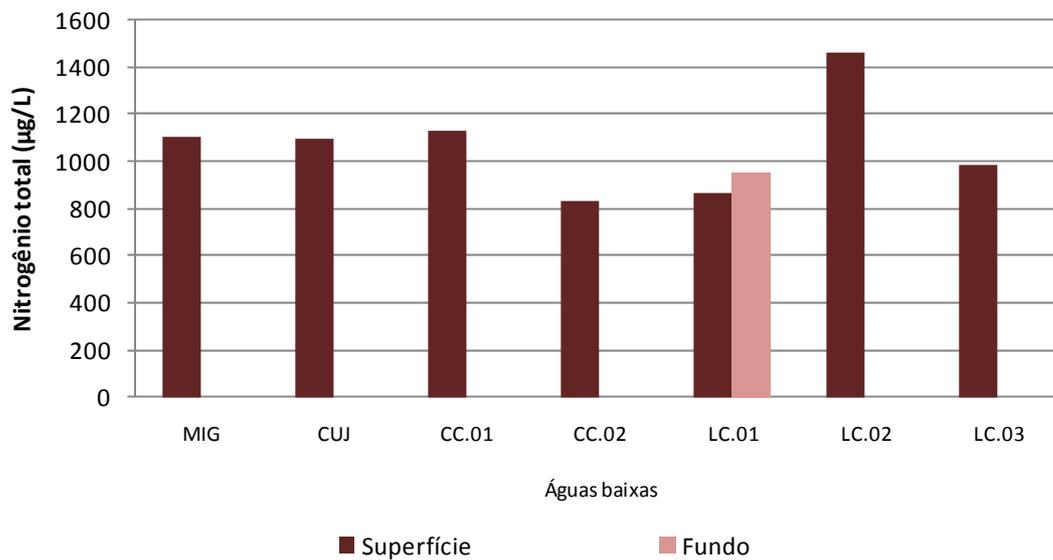


Figura 5.1-135 - Concentrações de nitrogênio total (NT) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

As concentrações das diferentes formas de nitrogênio registraram, em geral, pouca variação espacial e vertical nos ambientes amostrados. Isso indica que a criação do reservatório não causou modificações nas concentrações dessas formas de nitrogênio. Além disso, cabe salientar que as concentrações de nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrito atenderam ao Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de Classe 2, tanto no rio Madeira quanto nos tributários e nos lagos e canais.

#### **5.1.7.2 - Conteúdo nutricional: Fósforo (Ortofosfato, Fósforo total dissolvido, Fósforo total, Fósforo orgânico dissolvido, Fósforo orgânico total e Fósforo particulado)**

O fósforo é indispensável para a produção primária em ambientes aquáticos e, devido às baixas concentrações em que geralmente é encontrado, pode tornar-se um fator limitante para a produtividade primária (Esteves, 1998).

O ortofosfato, fração mais importante do ponto de vista biológico, apresentou concentração média de  $23 \pm 4,1$  ug/L (média  $\pm$  DP), variando entre 11 ug/L (JUS.02 superfície) e 27 ug/L (MON.02 fundo) (**Figura 5.1-136**). O ortofosfato representou em média 21% do fósforo total. Nas campanhas realizadas nos mesmos períodos (águas baixas) apresentadas no Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira (janeiro de 2009 a agosto de 2011) os teores de ortofosfato ( $18,5 \pm 9,7$   $\mu$ g/L, média  $\pm$  DP) foram semelhantes ao apresentados nesse monitoramento. Em um estudo sobre os fatores que controlam as concentrações de nutrientes em alguns ambientes amazônicos, Forsberg et al. (1988) registraram concentrações de ortofosfato de 18,6  $\mu$ g/L, valor semelhante ao encontrado no presente estudo.

O fósforo total dissolvido apresentou concentrações que variaram entre 24,8 ug/L (MON.05 fundo) e 32,2 ug/L (JUS.03 superfície), com média de  $28,3 \pm 2,3$  ug/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-137**). A fração dissolvida foi em média 21% do fósforo total, estando o restante na fração particulada. O fósforo particulado apresentou concentração média de  $106 \pm 38$  ug/L (média  $\pm$  DP), oscilando entre 65 ug/L (JUS.01 superfície) e 203 ug/L (MON.05 fundo) (**Figura 5.1-138**).

As concentrações de fósforo total (PT) no rio Madeira foram elevadas. Entretanto, foram inferiores ao valor médio das campanhas realizadas nos mesmos períodos (águas baixas) apresentadas no Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira entre janeiro de 2009 e agosto de 2011 ( $182 \pm 117$  ug/L média  $\pm$  DP). Os valores de PT variaram entre 91 ug/L (JUS.01 superfície) e 228 ug/L (MON.05 fundo), com média de  $134 \pm 38$  ug/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-139).

Em relação à parcela orgânica, o fósforo orgânico total apresentou concentração média de  $111 \pm 38$  ug/L (média  $\pm$  DP), oscilando entre 68 ug/L (JUS.01 superfície) e 206 ug/L (MON.05 fundo) (Figura 5.1-140). O fósforo orgânico dissolvido variou entre 1,7 ug/L (MON.03 superfície) e 15 ug/L (JUS.03 superfície), com média de  $5,9 \pm 5,5$  ug/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-141).

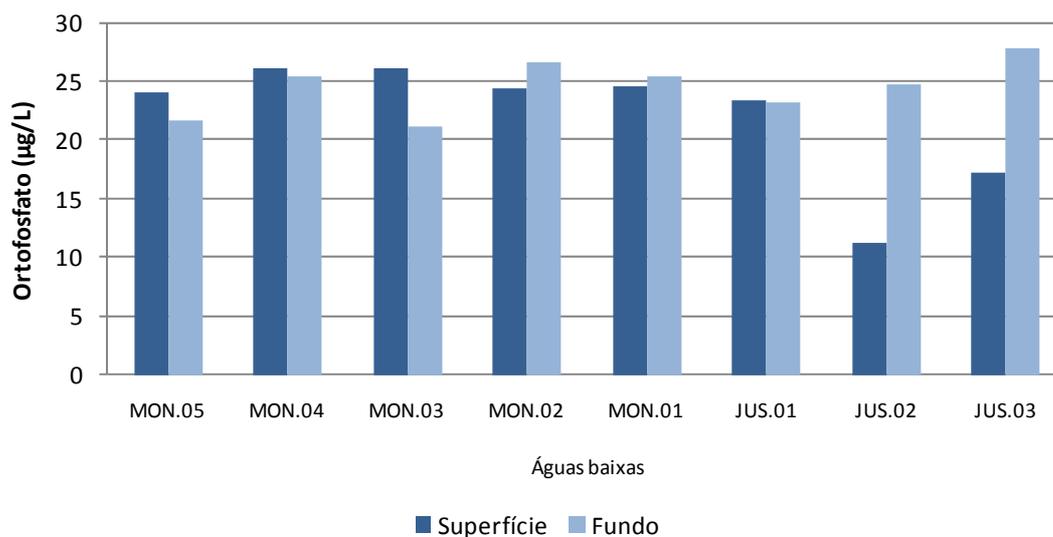


Figura 5.1-136 - Concentrações de ortofosfato no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

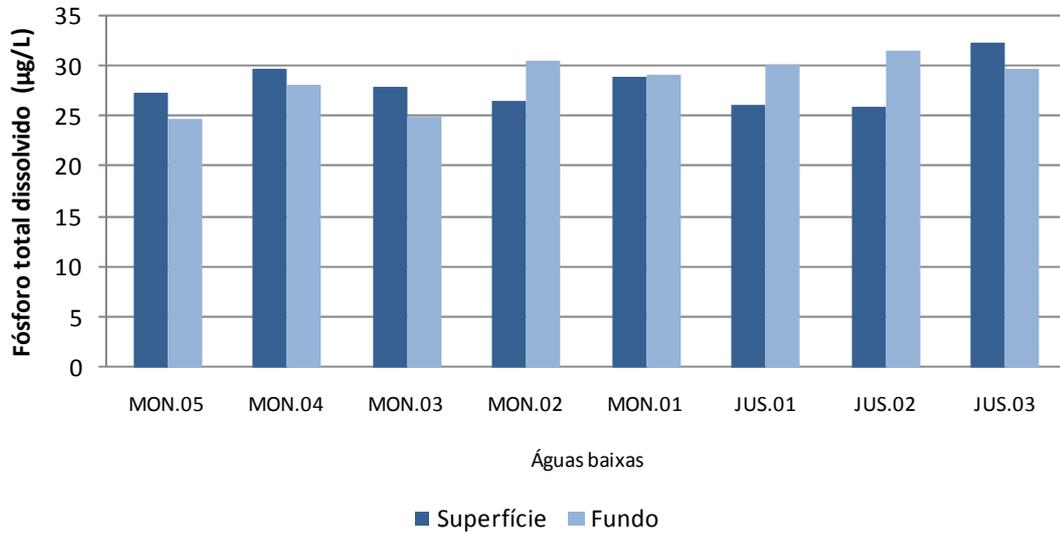


Figura 5.1-137 - Concentrações de fósforo total dissolvido (PTD) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

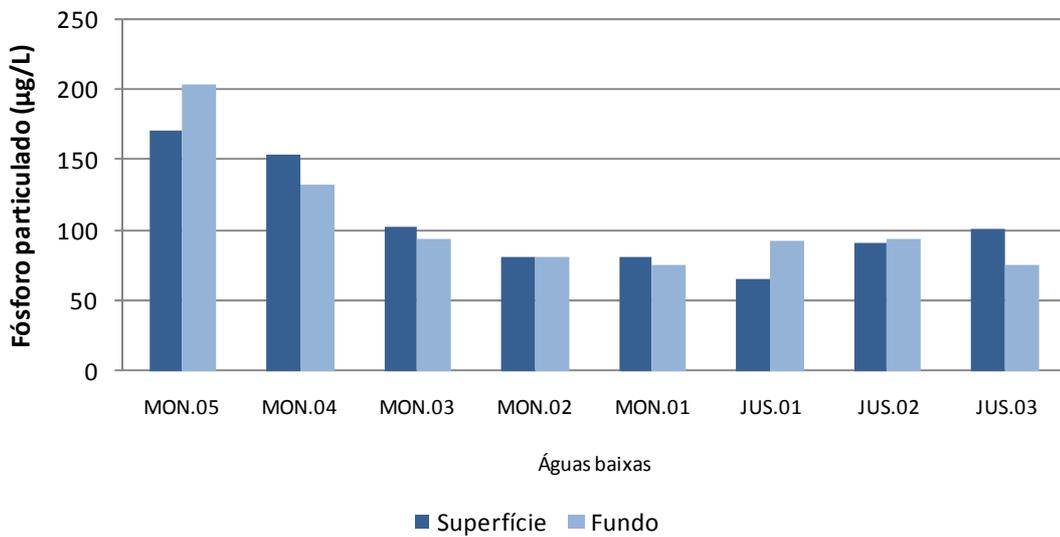


Figura 5.1-138 - Concentrações de fósforo particulado (PP) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

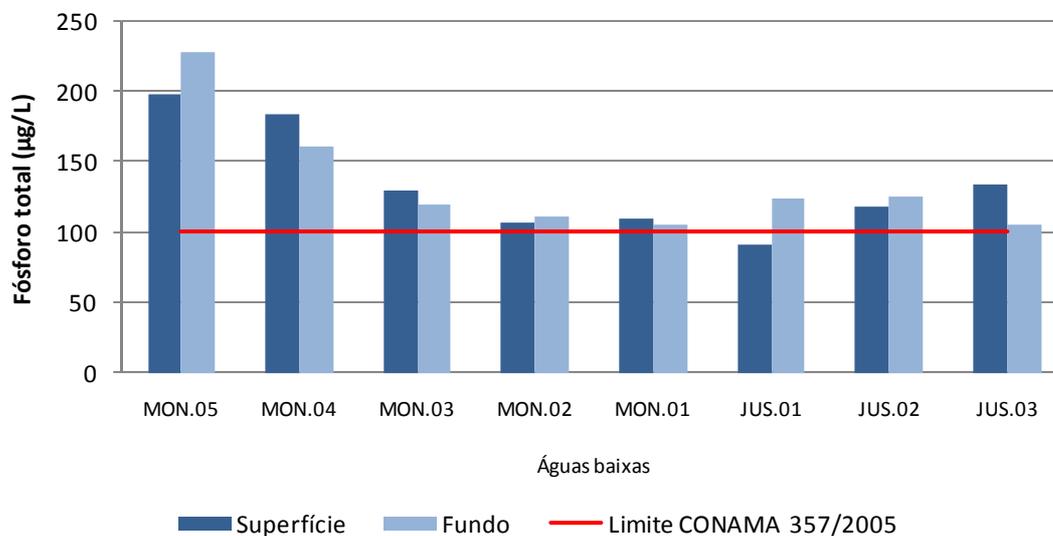


Figura 5.1-139 - Concentrações de fósforo total (PT) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

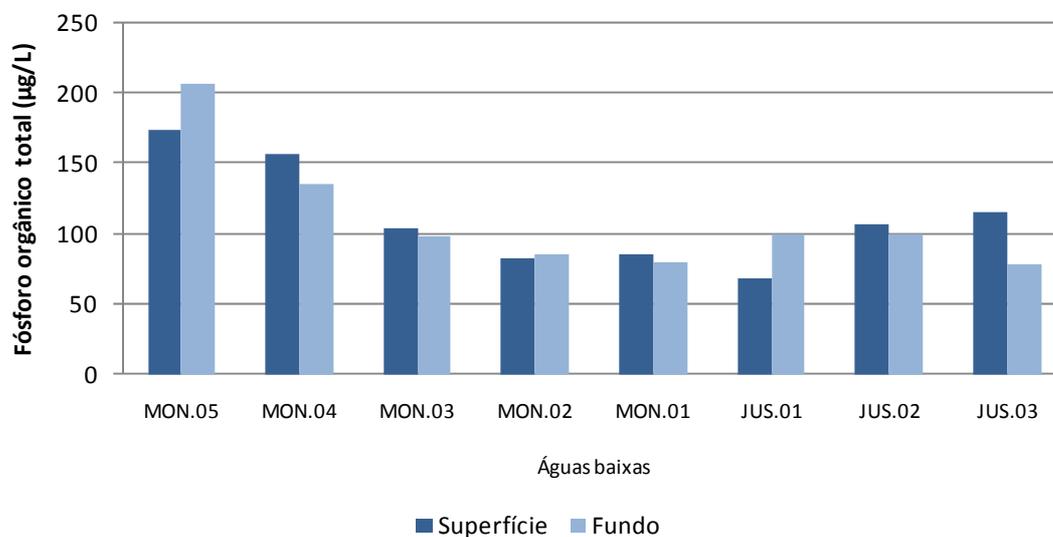


Figura 5.1-140 - Concentrações de fósforo orgânico total (POT) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

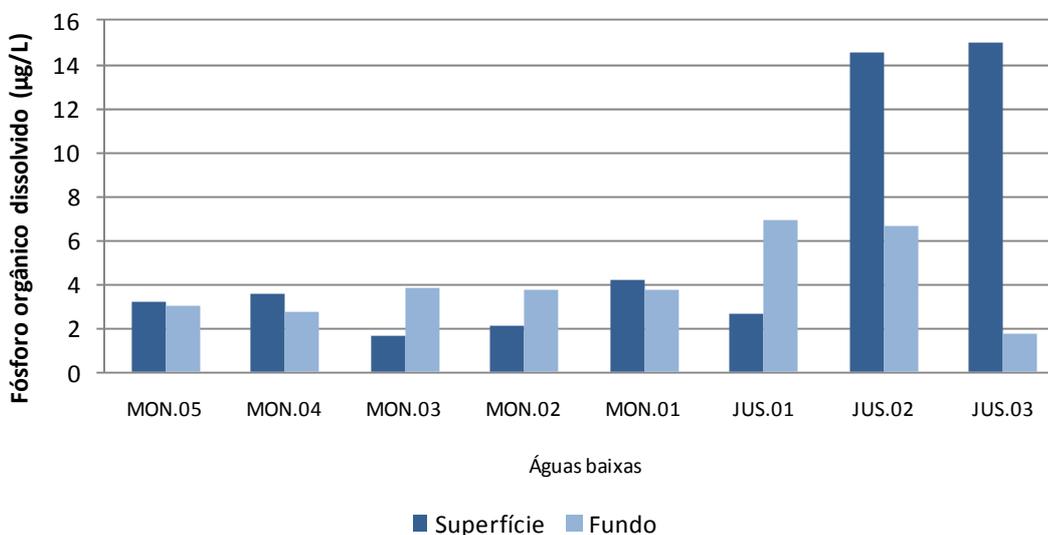


Figura 5.1-141 - Concentrações de fósforo orgânico dissolvido (POD) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos tributários, o ortofosfato variou entre 9,3 µg/L (JAM) e 32,4 µg/L (BEL), com média de  $15,6 \pm 6,2$  µg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-142). O ortofosfato representou em média 28% do fósforo total.

O fósforo total dissolvido apresentou concentração média de  $22 \pm 6,7$  µg/L (média  $\pm$  DP), variando entre 14,3 µg/L (TEO.01 superfície) e 45 µg/L (BEL) (Figura 5.1-143). A fração dissolvida foi em média 42% do fósforo total, estando o restante na fração particulada. O fósforo particulado variou entre 4,7 µg/L (JAT I.01) e 86 µg/L (TEO superfície), com média de  $32 \pm 27$  µg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-144).

As concentrações de fósforo total nos tributários, em geral, foram inferiores às observadas para o rio Madeira. A concentração média foi de  $54 \pm 31$  µg/L (média  $\pm$  DP), com os valores oscilando entre 21 µg/L (JATI.01) e 114 µg/L (TEO superfície) (Figura 5.1-145).

Em relação à parcela orgânica, o fósforo orgânico total apresentou concentração média de  $38 \pm 26$  µg/L (média  $\pm$  DP), oscilando entre 9 µg/L (TEO.01 superfície) e 91 µg/L (TEO superfície) (Figura 5.1-146). O fósforo orgânico dissolvido variou entre 2,6 µg/L (TEO fundo) e 12,7 µg/L (BEL), com média de  $6,2 \pm 2,4$  µg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-147).

Os maiores valores foram registrados nas estações CRC, TEO, JAT I e CEA. Essas estações apresentam grande influência do rio Madeira, já que estão situadas em braços do reservatório e boa parte da água que banha esses ambientes é oriunda do rio Madeira. Os altos valores das frações de fósforos na estação BEL, provavelmente, estão ligados à fatores naturais. Esta estação está situada a jusante reservatório da UHE Santo Antônio e, como o fluxo da água não foi alterado nessa região não há grandes efeitos da usina nesse ambiente.

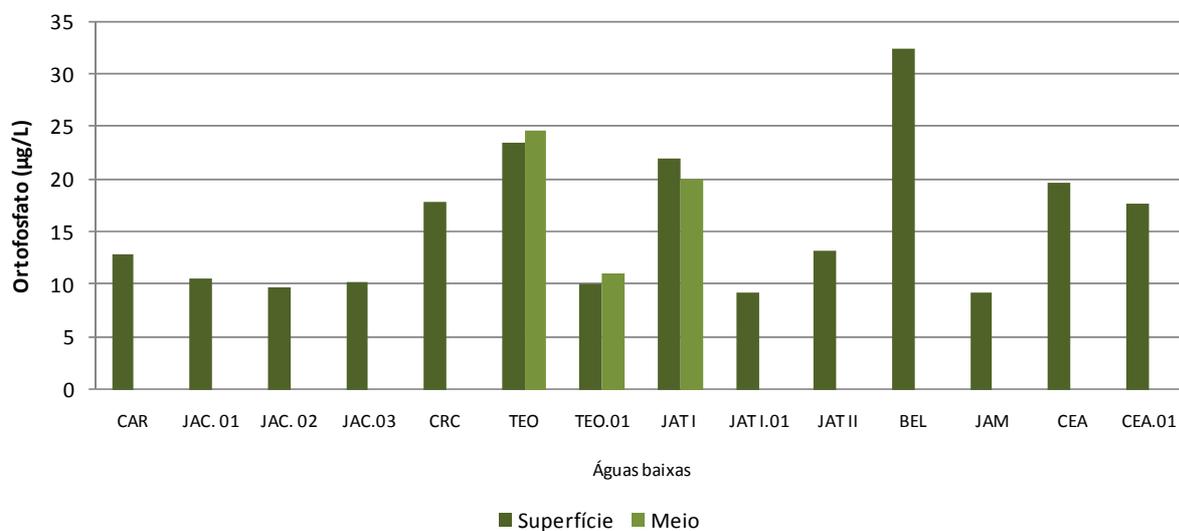


Figura 5.1-142 - Concentrações de ortofosfato nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

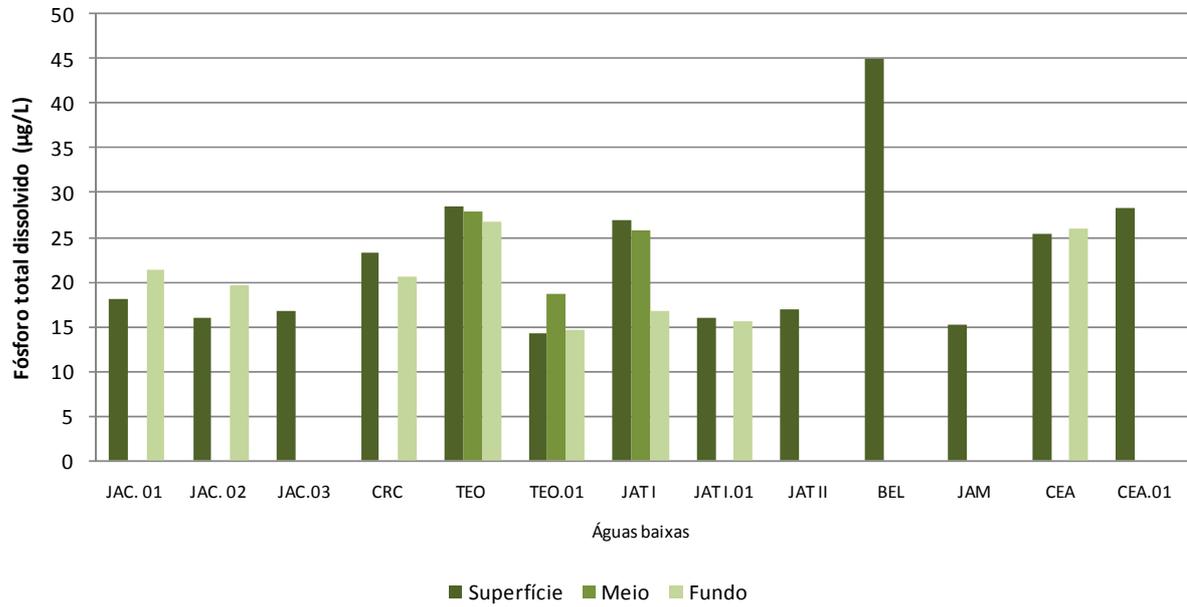


Figura 5.1-143 - Concentrações de fósforo total dissolvido (PTD) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

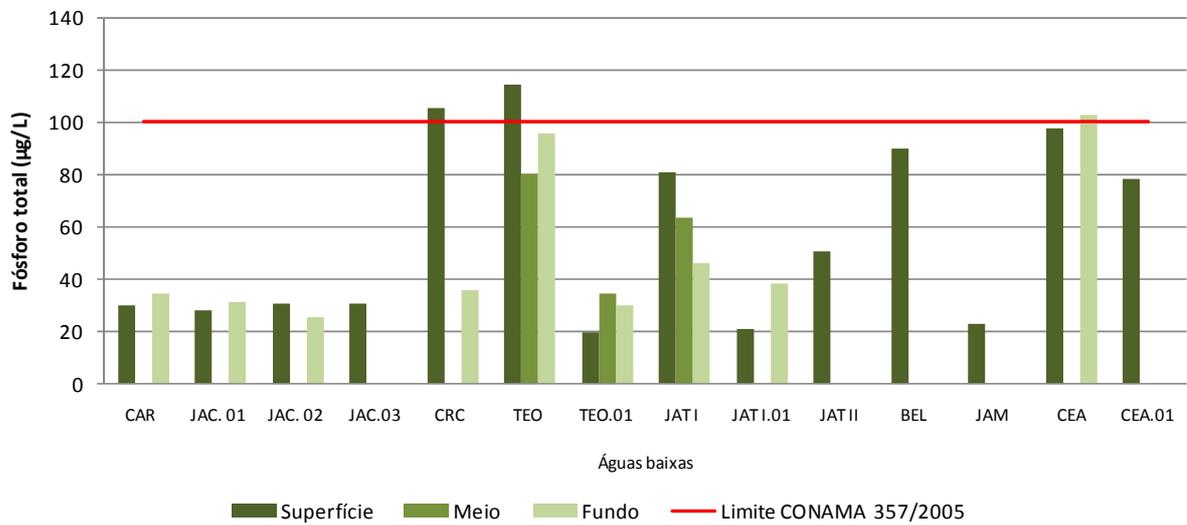


Figura 5.1-144 - Concentrações de fósforo total (PT) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

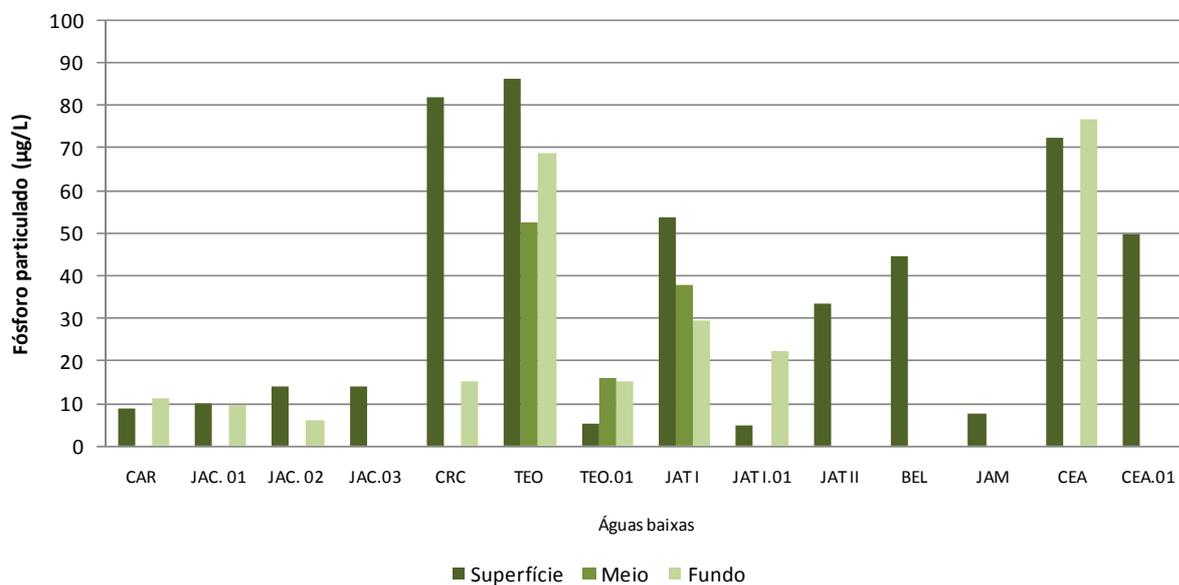


Figura 5.1-145 - Concentrações de fósforo particulado (PP) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

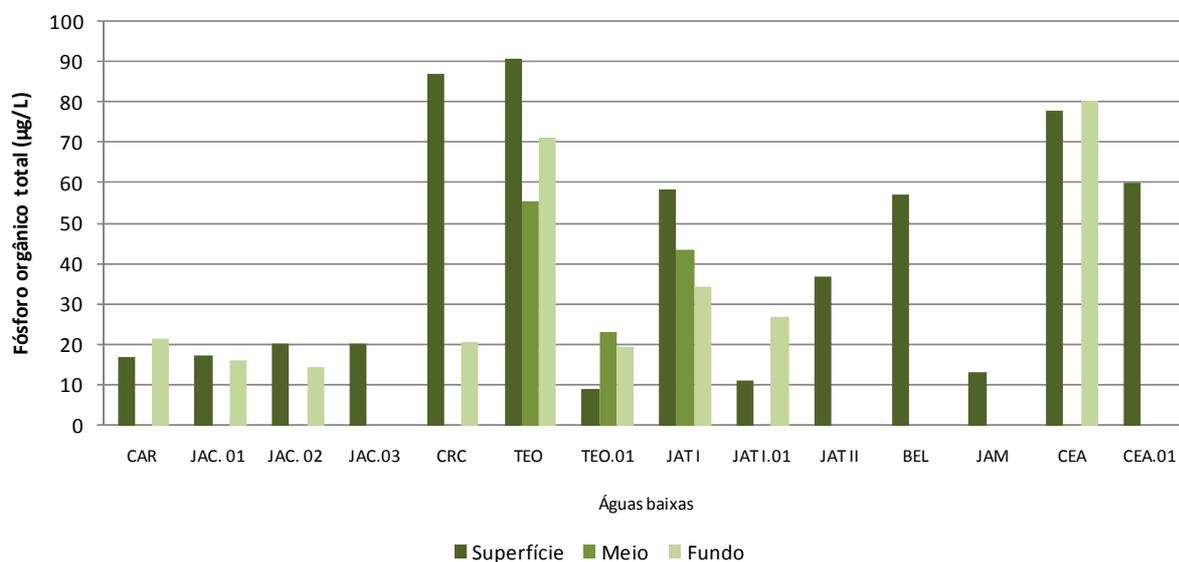


Figura 5.1-146 - Concentrações de fósforo orgânico total (POT) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

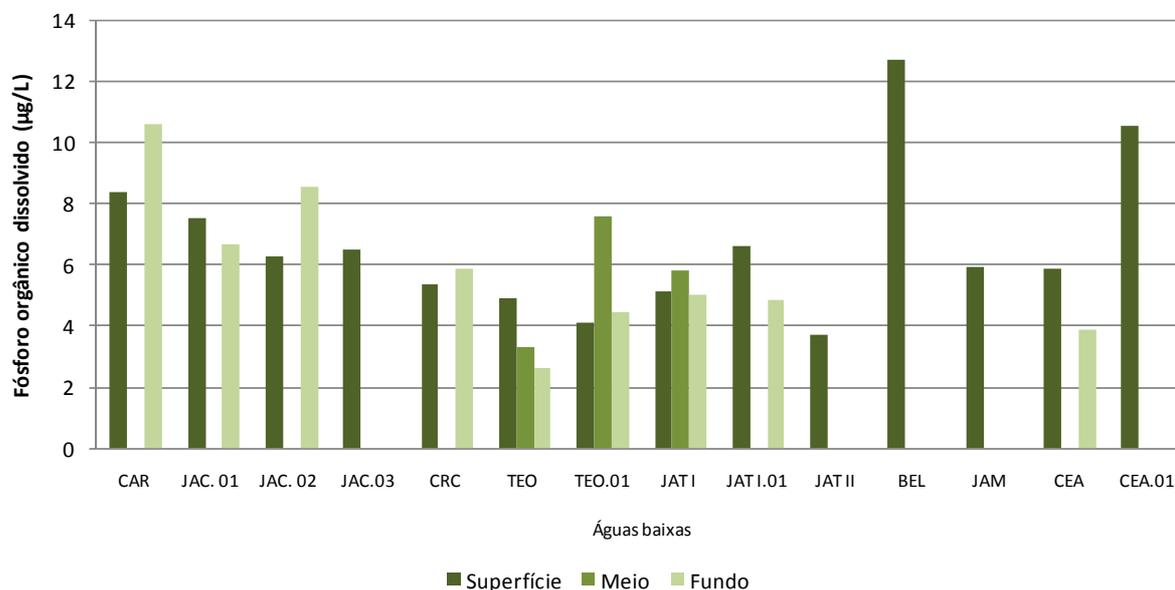


Figura 5.1-147 - Concentrações de fósforo orgânico dissolvido (POD) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos lagos e canais, o ortofosfato variou entre 9,8 µg/L (CUJ) e 21 µg/L (CC.01), com média de  $14 \pm 4$  µg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-148). O ortofosfato representou em média 27% do fósforo total, proporção maior à encontrada para o rio Madeira e semelhante que a encontrada para os tributários.

O fósforo total dissolvido apresentou concentração média de  $29 \pm 6,6$  µg/L (média  $\pm$  DP), variando entre 21 µg/L (CUJ e LC.01 superfície) e 38 µg/L (MIG) (Figura 5.1-149). A fração dissolvida foi em média 53% do fósforo total, estando o restante na fração particulada. O fósforo particulado variou entre 6,2 µg/L (LC.01 fundo) e 61 µg/L (CUJ), com média de  $25 \pm 20$  µg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-150).

As concentrações de fósforo total nos lagos e canais foram inferiores às observadas para o rio Madeira, e semelhantes às observadas para os tributários. A concentração média foi de  $54 \pm 25$  µg/L (média  $\pm$  DP), com os valores oscilando entre 29 µg/L (LC.01 superfície) e 99 µg/L (MIG) (Figura 5.1-151).

Em relação à parcela orgânica, o fósforo orgânico total apresentou concentração média de  $39 \pm 22$   $\mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP), oscilando entre 17  $\mu\text{g/L}$  (LC.01 superfície) e 80  $\mu\text{g/L}$  (MIG) (Figura 5.1-152). O fósforo orgânico dissolvido variou entre 9,5  $\mu\text{g/L}$  (LC.01 superfície) e 20,3  $\mu\text{g/L}$  (LC.02), com média de  $14 \pm 3,8$   $\mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-153).

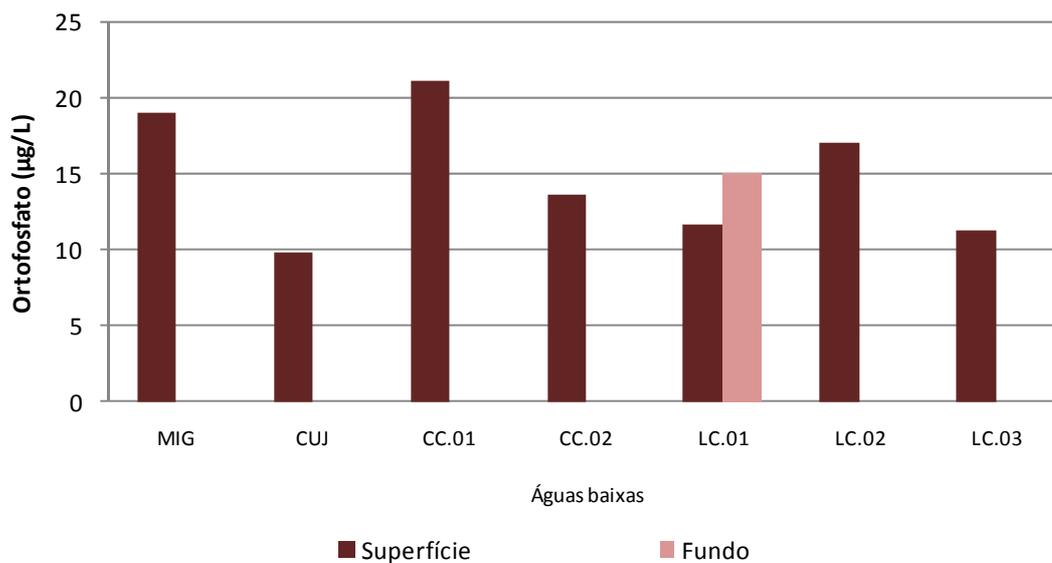


Figura 5.1-148 - Concentrações de ortofosfato nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

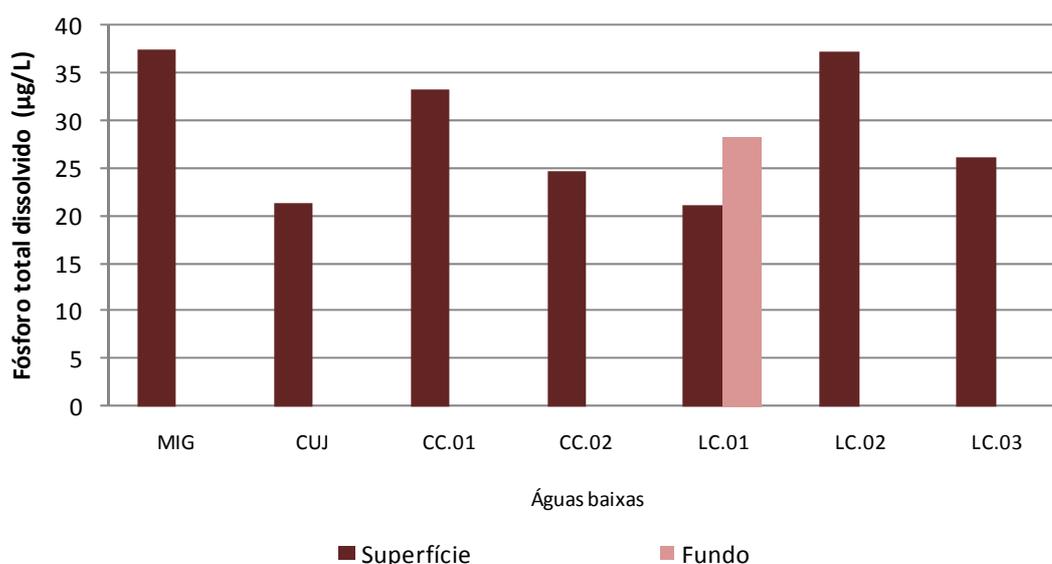


Figura 5.1-149 - Concentrações de fósforo total dissolvido (PTD) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

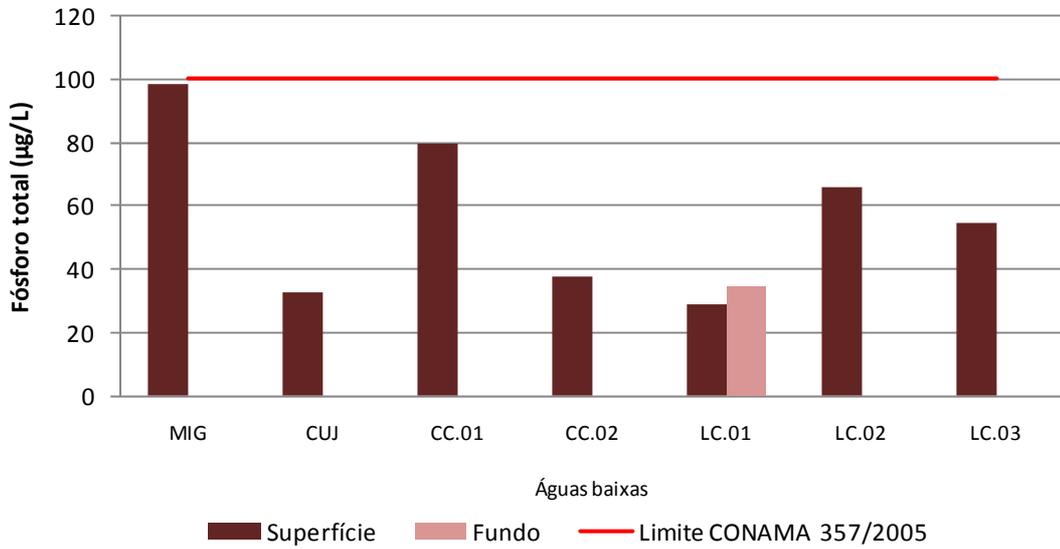


Figura 5.1-150 - Concentrações de fósforo total (PT) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

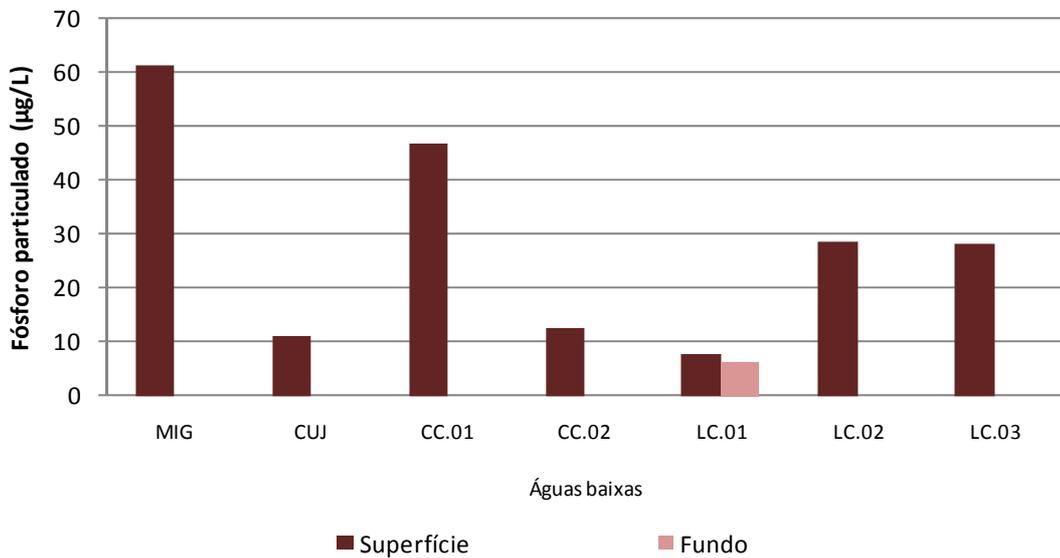


Figura 5.1-151 - Concentrações de fósforo particulado (PP) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

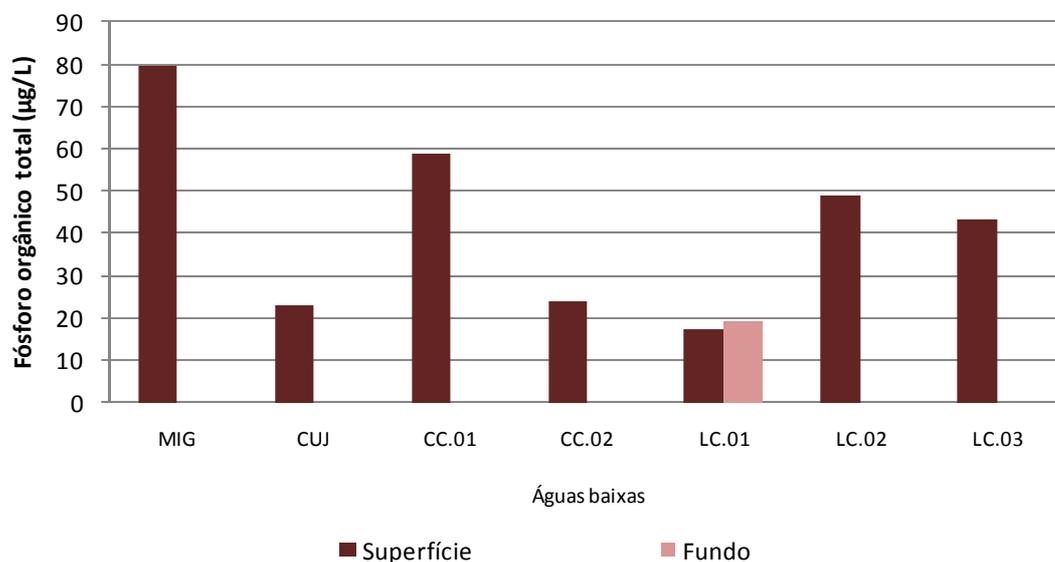


Figura 5.1-152 - Concentrações de fósforo orgânico total (POT) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

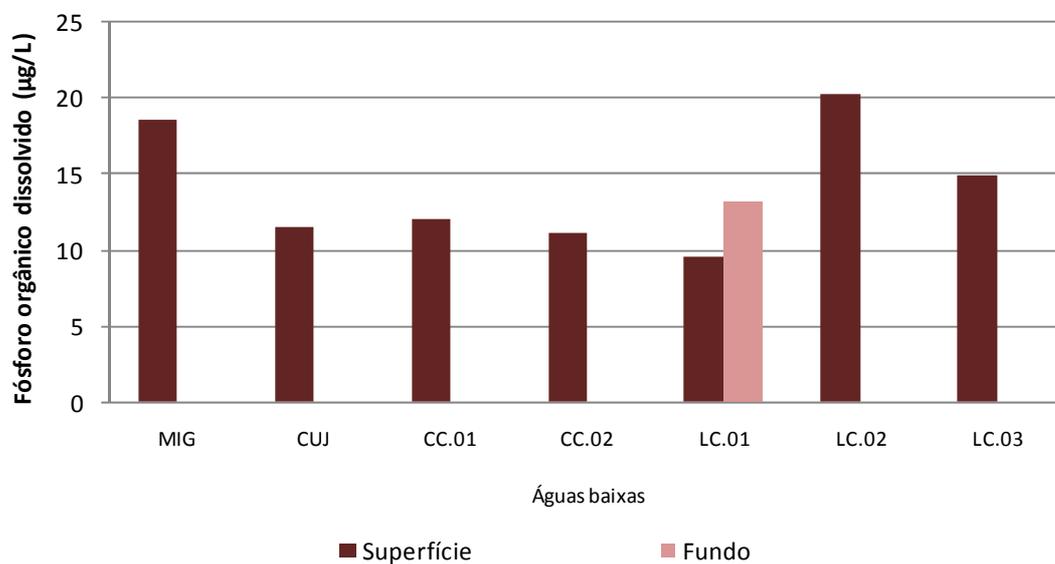


Figura 5.1-153 - Concentrações de fósforo orgânico dissolvido (POD) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

No rio Madeira, todas as estações amostradas, com exceção de JUS.01 superfície, apresentaram concentrações de fósforo total superiores ao limite de 100 ug/L estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2. Esta é uma característica natural do rio Madeira, que é um rio de águas brancas e, por esta razão, possui altas concentrações de fósforo (McClain and Naiman, 2008). Algumas estações dos tributários (CRC e TEO superfície e CEA fundo) também não respeitaram o limite de 100 ug/L. Já as estações dos lagos e canais, todas estiveram abaixo do limite supracitado.

### 5.1.7.3 - Conteúdo nutricional: Silicatos reativos

A sílica é um nutriente importante para alguns organismos aquáticos, mais notadamente para as algas diatomáceas (Wetzel, 2001). A porção reativa da sílica se refere, em limnologia, à porção assimilável pelos organismos.

No rio Madeira, a concentração de silicatos teve baixa variação espacial (**Figura 5.1-154**). Essas concentrações variaram entre 4,1 mg/L (MON.02 fundo) e 5,7 mg/L (MON.03 superfície), com valor médio de  $4,9 \pm 0,4$  mg/L (média  $\pm$  DP). Os resultados de silicatos encontrados no presente estudo foram semelhantes aos apresentados no EIA, que relata variação entre 3,6 e 7,4 mg/L.

As concentrações das diferentes formas de silicatos reativos registraram, em geral, pouca variação espacial e vertical, o que corrobora o fato de que mesmo com a criação do reservatório não houveram modificações nas concentrações de sílica no rio Madeira.

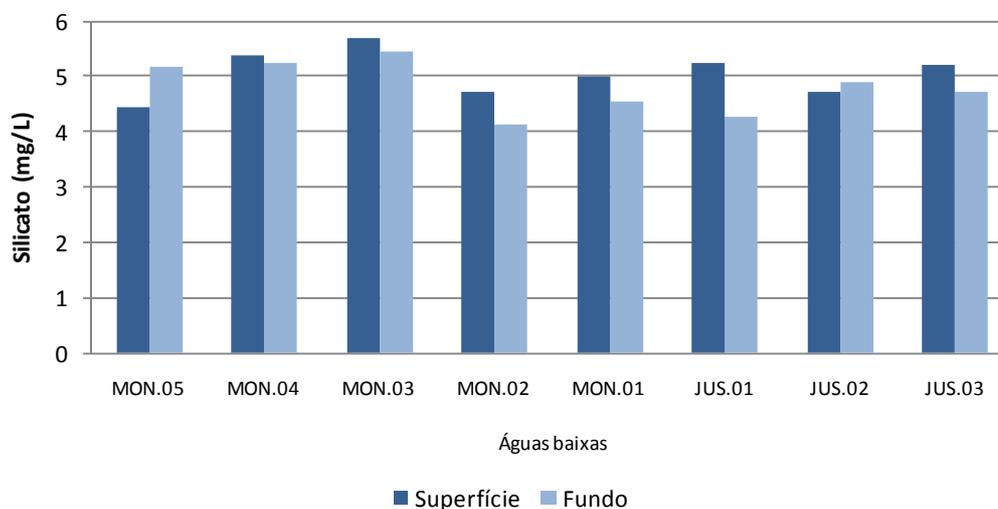


Figura 5.1-154 - Concentrações de silicatos reativos no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos rios tributários, as concentrações oscilaram de 1,9 (JAC.02 superfície) a 5,8 mg/L (CEA superfície) (Figura 5.1-155), com média de  $4,3 \pm 1,2$  mg/L (média  $\pm$  DP).

As maiores concentrações foram observadas nas estações CAR, CRC, TEO, TEO.01, JAT I, JATI.01, CEA e CEA.01, que apresentam grande influência do rio Madeira. Essas estações estão situadas em braços do recém formado reservatório e boa parte da água que banha esses ambientes é oriunda do rio Madeira.

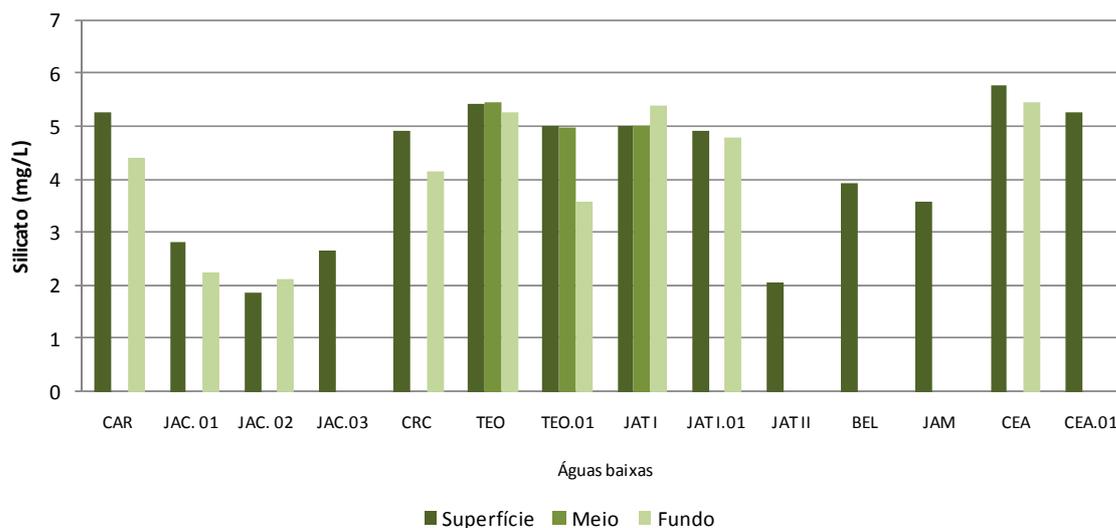


Figura 5.1-155 - Concentrações de silicatos reativos nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos lagos e canais, a concentração média de sílica foi de  $2,4 \pm 1,6$  mg/L (média  $\pm$  DP), variando entre 0,3 mg/L (LC.01 fundo) e 5,2 mg/L (CUJ) (Figura 5.1-156).

Como todos os lagos e canais estão situados a jusante do reservatório da UHE Santo Antônio, no trecho de 33 a 130 Km, e como o fluxo de água não foi alterado nessa região, não há grande efeito da usina nesses ambientes. Conseqüentemente, os valores de silicatos reativos mantiveram-se dentro do padrão observado para estes ambientes.

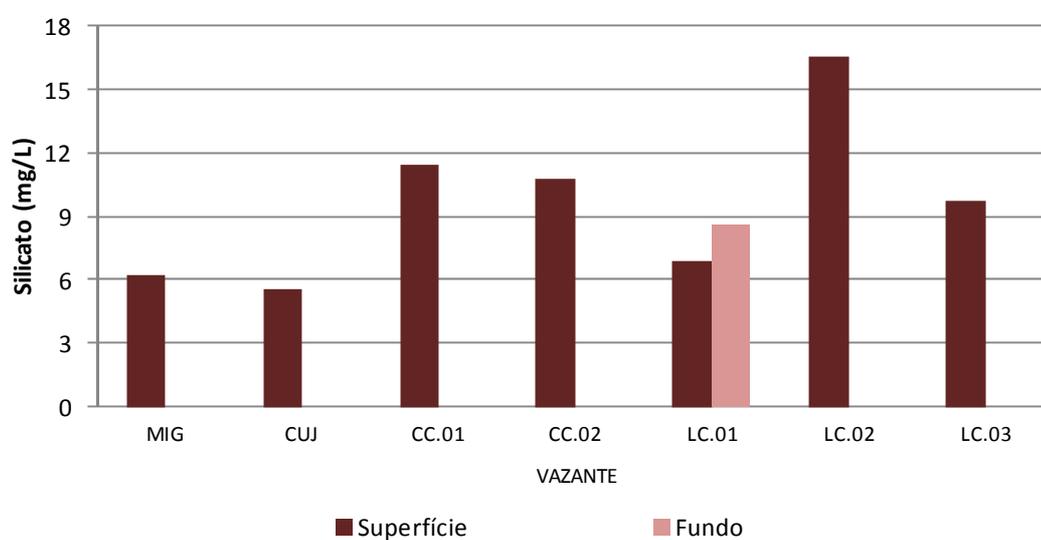


Figura 5.1-156 - Concentrações de silicatos reativos nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

## 5.1.8 - Químicas V

### 5.1.8.1 - Óleos e graxas

Os resultados de óleos e graxas nas amostras de sub-superfície do rio Madeira, tributários e lagos e canais foram inferiores ao limite de detecção do método analítico (1,0 mg/L) em todas as estações amostradas.

### 5.1.8.2 - Ferro

No rio Madeira o ferro total apresentou média de  $4531 \pm 1765 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP), com as concentrações oscilando entre  $2800 \mu\text{g/L}$  (JUS.01 superfície) e  $8900 \mu\text{g/L}$  (MON.05 fundo) (Figura 5.1-157). Em relação à fração dissolvida, os valores variaram entre  $33,4 \mu\text{g/L}$  (MON.05 fundo) e  $165,2 \mu\text{g/L}$  (MON.03 fundo), com média de  $121 \pm 36,6 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-158). Os elevados teores de ferro dissolvido no rio Madeira são de origem natural, uma vez que a principal fonte de ferro para ambientes aquáticos continentais é o intemperismo e a erosão de rochas da bacia de drenagem (Esteves, 1998).

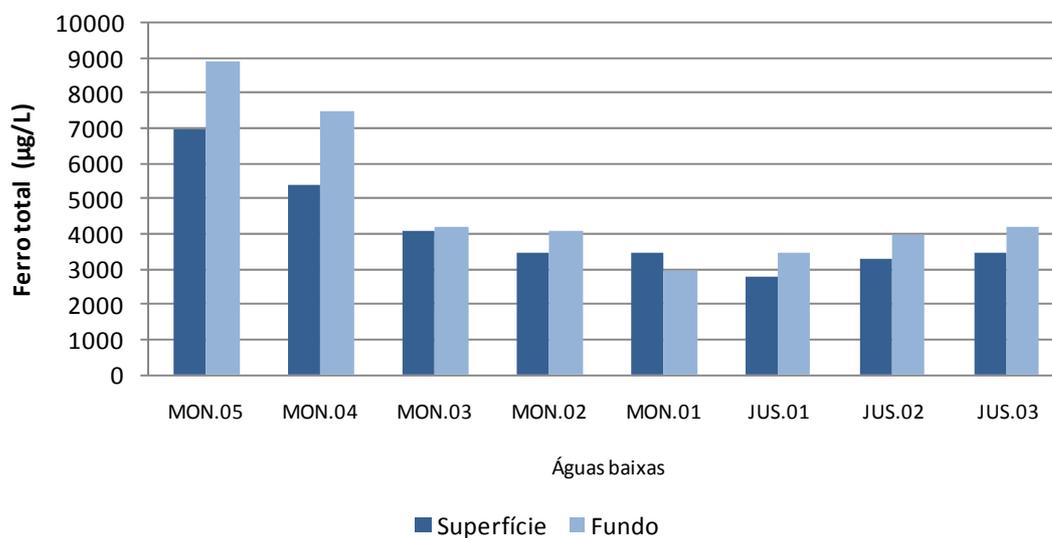


Figura 5.1-157 - - Concentrações de ferro total no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

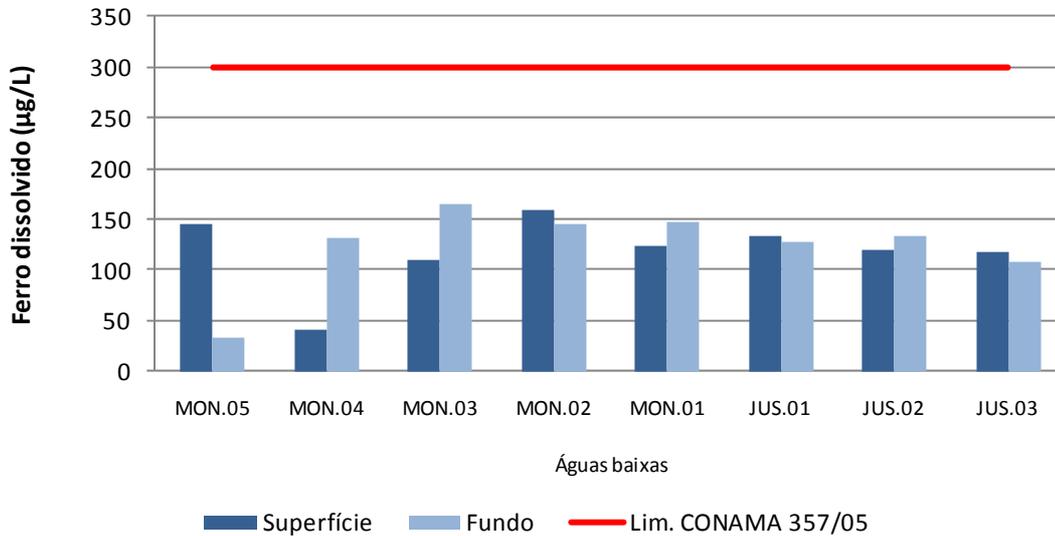


Figura 5.1-158 - Concentrações de ferro dissolvido no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

O ferro total foi mais baixo nos tributários, que tiveram média de  $2251 \pm 1649 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP). As concentrações variaram de  $425,3 \mu\text{g/L}$  (TEO.01) a  $6200 \mu\text{g/L}$  (CEA.01) (Figura 5.1-159). A variação espacial foi elevada, pois são ambientes diferentes e desconectados. As concentrações de ferro dissolvido oscilaram entre  $96,3 \mu\text{g/L}$  (TEO) e  $977 \mu\text{g/L}$  (CEA.01), com valor médio de  $330 \pm 295 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-160).

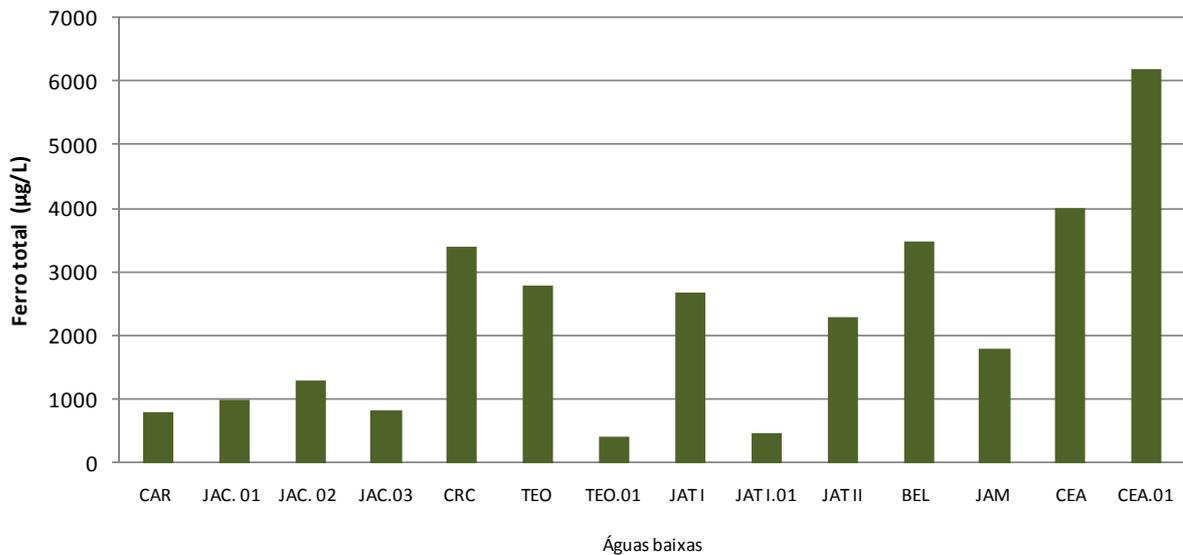


Figura 5.1-159 - Concentrações de ferro total nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

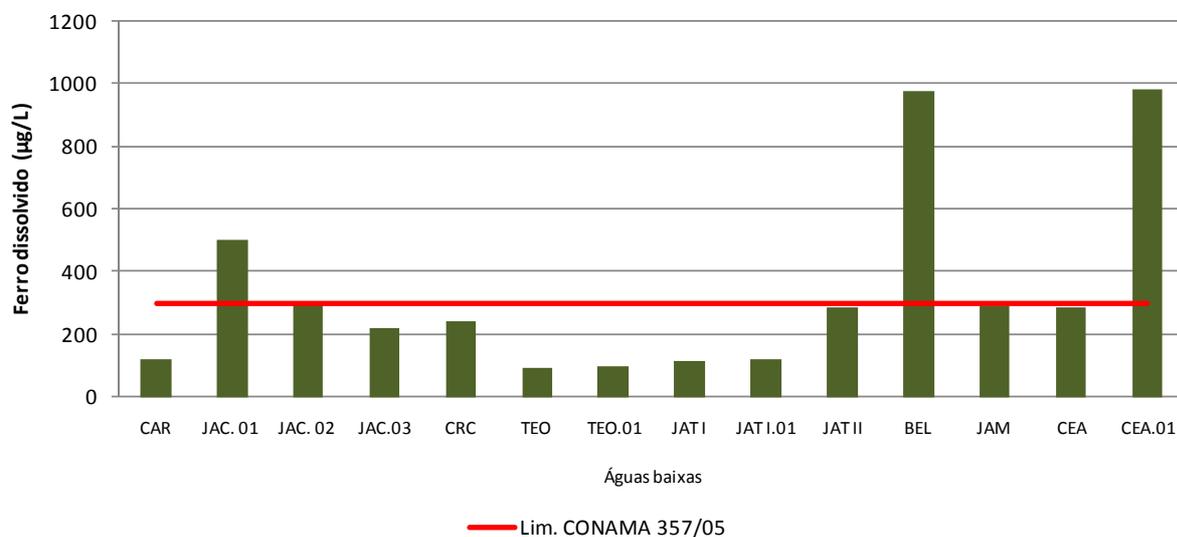


Figura 5.1-160 - Concentrações de ferro dissolvido nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos lagos e canais, as concentrações médias de ferro total variaram entre 463,9 µg/L (CUJ) e 4200 µg/L (MIG), com média de  $1894 \pm 1429$  µg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-161). O ferro dissolvido teve uma média de  $188 \pm 112$  µg/L (média  $\pm$  DP), as concentrações oscilaram entre 42,2 µg/L (CUJ) e 400,8 µg/L (LC.01 superfície) (Figura 5.1-162).

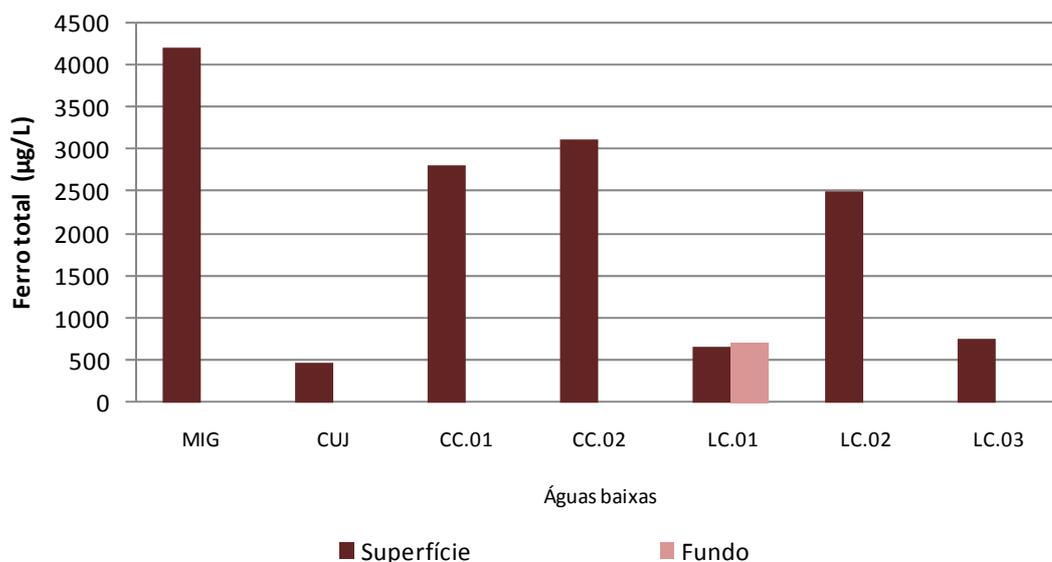


Figura 5.1-161 - Concentrações de ferro total nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

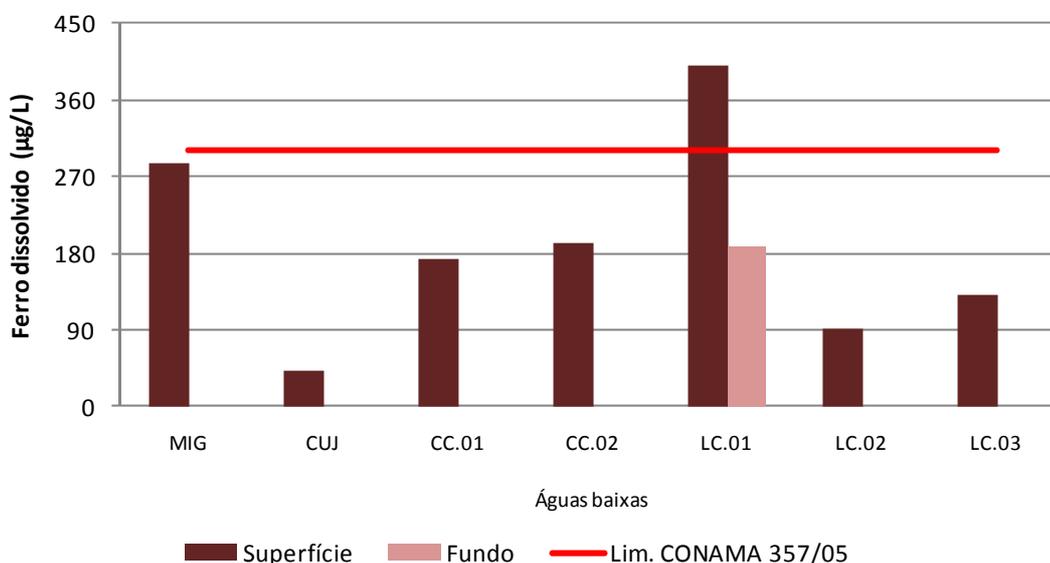


Figura 5.1-162 - Concentrações de ferro dissolvido nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

No rio Madeira todas as estações atenderam ao limite de 300 µg/L de ferro dissolvido previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005. Nos tributários as estações JAC.01, BEL e CEA.01 e a estação LC.01 (superfície) nos lagos e canais registraram valores acima do limite supracitado. O rio Madeira drena terrenos com formação geológica muito recente, onde o intemperismo é intenso. Desta forma, o intemperismo das rochas da bacia de drenagem é o fator responsável pelas altas concentrações de ferro na bacia de contribuição do rio Madeira.

## 5.1.9 - Químicas VI

### 5.1.9.1 - Elementos-traço

Alguns elementos-traço, como o manganês, o cobre, o zinco e o cobalto, tomam parte de vários processos no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Em contrapartida, outros elementos, como mercúrio, chumbo, níquel, cádmio, cromo e estanho, não têm função biológica conhecida, embora sejam tóxicos a uma vasta gama de organismos (Esteves, 1998). Apesar disso, mesmo os elementos-traço importantes para processos metabólicos podem ser tóxicos se encontrados em altas concentrações. As concentrações de elementos-traços são influenciadas pelo intemperismo de rochas e erosão do solo da bacia de drenagem. Rios amazônicos que drenam regiões andinas, geologicamente jovens, são responsáveis por altas concentrações de elementos-traço. Além

disso, as atividades humanas, a destacar as atividades industriais, são responsáveis pelo aporte de elementos-traço em ecossistemas aquáticos (Esteves, 1998).

No rio Madeira, o alumínio (Al) apresentou média de  $61 \pm 28$  µg/L (média  $\pm$  DP), com as concentrações oscilando entre 6,2 µg/L (MON.05 fundo) e 96 µg/L (MON.02 superfície) (**Figura 5.1-163**). As concentrações de bário (Ba) variaram de 46,6 µg/L (JUS.01 superfície) a 77,5 µg/L (MON.05 superfície), com média de  $61 \pm 8,7$  µg/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-164**). Todas as estações amostradas tanto para o Al, como para o Ba, atenderam ao Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

Já as concentrações de cromo (Cr) apresentaram média de  $1,9 \pm 1,4$  µg/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-165**). Com valores oscilando entre 1,4 µg/L (JUS.01 superfície) e 4,8 µg/L (MON.05 fundo). A estação JUS.02 superfície esteve abaixo do limite de detecção. Todos os valores de Cr atenderam ao Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2, que estabelece um limite de 50 µg/L.

As concentrações de níquel tiveram média de  $3,4 \pm 2,0$  µg/L (média  $\pm$  DP), variando entre 1,5 µg/L (MON.03 fundo) e 6,4 µg/L (MON.05 fundo) (**Figura 5.1-166**). As estações MON.03 superfície, MON.02, MON.01, JUS.01, JUS.02 e JUS.03 superfície estiveram abaixo do limite de detecção. Todos os valores de Ni atenderam ao Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

A média dos valores de chumbo (Pb) foi de  $3,6 \pm 2,2$  µg/L (média  $\pm$  DP), valores que oscilaram de 1,3 µg/L (JUS.01 superfície) a 7,2 µg/L (MON.05 superfície) (**Figura 5.1-167**). As estações MON.02 e JUS.02 superfície estiveram abaixo do limite de detecção. Em todas as estações em que o chumbo foi detectado, as concentrações foram inferiores ao limite de 10 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2.

As concentrações de silício (Si) oscilaram entre 5730 µg/L (JUS.01 superfície) e 9250 µg/L (MON.05 superfície), com média de  $7498 \pm 945$  µg/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-168**). O zinco (Zn) apresentou média de  $141 \pm 92$  µg/L (média  $\pm$  DP), com os valores oscilando entre 81 µg/L (MON.03 superfície) e 456 µg/L (MON.04 fundo) (**Figura 5.1-169**). Todos os valores atenderam ao limite de 180 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2, exceto as estações MON.04 fundo MON.02 e JUS.02 superfície.

As concentrações de manganês (Mn) oscilaram entre 56 µg/L (JUS.01 superfície) e 231 µg/L (MON.05 fundo), com média de  $91 \pm 42$  µg/L (média ± DP) (Figura 5.1-170). A maior parte dos valores de Mn atenderam ao limite de 100 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2. As concentrações de cobalto, cobre, estanho, cádmio e o mercúrio tiveram concentrações abaixo do limite de detecção do método analítico durante o período de estudo.

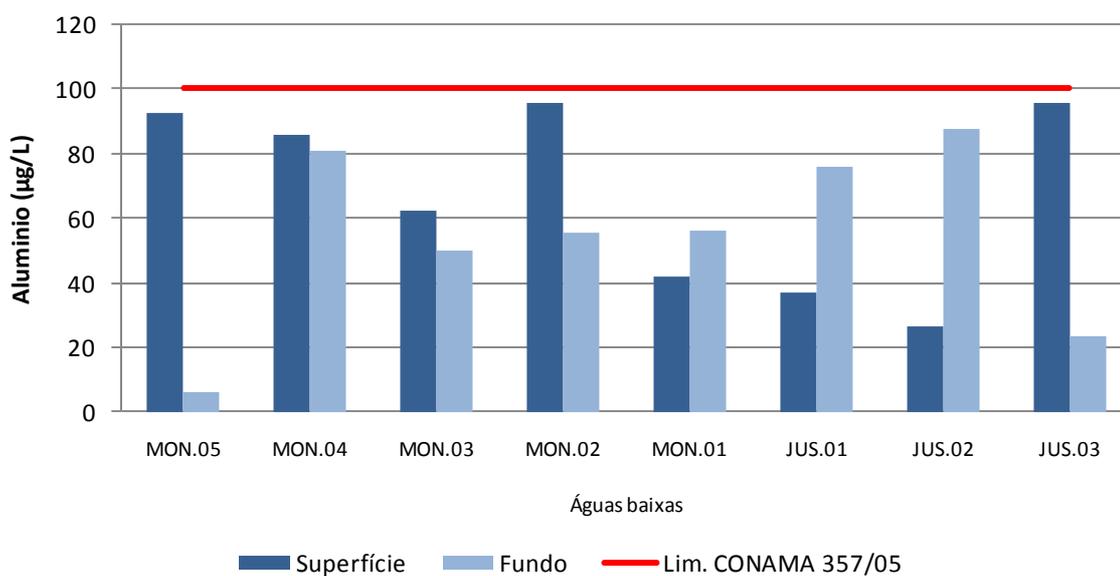


Figura 5.1-163 - Concentrações de alumínio (Al) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

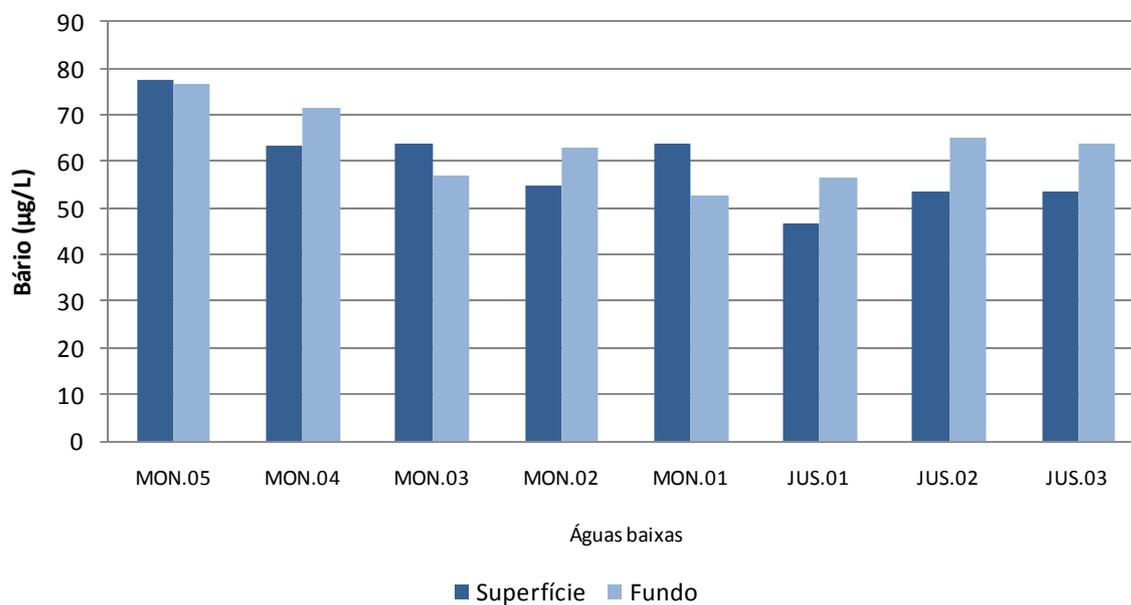


Figura 5.1-164 - Concentrações de bário (Ba) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

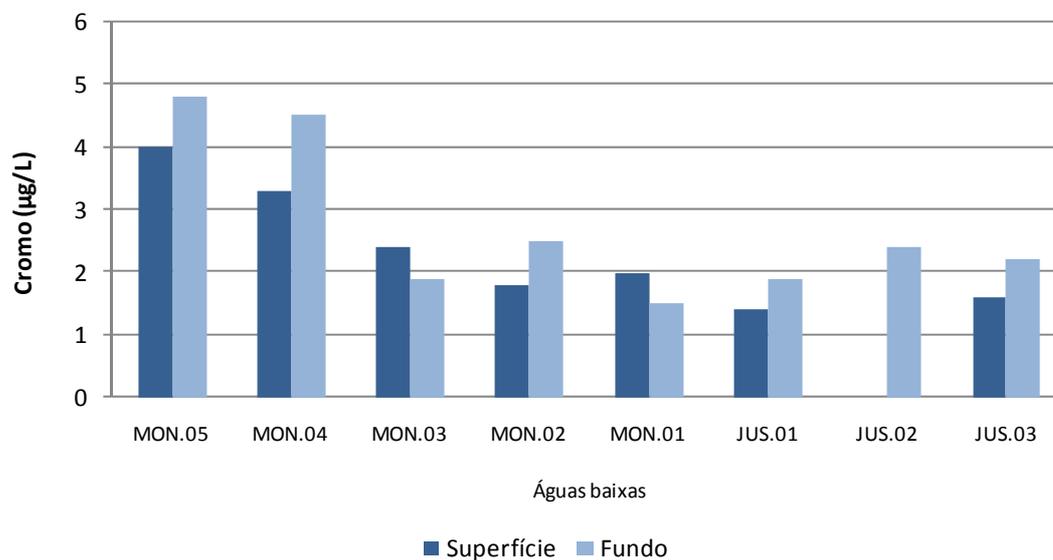


Figura 5.1-165 - Concentrações de cromo (Cr) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

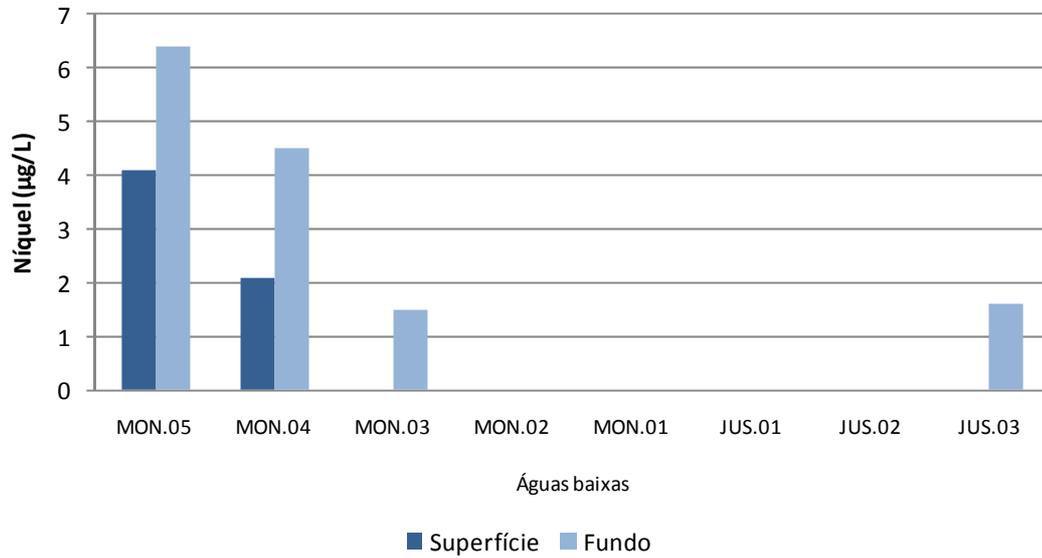


Figura 5.1-166 - Concentrações de níquel (Ni) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

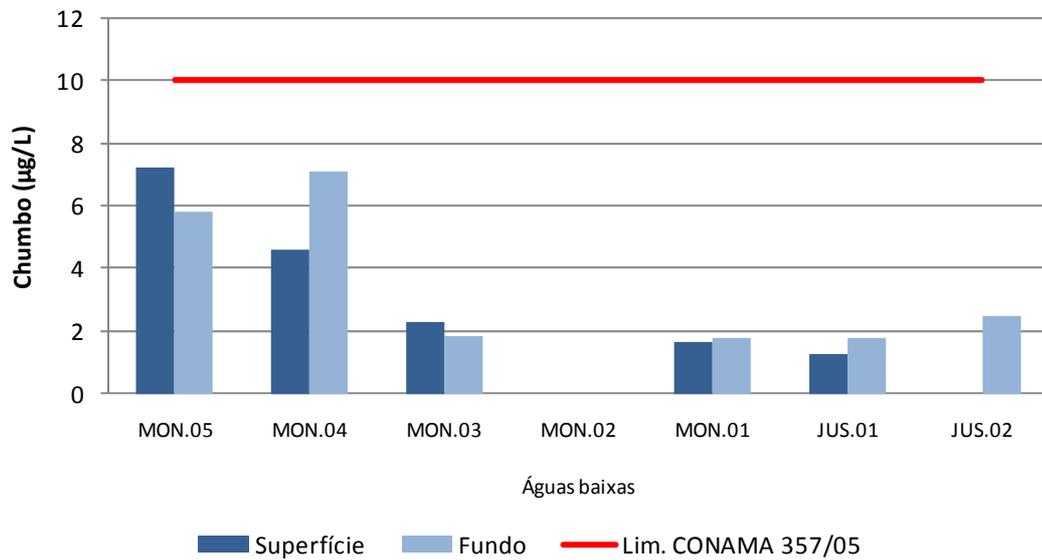


Figura 5.1-167 - Concentrações de chumbo (Pb) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

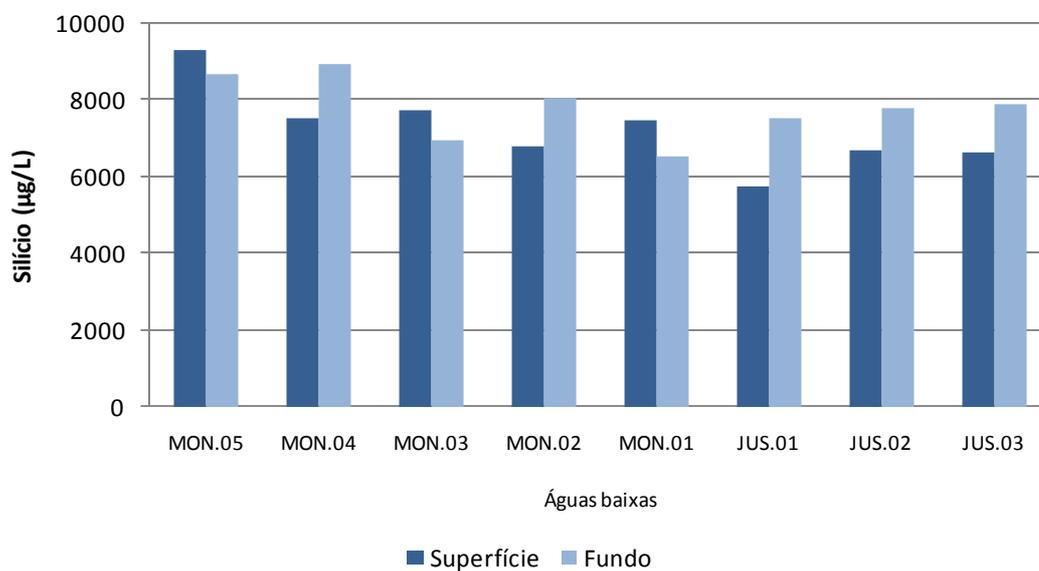


Figura 5.1-168 - Concentrações de silício (Si) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

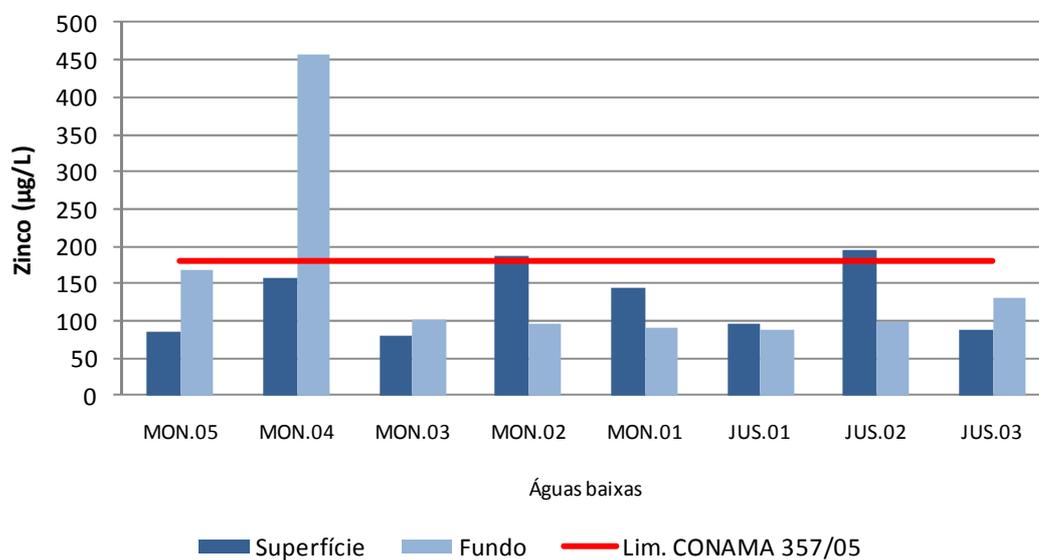


Figura 5.1-169 - Concentrações de zinco (Zn) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

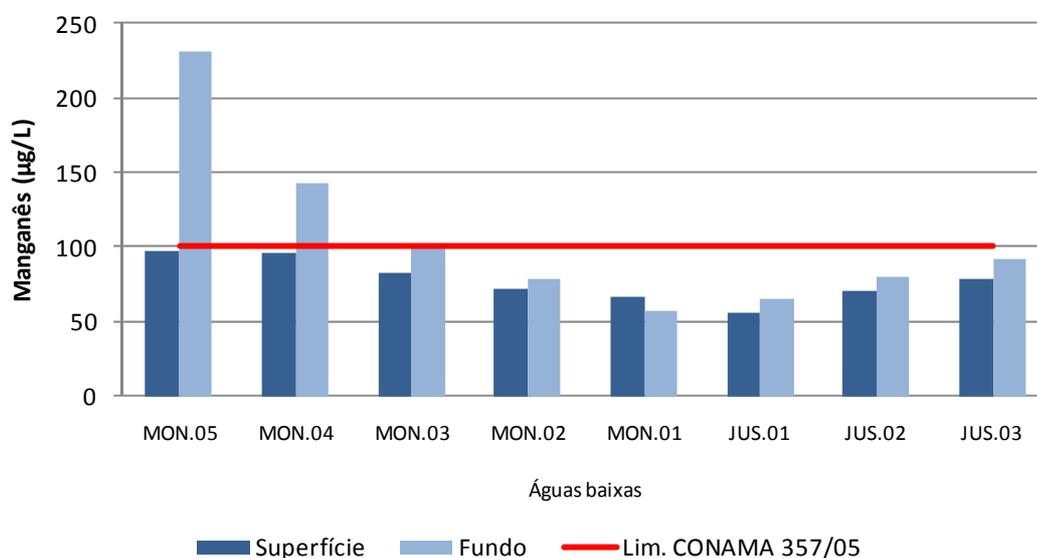


Figura 5.1-170 - Concentrações de manganês (Mn) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

As concentrações de alumínio (Al) nos rios tributários oscilaram entre 8,7 µg/L (CAR) e 207 µg/L (CEA.01), com média de  $42 \pm 27,4$  µg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-171). Somente a estação CEA.01 não atendeu ao limite de 100 µg/L previsto pelo Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2. Já o bário (Ba) variou entre 21,4 µg/L (JAC.01) e 67,3 µg/L (CEA), com média de  $40 \pm 16$  µg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-172).

O chumbo (Pb) também apresentou a maior parte das concentrações abaixo do limite de detecção, com exceção das estações JAT I (1,7 µg/L), CEA (1,5 µg/L) e CEA.01 (5,4 µg/L). Todas estiveram ao limite de 10 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2.

As concentrações de silício (Si) oscilaram entre 3960 µg/L (JAC.03) e 9470 µg/L (CEA.01), com média global de  $5918 \pm 1678$  µg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-173). O zinco (Zn) apresentou valor médio de  $108 \pm 44$  µg/L (média  $\pm$  DP), com as concentrações oscilando entre 39 µg/L (CAR) e 177 µg/L (JAC.03) (Figura 5.1-174). Todos os valores atenderam ao limite de 180 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

O manganês apresentou uma média de  $70 \pm 69 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP), com os valores oscilando entre  $7,8 \mu\text{g/L}$  (TEO.01) e  $292 \mu\text{g/L}$  (CEA.01) (Figura 5.1-175). Todos os valores de manganês atenderam ao limite de  $100 \mu\text{g/L}$  previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2, à exceção da estação CEA.01.

As concentrações de cromo, níquel, cobre, cobalto, mercúrio, cádmio e estanho foram inferiores ao limite de detecção do método analítico.

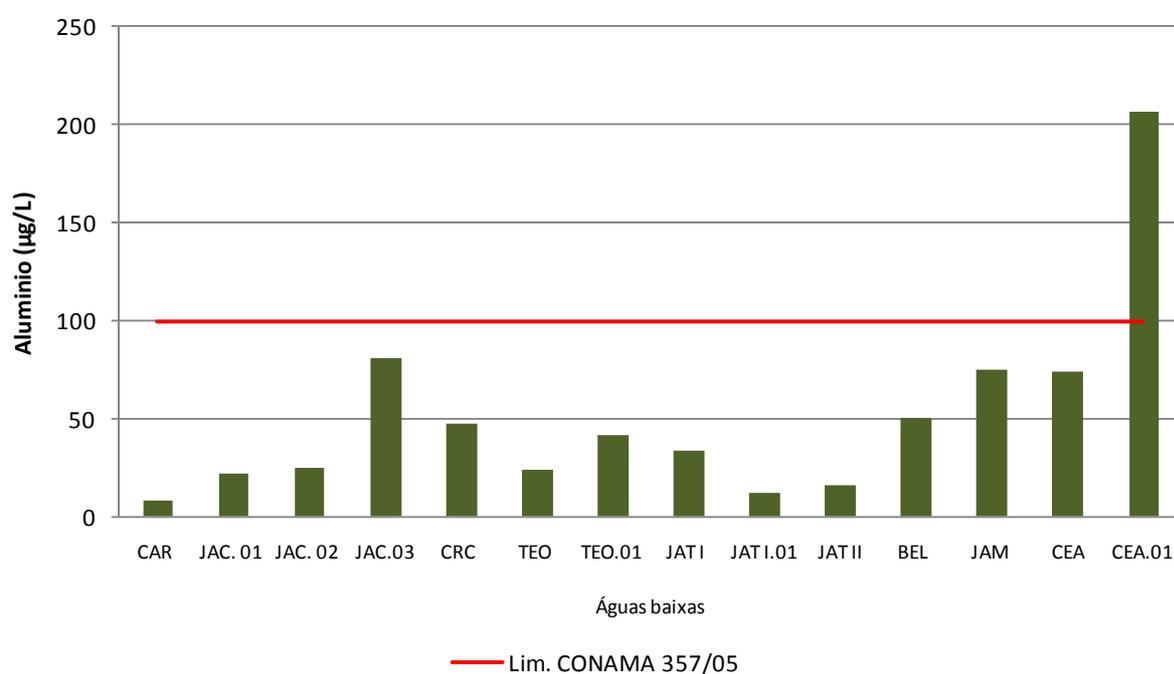


Figura 5.1-171 - Concentrações de alumínio (Al) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

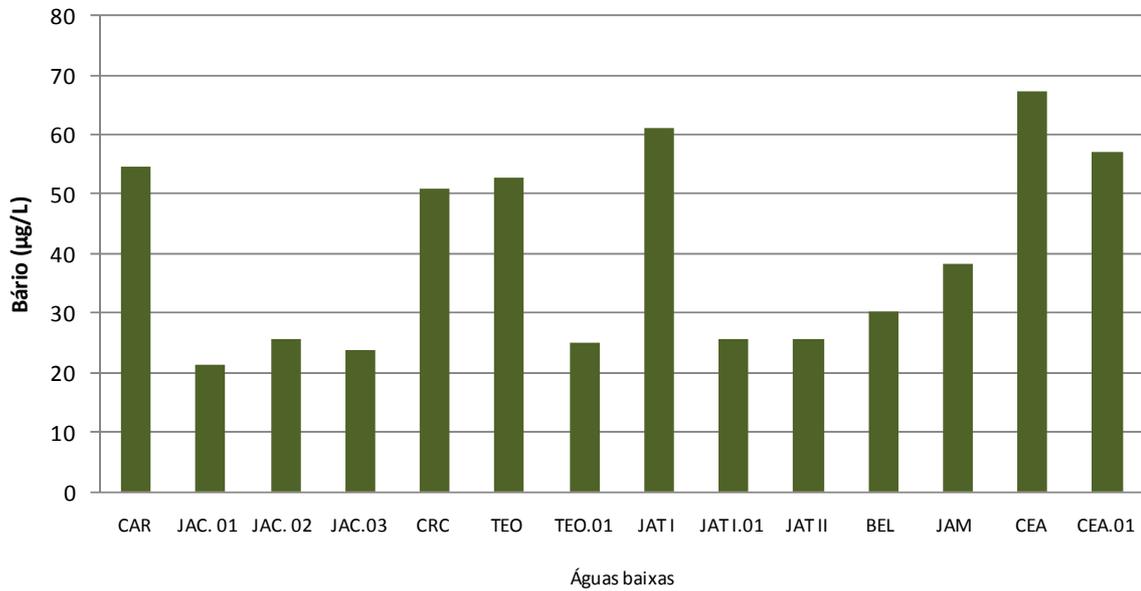


Figura 5.1-172 - Concentrações de bários (Ba) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

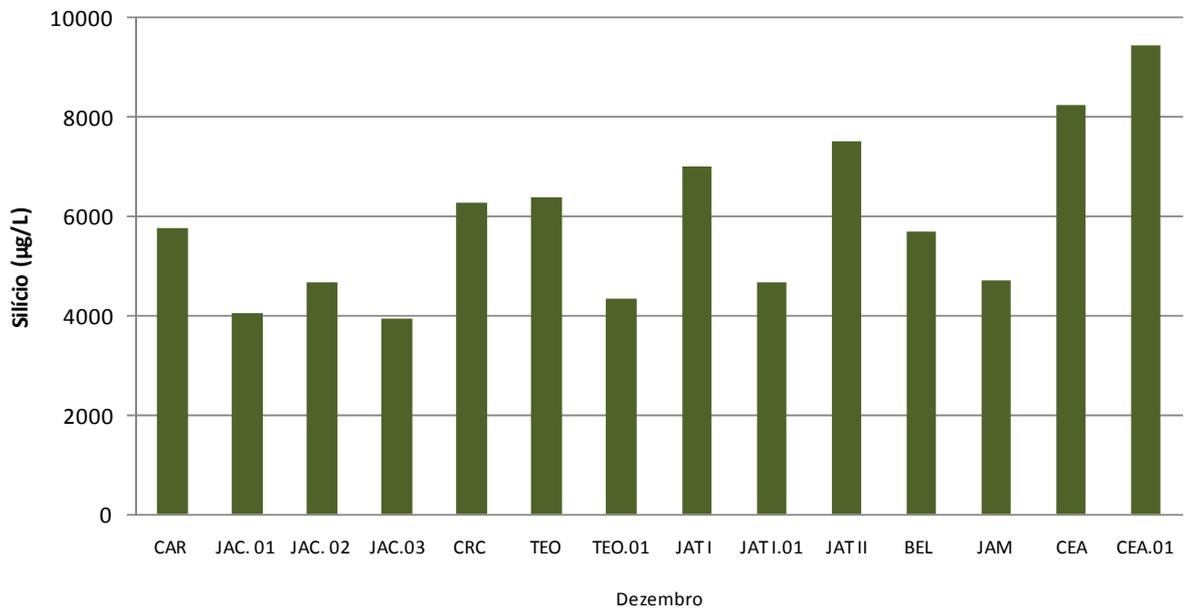


Figura 5.1-173 - Concentrações de silício (Si) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

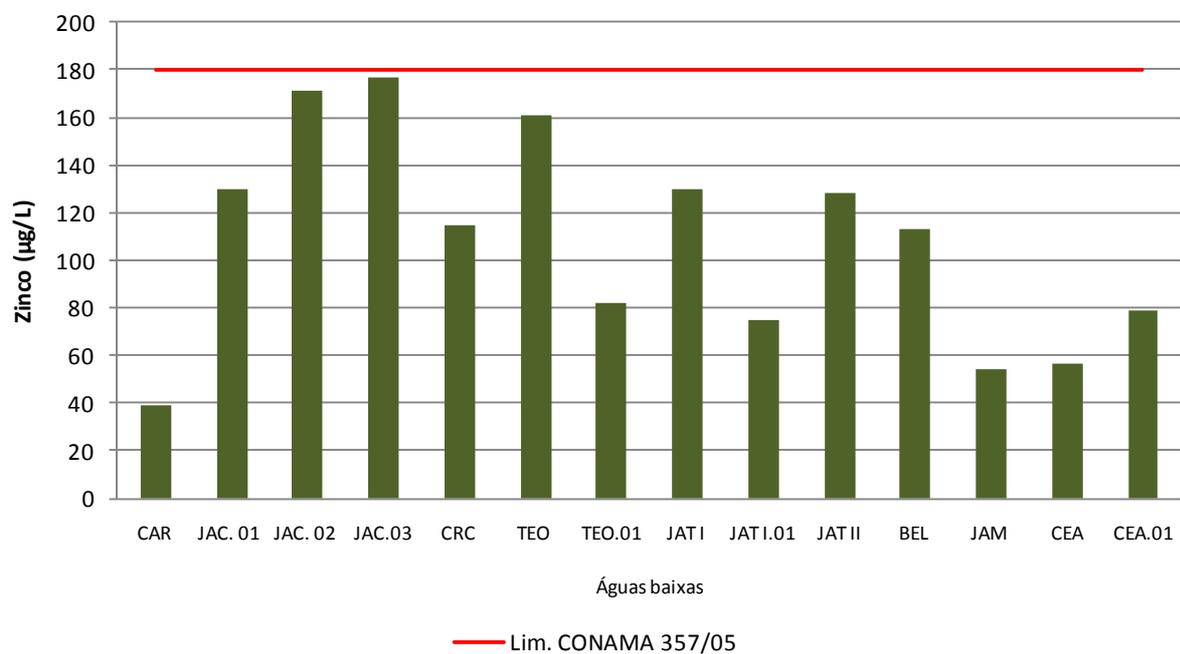


Figura 5.1-174 - Concentrações de zinco (Zn) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

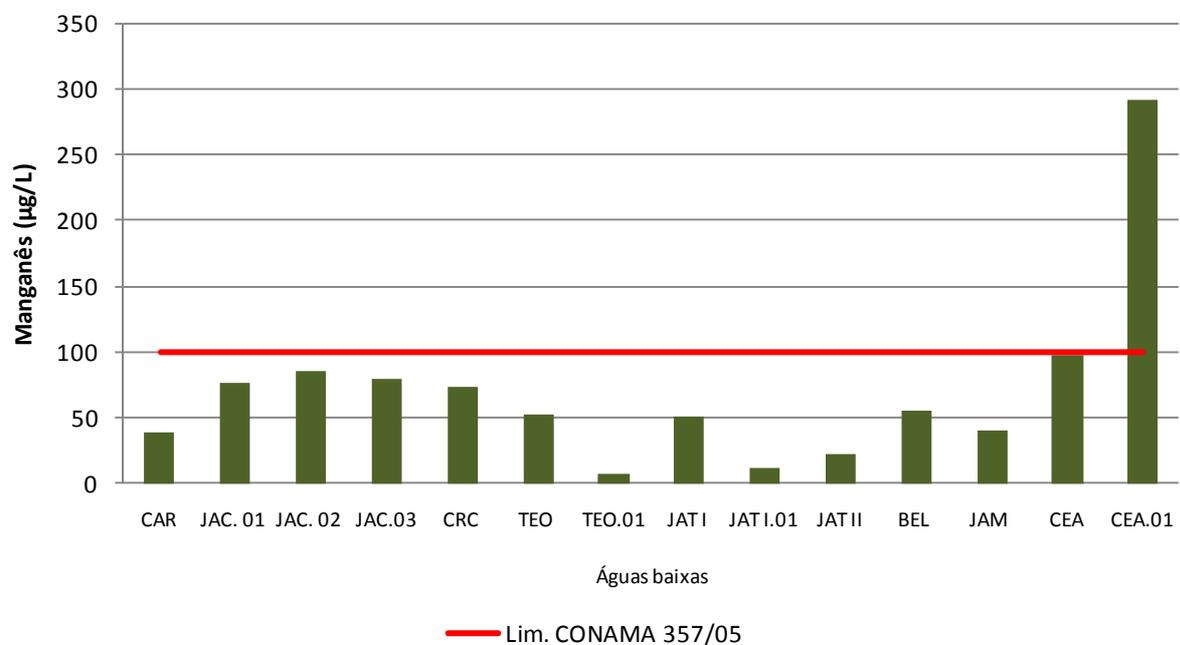


Figura 5.1-175 - Concentrações de manganês (Mn) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

As concentrações de alumínio (Al) nos lagos e canais oscilaram entre 2,2 µg/L (LC.03) e 127 µg/L (LC.02), com média de  $48,9 \pm 43$  µg/L (média ± DP) (Figura 5.1-176). Somente a estação LC.02 não atendeu ao limite de 100 µg/L previsto pelo Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2. O bário (Ba) apresentou concentrações que variaram entre 24,7 µg/L (CC.02) e 235,5 µg/L (LC.02), com média de  $54 \pm 73$  µg/L (média ± DP) (Figura 5.1-177). O alto valor encontrado na estação LC.02 foi responsável por elevar a média dos lagos e canais. A maior parte das estações apresentou baixos valores, visto que a mediana foi de 28 µg/L.

O silício (Si) apresentou média global de  $7290 \pm 1202$  µg/L (média ± DP), com os valores oscilando entre 5350 µg/L (CUJ) e 9440 µg/L (MIG) (Figura 5.1-178). O Zinco (Zn) apresentou as concentrações que oscilaram entre 29 µg/L (LC.03) e 892 µg/L (LC.02), com média de  $173 \pm 291$  µg/L (média ± DP) (Figura 5.1-179). Todos os valores de zinco atenderam ao limite de 180 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2, à exceção da estação LC.02. O alto valor encontrado na estação LC.02 foi responsável por elevar a média dos lagos e canais. A maior parte das estações apresentou baixos valores, visto que a mediana foi de 79 µg/L.

O manganês (Mn) apresentou as concentrações que oscilaram entre 16,7 µg/L (LC.01 superfície) e 666,5 µg/L (LC.02), com média de  $123 \pm 108,0$  µg/L (média ± DP) (Figura 5.1-180). A estação LC.02 não atenderam ao limite de 180 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

As concentrações de cádmio, cromo, cobre, níquel, cobalto, estanho e mercúrio foram inferiores ao limite de detecção do método no período estudado. O chumbo só foi detectados nas estações CC.02 (1,6 µg/L) e LC.01 fundo (1,8 µg/L).

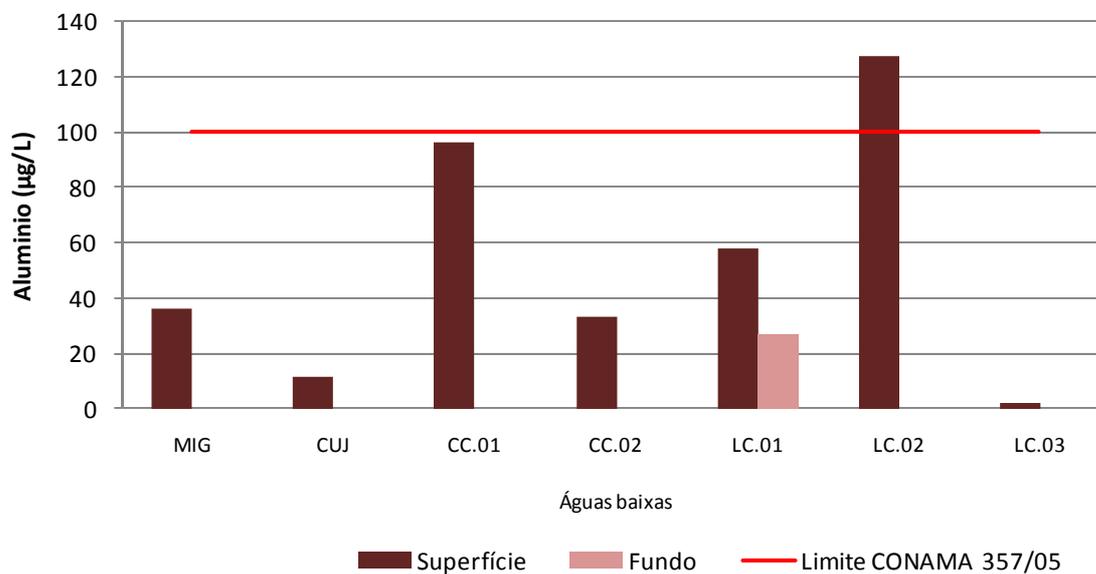


Figura 5.1-176 - Concentrações de alumínio (Al) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

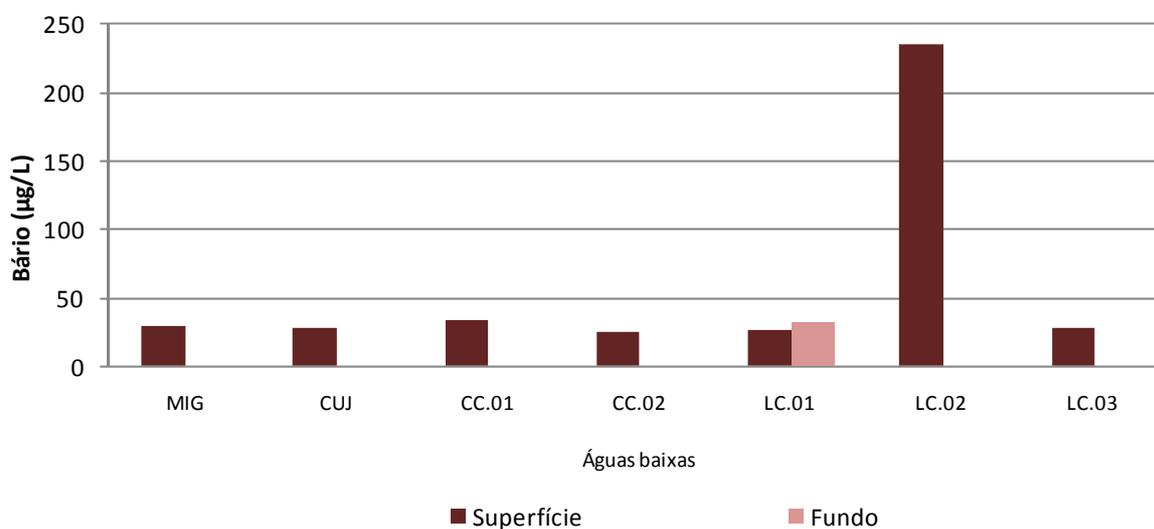


Figura 5.1-177 - Concentrações de bário (Ba) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

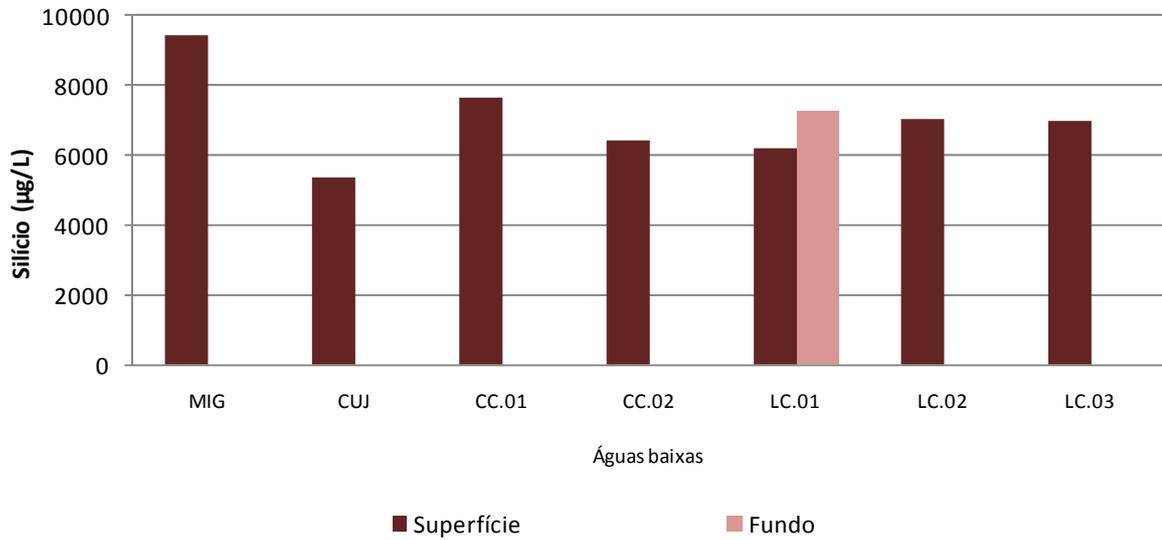


Figura 5.1-178 - - Concentrações de silício (Si) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

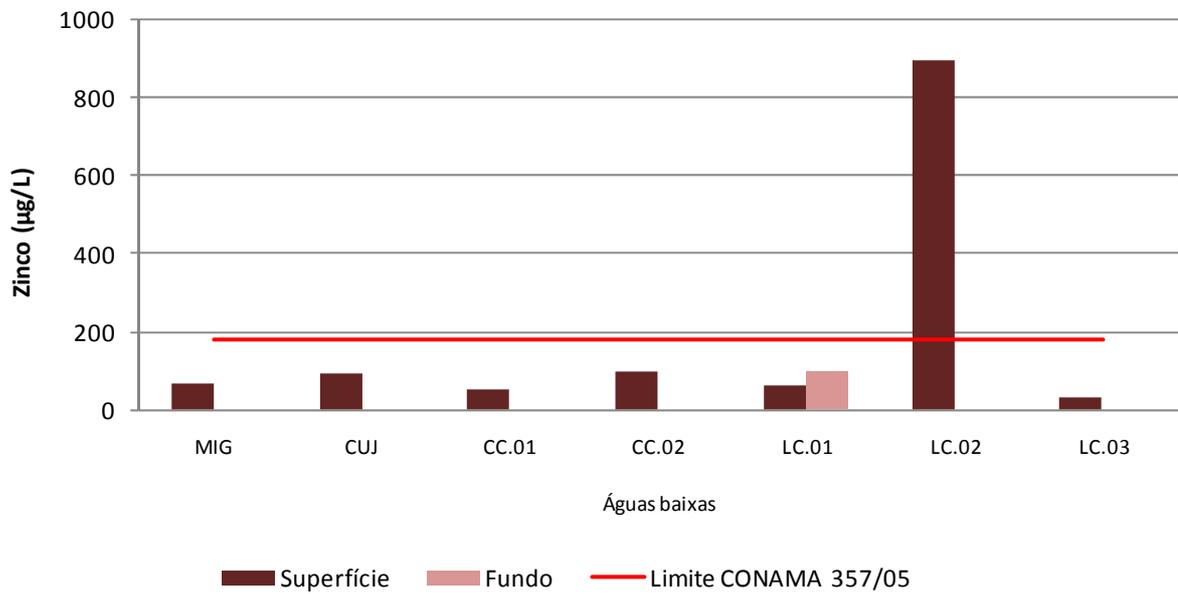


Figura 5.1-179 - Concentrações de zinco (Zn) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

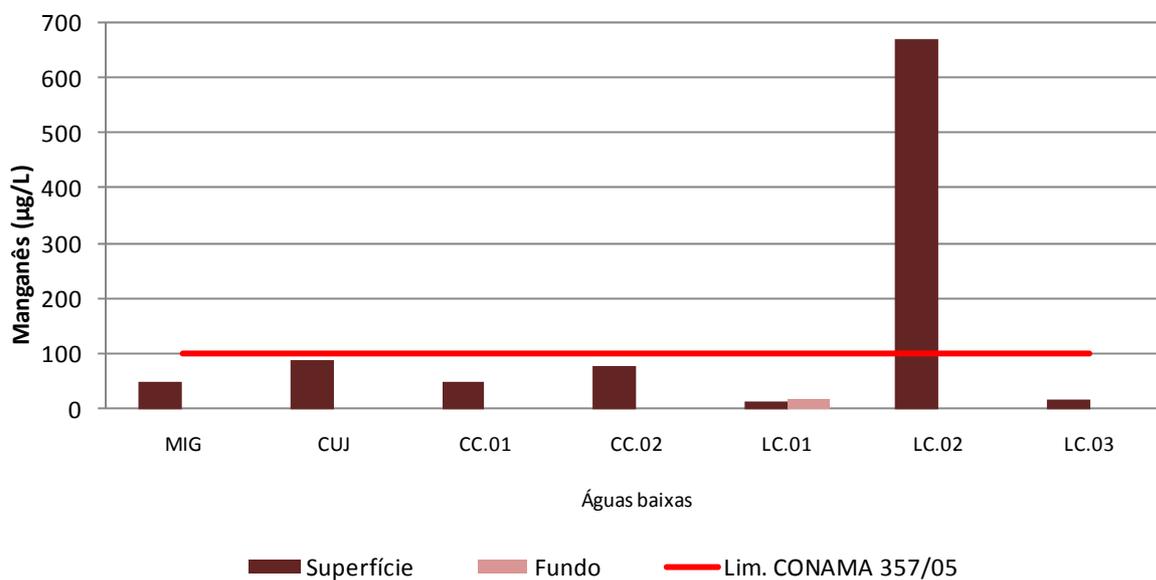


Figura 5.1-180 - Concentrações de manganês (Mn) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

## 5.1.10 - Biológicas

### 5.1.10.1 - Coliformes totais e Escherichia coli

Os coliformes totais no rio Madeira apresentaram média de  $495 \pm 219$  NMP/100 ml (média  $\pm$  DP). Os valores oscilaram entre 261 NMP/100 ml (MON.03) e 921 NMP/100 ml (MON.05) (Figura 5.1-181). Em relação à *E. coli*, a média foi de  $14,6 \pm 12,3$  NMP/100 ml (média  $\pm$  DP), variando de 3,1 NMP/100 ml (MON.02) a 38 NMP/100 ml (JUS.03) (Figura 5.1-182).

Os índices de *E. coli* foram sempre muito baixos e atenderam ao Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 em todos os casos. Além disso, cabe ser salientado que a grande maioria da microbiota do rio Madeira foi composta por microorganismos de vida livre, em detrimento aos microorganismos que habitam o intestino de animais de sangue quente.

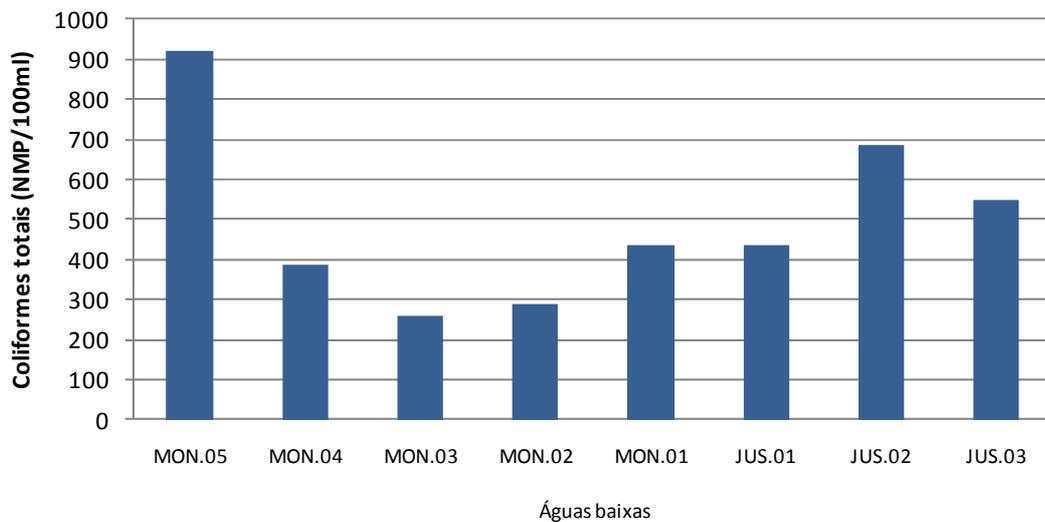


Figura 5.1-181 - Coliformes totais no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

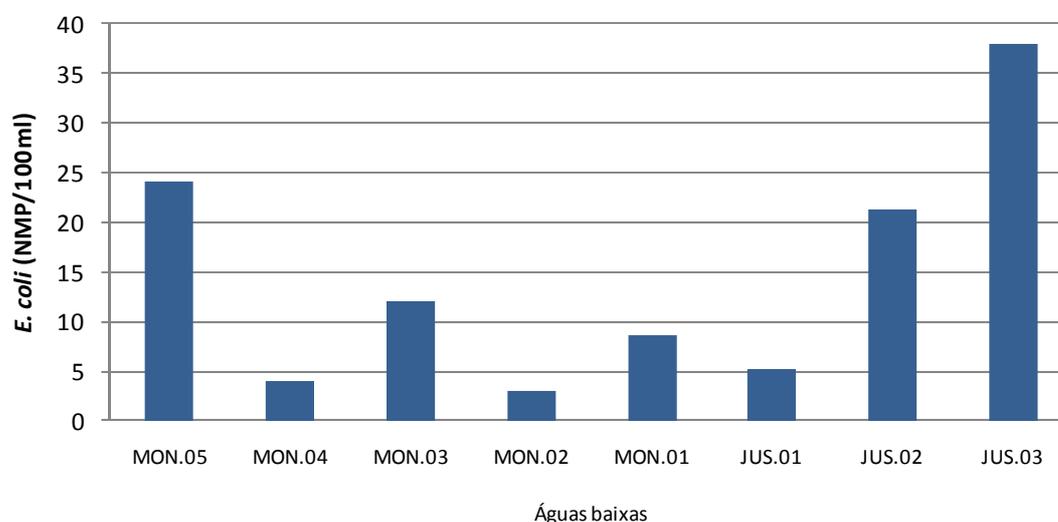


Figura 5.1-182 - - *Escherichia coli* no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos rios tributários, os coliformes totais apresentaram média de  $939 \pm 749$  NMP/100 ml (média  $\pm$  DP). Os valores oscilaram entre 104,3 NMP/100 ml (JAT I.01) e >2419 NMP/100 ml (JAT II e BEL) (Figura 5.1-183). Os rios tributários apresentaram índices de coliformes totais maiores do que o rio Madeira e os lagos e canais. Como esses rios são geralmente estreitos e recebem elevado aporte de material orgânico de origem terrestre, é possível que haja maior desenvolvimento de bactérias de vida livre, elevando o índice de coliformes. O índice médio de *E. coli* nos rios tributários foi de  $46 \pm 97$  NMP/100 ml (média  $\pm$  DP), variando entre 1 NMP/100 ml (JAC.01) e 307,6 NMP/100 ml (BEL) (Figura 5.1-184). Em relação à legislação ambiental, os índices de *E. coli* nos rios tributários atenderam ao limite de 1000 NMP/100 ml ao Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

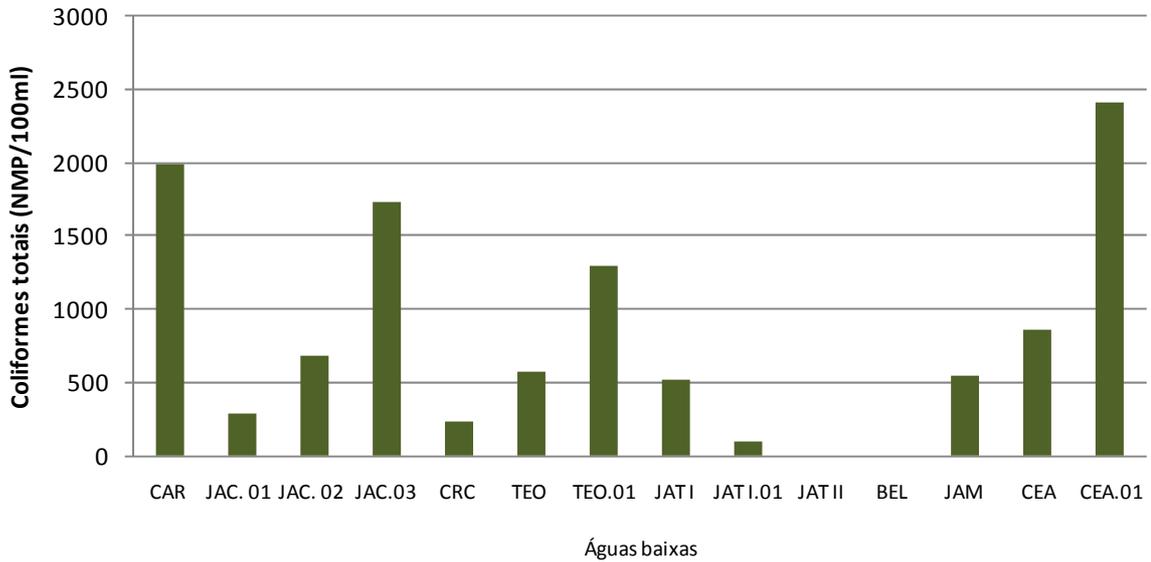


Figura 5.1-183 - Coliformes totais nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

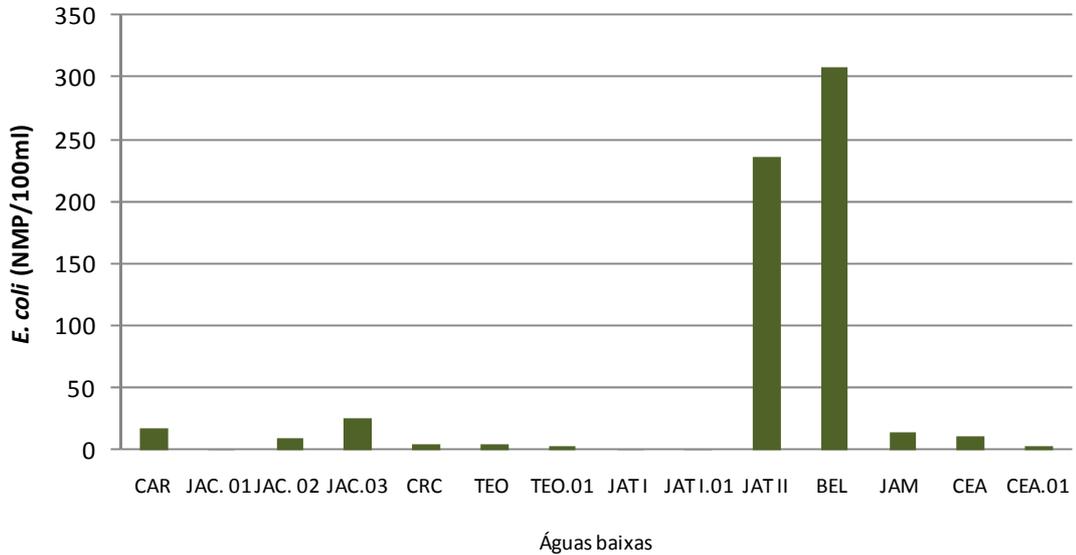


Figura 5.1-184 - *Escherichia coli* nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos lagos e canais, o índice médio de coliformes totais foi de  $1343 \pm 1032$  NMP/100 ml (média  $\pm$  DP). Os valores mínimos e máximos foram de 127,4 NMP/100 ml (CUJ) e 2419,6 NMP/100 ml (CC.01, LC.01 e LC.03), respectivamente. (Figura 5.1-185). Em relação ao índice de *E. coli*, os valores oscilaram entre 1 NMP/100 ml (CUJ) e 127,4 NMP/100 ml (CC.01) (Figura 5.1-186). A média desse grupo de coliformes foi de  $33 \pm 43$  NMP/100 ml (média  $\pm$  DP). Todas as estações dos lagos e canais apresentaram valores inferiores ao limite de 1000 NMP/100 ml ao Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

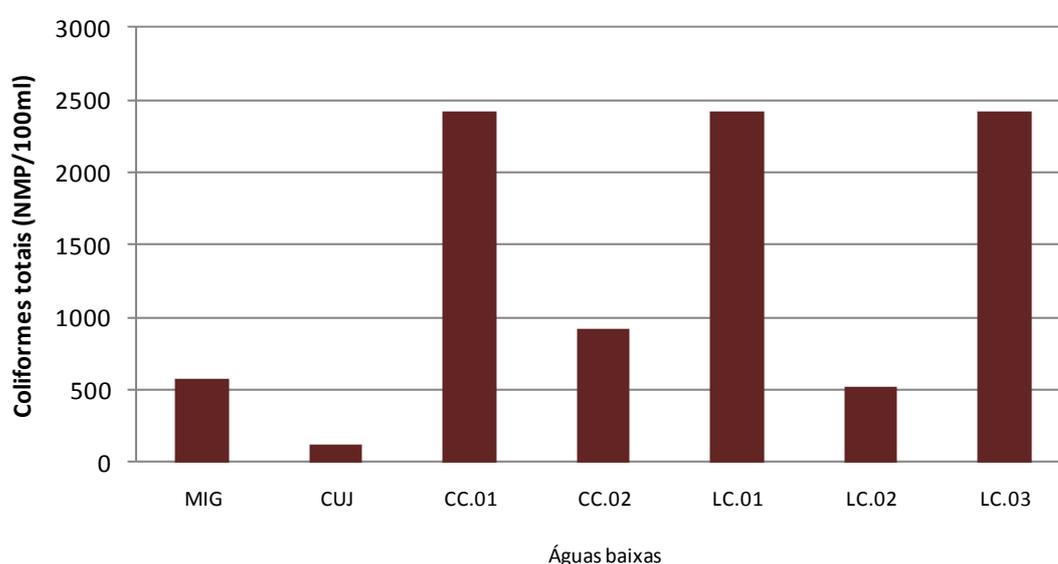


Figura 5.1-185 - Coliformes totais nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

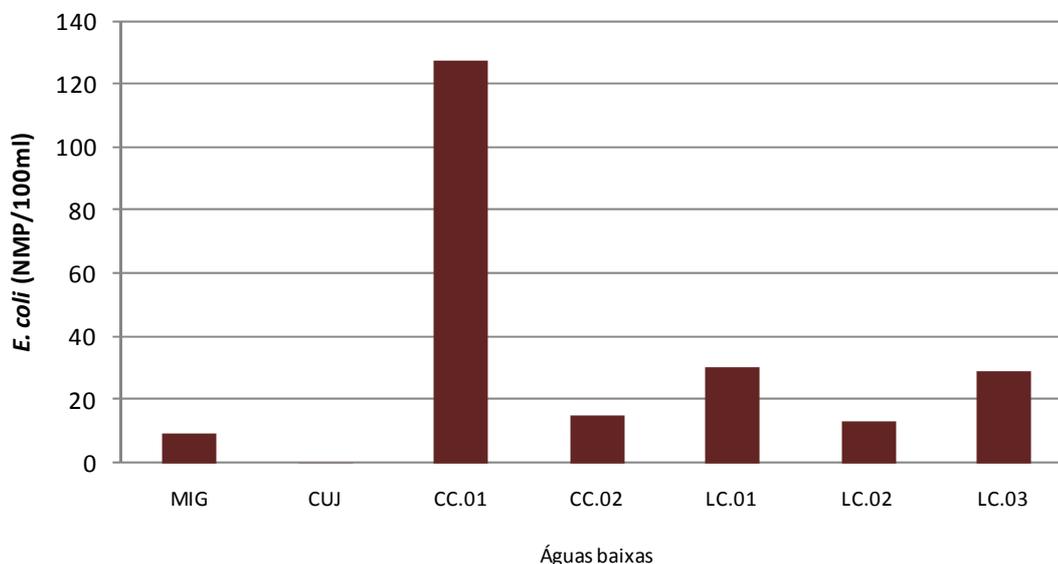


Figura 5.1-186 - *Escherichia coli* nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Foram coletadas amostras de coliformes totais e de *E. coli* para as praias de Jaci e Teotônio. Na estação praia de Jaci o índice médio de coliformes totais foi de 727 NMP/100 ml (média  $\pm$  DP) e para a praia de Teotônio 816 NMP/100ml. Em relação à *E. coli*, ambas as estações apresentaram índices de 5 NMP/100ml, esses valores obtidos estão bem abaixo do limite estipulado pela Resolução CONAMA 357/2005 para corpos de água doce da Classe 2.

### 5.1.10.2 - Clorofila *a* e pigmentos totais

A clorofila *a* apresentou baixas concentrações no rio Madeira. A concentração média do período foi de  $2,8 \pm 1,5$   $\mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP), variando entre 0,31  $\mu\text{g/L}$  (JUS.03 fundo) e 5,2  $\mu\text{g/L}$  (MON.04 superfície) (Figura 5.1-187). Os pigmentos totais apresentaram concentrações que oscilaram entre 1,4  $\mu\text{g/L}$  (JUS.02 e JUS.03 fundo) e 9,8  $\mu\text{g/L}$  (MON.02 superfície), com média de  $5,5 \pm 3,3$   $\mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-188). Todas as estações amostradas no rio Madeira atenderam ao limite de 30  $\mu\text{g/L}$  de clorofila *a* previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

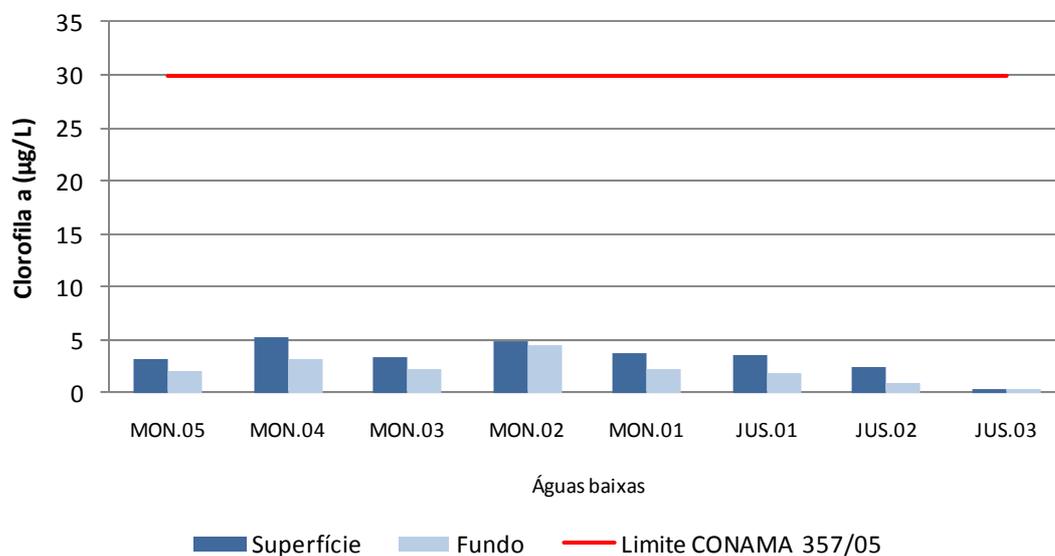


Figura 5.1-187 - Concentrações de clorofila a no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

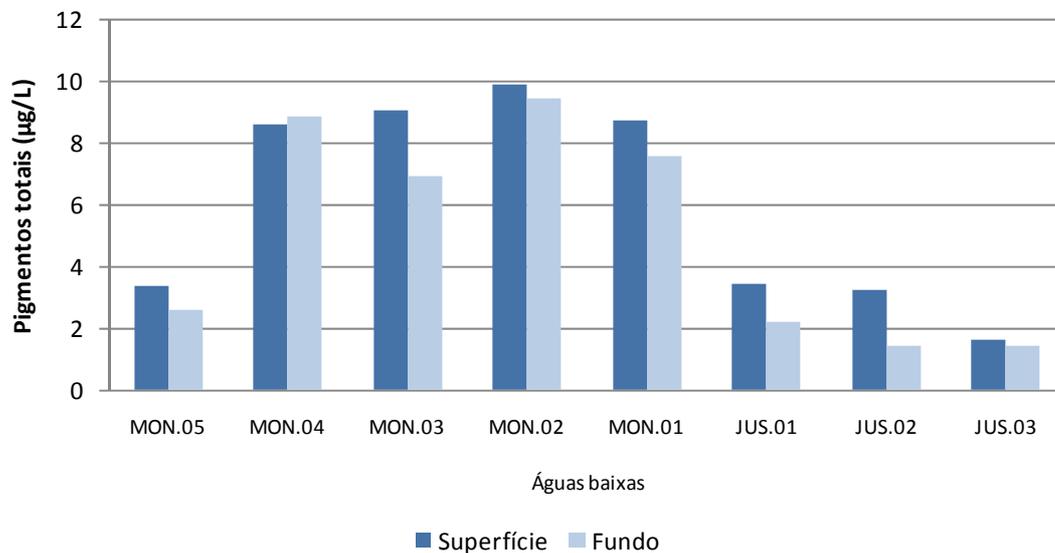


Figura 5.1-188 - Concentrações de pigmentos totais no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos rios tributários, a clorofila *a* apresentou concentrações que oscilaram entre 0,3 µg/L (CEA superfície) e 18,19 µg/L (JAC.03) (Figura 5.1-189), com média de  $3,2 \pm 4,2$  µg/L (média ± DP). Em relação aos pigmentos totais as concentrações variaram entre 1,4 µg/L (JAT I fundo) e 23 µg/L (JAC.03), com média de  $6,5 \pm 5$  µg/L (média ± DP) (Figura 5.1-190). Todas as estações amostradas nos tributários atenderam ao limite de 30 µg/L de clorofila *a* previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

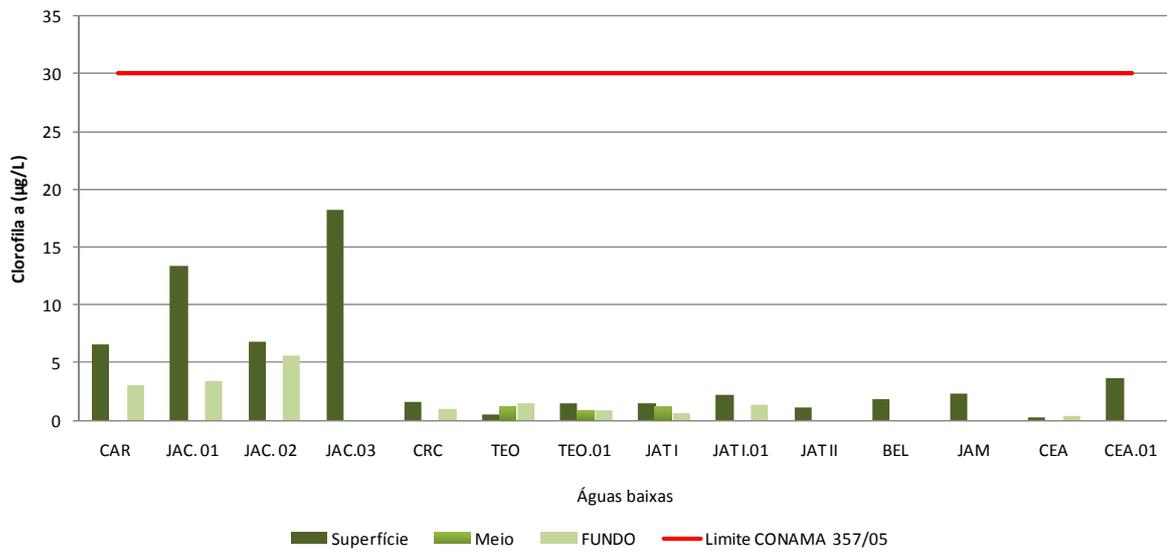


Figura 5.1-189 - Concentrações de clorofila *a* nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

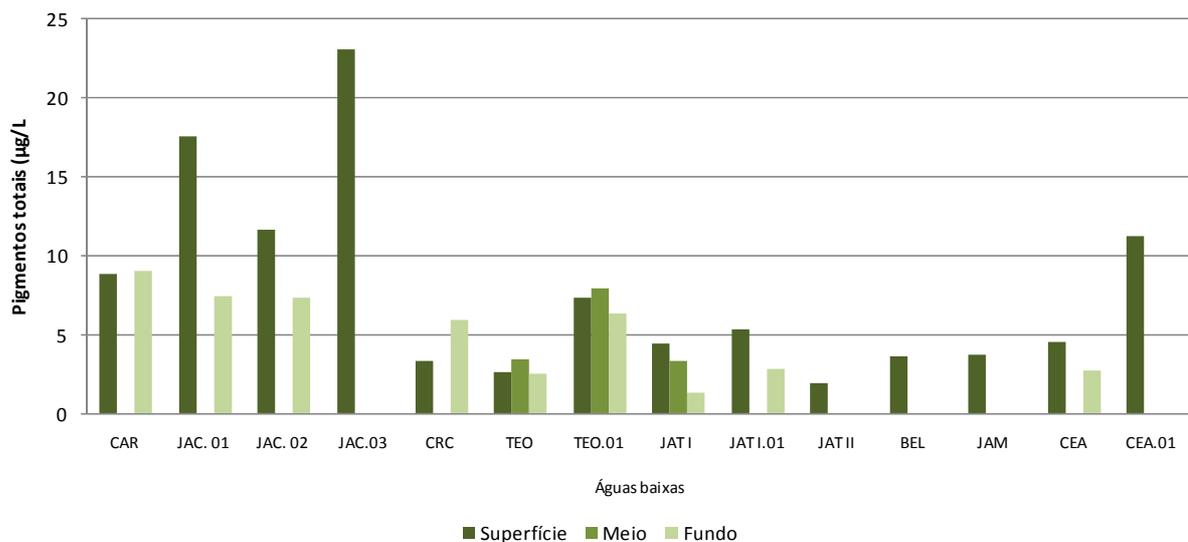


Figura 5.1-190 - Concentrações de pigmentos totais nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).

Nos lagos e canais, a clorofila *a* apresentou uma média de  $13 \pm 16 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP), com as concentrações oscilando entre  $3,5 \mu\text{g/L}$  (LC.01 fundo) e  $53,7 \mu\text{g/L}$  (LC.02) (Figura 5.1-191). Já os pigmentos totais apresentaram valores que variaram de  $9,9 \mu\text{g/L}$  (CUJ) a  $86,1 \mu\text{g/L}$  (LC.02), com média de  $22 \pm 25 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-192).

Todas as estações foram compatíveis com o limite de  $30 \mu\text{g/L}$  de clorofila *a* previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05, exceto a estação LC.02. Os lagos e canais foram os ambientes que apresentaram as maiores concentrações no período de estudo, seguidos dos rios tributários e do rio Madeira, respectivamente. Este padrão era esperado, uma vez que ambientes lânticos oferecem condições mais favoráveis ao desenvolvimento de espécies fitoplanctônicas.

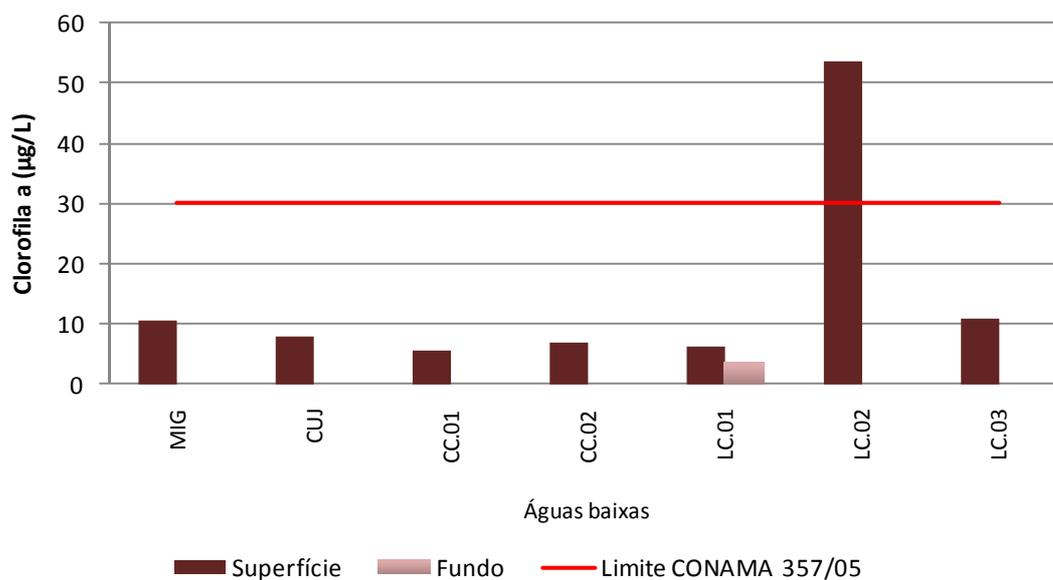


Figura 5.1-191 - Concentrações de clorofila *a* nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

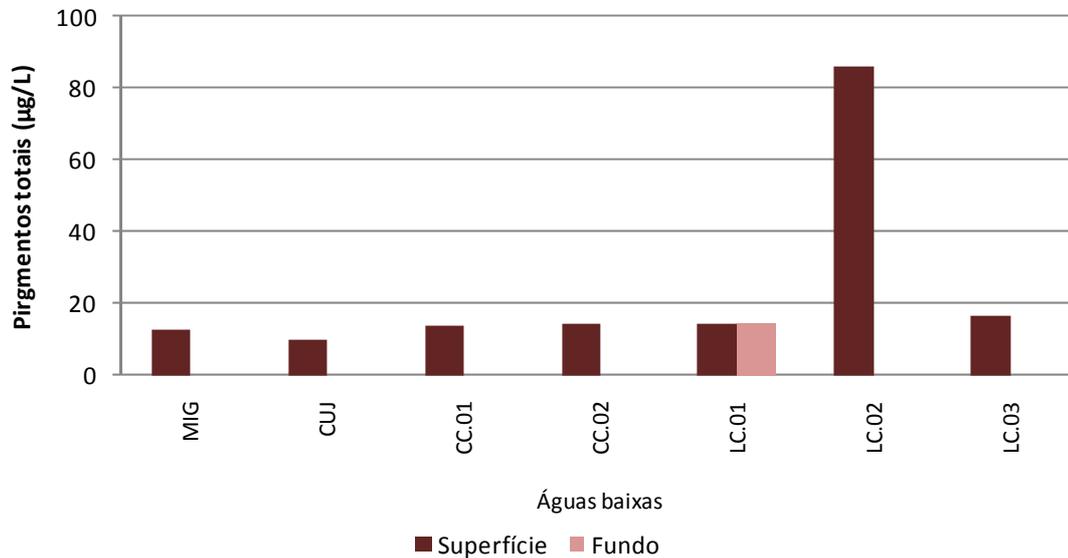


Figura 5.1-192 - Concentrações de pigmentos totais nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

### 5.1.10.3 - Fracionamento isotópico ( $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ )

A razão isotópica de um elemento é expressa pela razão entre o isótopo raro e o abundante, que geralmente correspondem ao de maior e menor massa, respectivamente. Como as variações naturais da razão dos isótopos estáveis são pequenas, é utilizada a notação “delta” ( $\delta$ ), que expressa o desvio relativo do valor obtido numa amostra comparada com o padrão, em partes por mil. Os resultados são calculados pela equação:

$$\delta X (\%) = \left\{ \left[ \frac{R_{\text{amostra}}}{R_{\text{padrão}}} \right] - 1 \right\} \times 1000$$

onde, utilizando C e N como exemplos, X =  $^{13}\text{C}$  ou  $^{15}\text{N}$  e R =  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ou  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ , fornecendo o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  ou  $\delta^{15}\text{N}$ . O aumento no valor de  $\delta$  corresponde a um aumento no teor de isótopos pesados, e vice-versa.

Existe uma grande diferença termodinâmica entre as variadas formas isotópicas de um elemento, propriedades que faz com que as reações bioquímicas que os envolvem ocorram em taxas levemente distintas (Urey, 1947). Estas diferenças favorecem os isótopos mais leves ou os mais pesados, levando à ocorrência de depleção ou enriquecimento do produto em relação ao substrato. Este fenômeno é chamado fracionamento isotópico.

A aplicação de isótopos estáveis em estudos ambientais é fundamentada na diferença isotópica existente entre os diversos compartimentos de um ecossistema. O  $\delta^{13}\text{C}$  do  $\text{CO}_2$  atmosférico é considerado homogêneo, tendo sofrido um decréscimo de quase 1‰ nos últimos 30 anos devido ao incremento em  $\text{CO}_2$  leve (pobre em  $^{13}\text{C}$ ) proveniente da queima de combustíveis fósseis (Peng et al. 1986). A assimilação de carbono por plantas terrestres do tipo C3 envolve um fracionamento de aproximadamente 21‰ ao  $\text{CO}_2$  atmosférico (-7‰), originando uma biomassa vegetal com carbono de valor isotópico médio igual a -28‰ (Deines, 1980). No caso de plantas terrestres do tipo C4 (-12‰), a produção de biomassa envolve um menor fracionamento, de aproximadamente 5‰. Em contraste com plantas terrestres, no entanto, a relação entre  $\delta^{13}\text{C}$  e características bioquímicas de algas e plantas aquáticas é muito complexa, uma vez que são diversas as fontes de carbono inorgânico disponíveis na água, assim como os possíveis mecanismos de absorção (Keeley & Sandquist, 1992).

Ambientes aquáticos permanecem em constante troca de materiais com os sistemas adjacentes (terrestre e atmosférico). Os isótopos estáveis de carbono são bons indicadores das fontes de matéria orgânica para ambientes aquáticos. O  $\delta^{13}\text{C}$  de detritos terrestres que atingem o ambiente aquático apresenta uma faixa relativamente constante, de -28 a -26‰ (France, 1995a). Estes valores correspondem a plantas C3, que dominam o ambiente terrestre, com exceção daquelas regiões de pastagem, em que imperam as gramíneas (C4). O  $\delta^{13}\text{C}$  de algas, por sua vez, pode variar entre -47 e -6‰ (Finlay et al, 1999; France, 1995a; Vuorio et al, 2006). Deste modo, o material autóctone é de difícil rastreamento por meio de isótopos estáveis no ambiente aquático.

Neste relatório serão apresentados os dados referente à campanha do mês de dezembro de 2011, abril de 2012 e junho de 2012, na qual não foi apresentada no último relatório do Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio. Os resultados da campanha do mês de novembro estão em processo de análises e por isso serão apresentados no próximo relatório. A análise de fracionamento isotópico é trabalhosa e depende de equipamentos onerosos e de alta complexidade operacional, de maneira que poucas instituições no Brasil possuem o equipamento. Por esta razão, as análises dessa variável entram em longas filas de espera para serem analisadas.

Os valores médios de  $\delta^{13}\text{C}$  do material em suspensão foram  $-27,5 \pm 2,3 \text{ ‰}$ ,  $-27 \pm 1,5 \text{ ‰}$  e  $-28,9 \pm 3,3 \text{ ‰}$  (média  $\pm$  DP), para meses de dezembro de 2011, abril de 2012 e junho de 2012, respectivamente (**Figura 5.1-193**). As estações do rio Madeira (MON.03, MON.01, JUS.01 e JUS.02) registraram média global de  $-26,2 \pm 0,3 \text{ ‰}$ , a matéria orgânica presente nesses ambientes apresentou assinatura isotópica semelhante à de plantas C3 terrestres ( $-26$  a  $-28 \text{ ‰}$ , O'Leary et al. 1992), indicando que, em termos gerais, o ambiente terrestre representa a mais importante fonte de carbono particulado para todos os sistemas amostrados. Já as estações dos tributários (CAR, JAC.01, CRC, TEO e JAT I) registraram média  $-29,1 \pm 2,7 \text{ ‰}$ . Este resultado pode estar relacionado com o menor aporte de material terrestre nos meses amostrados, combinado com uma maior densidade fitoplanctônica nesta estação com relação às demais estações do rio Madeira. A elevada taxa de reposição da comunidade fitoplanctônica causa uma grande variabilidade na composição isotópica deste grupo. Por isso não existe uma faixa fixa de valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para esses produtores primários. Sabe-se, no entanto, valores mais negativos (até  $-47 \text{ ‰}$ ), são comumente registrados para o fitoplâncton, o que não ocorre para o material de origem terrestre (Vuorio et al. 2006; France 1995, Finlay et al. 1999).

Os valores médios de  $\delta^{15}\text{N}$  do material em suspensão foram  $4,8 \pm 1,2 \text{ ‰}$ ,  $4,2 \pm 1,2 \text{ ‰}$  e  $4,4 \pm 1,4 \text{ ‰}$  (média  $\pm$  DP), para meses de dezembro de 2011, abril de 2012 e junho de 2012, respectivamente. Comparado com os valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , houve uma maior variação do  $\delta^{15}\text{N}$  entre os sistemas amostrados (**Figura 5.1-194**). Os isótopos de nitrogênio, no entanto, não são bons indicadores da fonte de matéria orgânica para um ecossistema. O fracionamento isotópico que ocorre durante a ciclagem do nitrogênio na biosfera confere a cada nutriente nitrogenado uma faixa de variação de  $\delta^{15}\text{N}$ . Produtores primários (tanto terrestres quanto aquáticos) apresentam  $\delta^{15}\text{N}$  variando em função da fonte de nitrogênio inorgânico disponível no meio e do nível de discriminação isotópica durante a assimilação de nutrientes, que varia entre espécies.

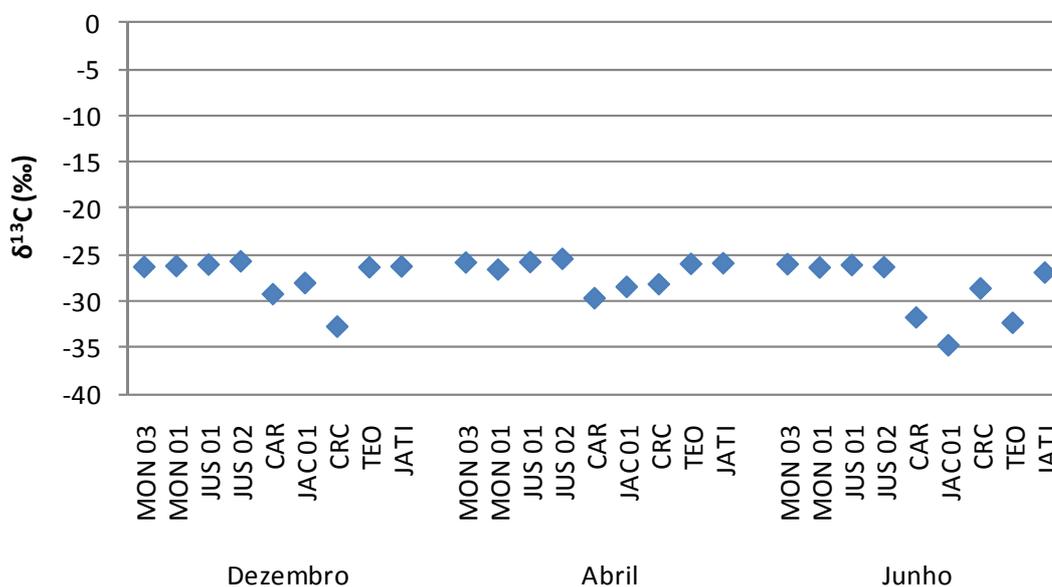


Figura 5.1-193 - Razão isotópica do carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) nos ambientes amostrados no rio Madeira e nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre dezembro de 2011 e junho de 2012.

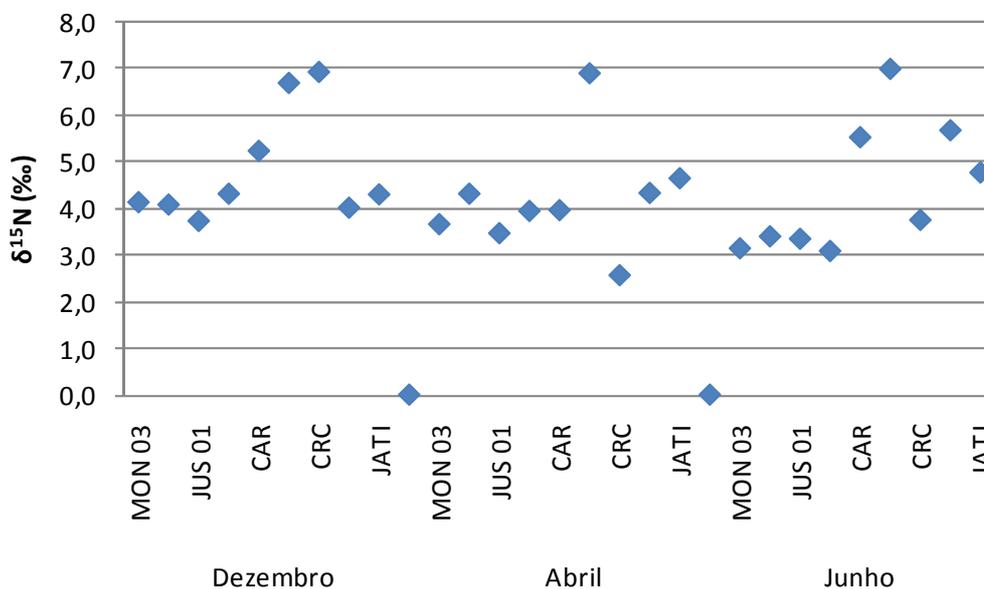


Figura 5.1-194 - Razão isotópica do nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ) nos ambientes amostrados no rio Madeira e nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre dezembro de 2011 e junho de 2012.

#### 5.1.10.4 - Pontos de captação de água para abastecimento público: PCM e PCT

Em novembro de 2011 foram realizadas duas coletas para avaliar a densidade de cianobactérias nas estações PCM (ponto de captação de água no rio Madeira) e PCT (ponto de captação de água no ribeirão Bate Estacas). Os resultados obtidos em todas as campanhas realizadas na estação PCM mostraram que as densidades de cianobactérias são inferiores ao limite de quantificação (<3 cel/mL). Na estação PCT, a densidade de cianobactérias só foi detectada na coleta realizada no dia 24/11/2012 (39 cel/mL).

#### 5.1.11 - Índices

##### 5.1.11.1 - Índice de estado trófico (IET)

O estado trófico predominante no rio Madeira foi o mesotrófico. Somente as estações MON.05 e MON.04 apresentaram estado trófico diferente (eutrófico), em função, das altas concentrações de fósforo total. Vale lembrar que o índice de estado trófico aqui descrito não é um bom definidor das características tróficas deste ambiente. Apesar do rio Madeira ser rico em fósforo, este nutriente tem origem natural, e sua maior parte, está em uma forma não disponível para o fitoplâncton. Além disto, a alta concentração de sólidos na água do rio e a elevada vazão impedem o estabelecimento e desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica. Por fim, rotular o rio Madeira como eutrófico, em alguns períodos, não condiz com a definição do termo eutrofia, comumente utilizado para ambiente com elevada carga de compostos orgânicos e alta biomassa fitoplanctônica. O IET das diferentes estações pode ser visualizado no **Quadro 5.1-2**.

**Quadro 5.1-2 - Índice de Estado Trófico (IET) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).**

IET	Estado trófico	Estação
59	EUTRÓFICO	MON.05
60	EUTRÓFICO	MON.04
58	MESOTRÓFICO	MON.03
59	MESOTRÓFICO	MON.02
58	MESOTRÓFICO	MON.01
57	MESOTRÓFICO	JUS.01
57	MESOTRÓFICO	JUS.02
53	MESOTRÓFICO	JUS.03

O estado trófico predominante nos tributários foi o mesotrófico. Somente a estação CEA.01 apresentou estado trófico diferente (eutrófico), em função, principalmente, da alta concentração de clorofila *a* (Quadro 5.1-3).

**Quadro 5.1-3 - Índice de Estado Trófico (IET) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).**

IET	Estado trófico	Estação
56	MESOTRÓFICO	CAR
58	MESOTRÓFICO	JAC.01
57	MESOTRÓFICO	JAC.02
59	MESOTRÓFICO	JAC.03
58	MESOTRÓFICO	CRC
57	MESOTRÓFICO	TEO
54	MESOTRÓFICO	TEO.01
58	MESOTRÓFICO	JAT I
54	MESOTRÓFICO	JAT I.01
58	MESOTRÓFICO	CEA
60	EUTRÓFICO	CEA.01
54	MESOTRÓFICO	JAT II
53	MESOTRÓFICO	BEL
57	MESOTRÓFICO	JAM

O estado trófico predominante nos lagos e canais foi o mesotrófico. Somente as estações MIG (eutrófico) e LC.02 (supereutrófico) apresentaram estado trófico diferente, em função das altas concentrações de fósforo total e de clorofila *a* (Quadro 5.1-4).

Quadro 5.1-4 - Índice de Estado Trófico (IET) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

IET	Estado trófico	Estação
60	EUTRÓFICO	MIG
56	MESOTRÓFICO	CUJ
58	MESOTRÓFICO	CC.01
56	MESOTRÓFICO	CC.02
55	MESOTRÓFICO	LC.01
63	SUPEREUTRÓFICO	LC.02
59	MESOTRÓFICO	LC.03

### 5.1.11.2 - Índice de qualidade da água (IQA)

A qualidade da água das do rio Madeira foi classificada como BOA em todas as estações (Quadro 5.1-5). Apesar dos elevados valores de turbidez, sólidos totais e fósforo total, os baixos teores de coliformes fecais e DBO, o bom nível de oxigenação da água e um intervalo de pH adequado contribuíram para o prevailecimento de uma boa qualidade da água.

Quadro 5.1-5 - Índice de Qualidade da Água (IQA) no rio Madeira, no período de águas baixas (novembro de 2012).

IQA	Nível	Estação
67	BOA	MON.05
71	BOA	MON.04
70	BOA	MON.03
73	BOA	MON.02
71	BOA	MON.01
71	BOA	JUS.01
68	BOA	JUS.02
66	BOA	JUS.03

Nos rios tributários, a qualidade da água foi ÓTIMA na maior parte das estações(Quadro 5.1-6). A qualidade da água nessas estações foi superior à encontrada no rio Madeira, os baixos valores de turbidez nos tributários favoreceram essa situação.

**Quadro 5.1-6 - Índice de Qualidade de Água (IQA) nos tributários, no período de águas baixas (novembro de 2012).**

IQA	Nível	Estação
57	BOA	CAR
88	ÓTIMA	JAC.01
82	ÓTIMA	JAC.02
79	ÓTIMA	JAC.03
82	ÓTIMA	CRC
72	BOA	TEO
91	ÓTIMA	TEO.01
85	ÓTIMA	JAT I
93	ÓTIMA	JAT I.01
69	BOA	CEA
66	BOA	CEA.01
71	BOA	JAT II
69	BOA	BEL
83	ÓTIMA	JAM

Nos lagos e canais, a qualidade da água foi BOA na maior parte das estações, tendo sido ÓTIMA nas estações MIG e LC.01 (Quadro 5.1-7).

Quadro 5.1-7 - Índice de Qualidade da Água (IQA) nos lagos e canais, no período de águas baixas (novembro de 2012).

IQA	Nível	Estação
79	ÓTIMA	MIG
74	BOA	CUJ
73	BOA	CC.01
78	BOA	CC.02
82	ÓTIMA	LC.01
60	BOA	LC.02
78	BOA	LC.03

### 5.1.11.3 - Ordenação espacial das variáveis limnológicas

A fim de caracterizar e identificar as estações de coleta de acordo com as variáveis limnológicas, foi utilizada uma análise de componentes principais (ACP). As estações dos três compartimentos (rio Madeira, tributários e lagos e canais) foram analisadas conjuntamente (Figura 5.1-195).

Os dois primeiros eixos da ACP explicaram 70,4% da variabilidade dos dados. As estações do rio Madeira foram as que mais se assemelharam entre si, uma vez que trata-se de um único rio. Variáveis como fósforo total, sólidos totais, oxigênio dissolvido, ortofosfato, condutividade, sílica, nitrogênio inorgânico dissolvido e nitrogênio total, estiveram positivamente relacionadas com as estações do rio Madeira, que ficaram agrupadas no quarto terceiro da ACP.

As estações dos rios tributários ficaram agrupadas em todos os quadrantes. As estações TEO, JAT I e CEA agruparam-se próxima às estações do rio Madeira. Essas estações estão situadas em braços reservatório e boa parte da água que banha esses ambientes é oriunda do rio Madeira. JAC.01, JAC.02 e JAC.03 apresentaram características semelhantes e estiveram positivamente relacionadas com a transparência. CEA.01, JAT II e JAM se agruparam no segundo quadrante e estiveram negativamente relacionada com a alcalinidade. CAR, CRC, TEO.01, JAT I,01 e BEL se agruparam no quarto quadrante e estiveram positivamente relacionadas com a alcalinidade e temperatura da água

Nos lagos e canais, as maiorias das estações ficaram agrupadas no segundo quadrante e estiveram negativamente relacionadas com a alcalinidade. Dentre as estações dos lagos e canais, a estação CUJ foi a que mais se diferenciou, estando positivamente relacionado com a transparência.

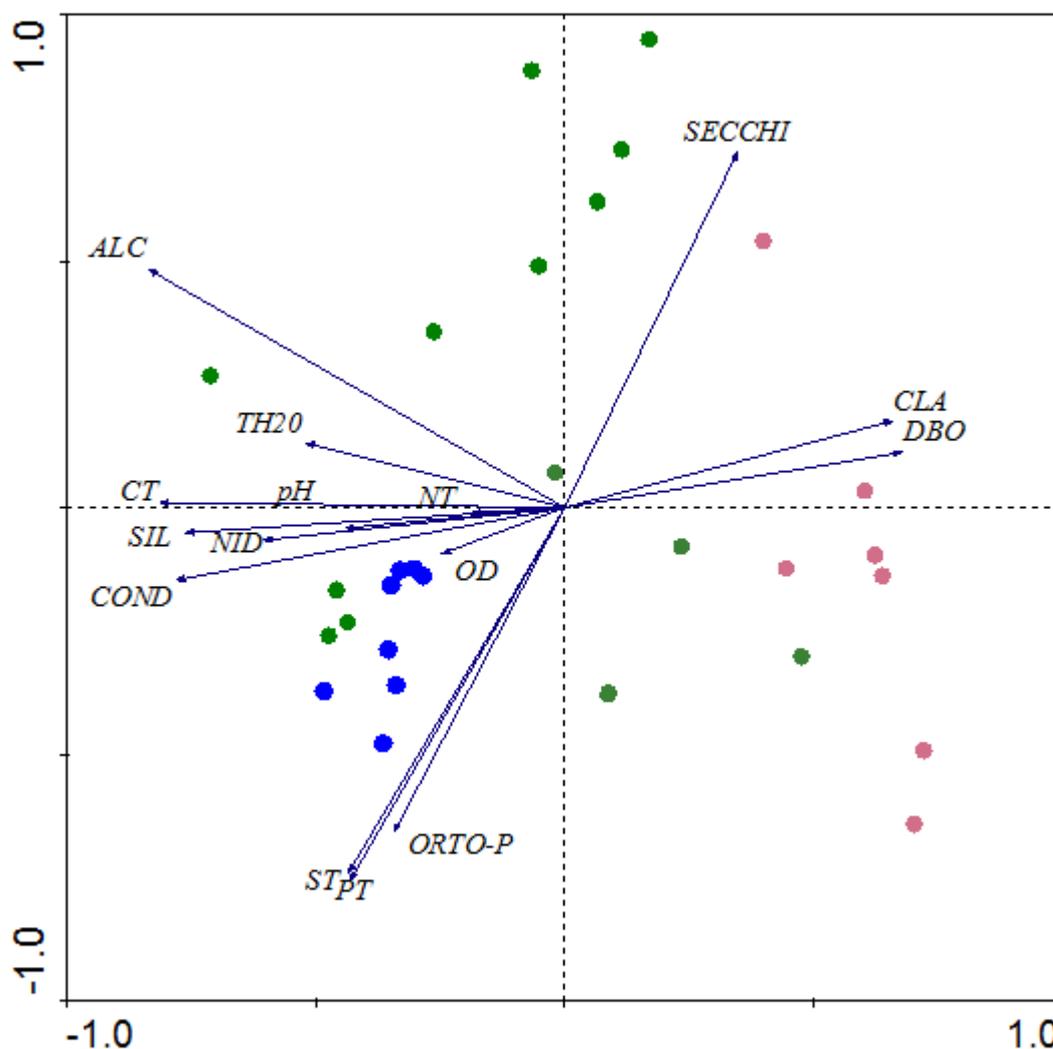


Figura 5.1-195 - Posição das estações de coleta do rio Madeira (bolazuis), dos tributários (bolaverdes) e dos lagos e canais (bolarosas) ordenadas de acordo com os dois primeiros eixos da ACP durante a vazante de 2011. A explicabilidade dos dois primeiros eixos foi de 70,4% (Eixo 1: 47,9%; Eixo 2: 22,5%). As siglas significam: TH20: temperatura da água; SECCHI: transparência; COND: condutividade; ST: sólidos totais; pH: potencial hidrogeniônico; OD: oxigênio dissolvido; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; CT: carbono total; ALC: alcalinidade total; NID: nitrogênio inorgânico dissolvido; NT: nitrogênio total; ORTO-P: ortofosfato; PT: fósforo total; SIL: silicatos reativos; CLA: clorofila *a*.

## Lista de Anexos para Referência e Índice - Uso do NG

1	Anexo 5.a	Laudos Abióticos (Via Digital))
2	Anexo 5.b	Laudos Bióticos (Digital)