

ÍNDICE

| | |
|--|--------------|
| 5 - Resultados | 1/172 |
| 5.1 - Abióticos | 1/172 |
| 5.1.1 - Físicas A e B..... | 3/172 |
| 5.1.1.1 - Temperatura do ar e da água | 3/172 |
| 5.1.1.2 - Profundidade, transparência, cor e velocidade de corrente..... | 10/172 |
| 5.1.2 - Físicas C..... | 18/172 |
| 5.1.2.1 - Turbidez..... | 18/172 |
| 5.1.2.2 - Sólidos em suspensão, Sólidos totais dissolvidos, Sólidos totais, Sólidos fixos, Sólidos voláteis | 25/172 |
| 5.1.3 - Físico-químicas | 36/172 |
| 5.1.3.1 - Condutividade elétrica..... | 36/172 |
| 5.1.3.2 - Potencial hidrogeniônico (pH) | 43/172 |
| 5.1.4 - Químicas I-A..... | 50/172 |
| 5.1.4.1 - Oxigênio - concentração..... | 50/172 |
| 5.1.4.2 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) | 59/172 |
| 5.1.4.3 - Demanda química de oxigênio (DQO)..... | 61/172 |
| 5.1.4.4 - Carbono inorgânico, Carbono orgânico total, Carbono total e Carbono orgânico dissolvido..... | 63/172 |
| 5.1.5 - Química II..... | 72/172 |
| 5.1.5.1 - Sistema tampão (Alcalinidade, Dureza e Dureza devido ao cálcio e magnésio) | 72/172 |
| 5.1.6 - Químicas III..... | 81/172 |
| 5.1.6.1 - Íons principais (Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , HCO ₃ ⁻)..... | 81/172 |

| | | |
|------------|--|---------|
| 5.1.7 - | Químicas IV..... | 95/172 |
| 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) | 95/172 |
| 5.1.7.2 - | Conteúdo nutricional: Fósforo (Ortofosfato, Fósforo total dissolvido, Fósforo total, Fósforo orgânico dissolvido, Fósforo orgânico total e Fósforo particulado)..... | 114/172 |
| 5.1.7.3 - | Conteúdo nutricional: Silicatos reativos | 128/172 |
| 5.1.8 - | Químicas V..... | 130/172 |
| 5.1.8.1 - | Óleos e graxas | 130/172 |
| 5.1.8.2 - | Ferro | 130/172 |
| 5.1.9 - | Químicas VI..... | 134/172 |
| 5.1.9.1 - | Elementos-traço..... | 134/172 |
| 5.1.10 - | Biológicas | 149/172 |
| 5.1.10.1 - | Coliformes totais e Escherichia coli..... | 149/172 |
| 5.1.10.2 - | Clorofila <i>a</i> e pigmentos totais..... | 153/172 |
| 5.1.10.3 - | Fracionamento isotópico ($\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$)..... | 157/172 |
| 5.1.11 - | Índices | 161/172 |
| 5.1.11.1 - | Índice de estado trófico (IET)..... | 161/172 |
| 5.1.11.2 - | Índice de Qualidade da Água (IQA)..... | 163/172 |
| 5.1.11.3 - | Avaliação da qualidade da água nos pontos de captação para abastecimento público | 165/172 |
| 5.1.11.4 - | Ordenação espacial das variáveis limnológicas | 169/172 |

5 - RESULTADOS

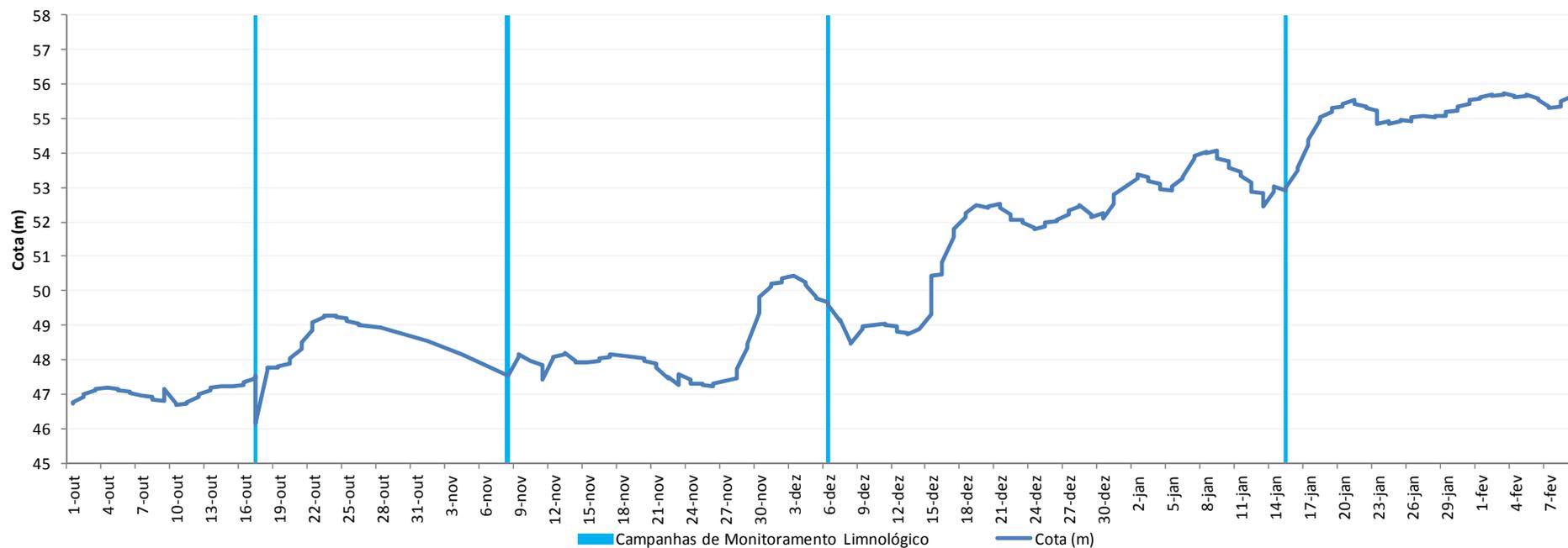
5.1 - ABIÓTICOS

O rio Madeira apresenta períodos hidrológicos muito bem definidos durante o ano, uma vez que são determinados por processos originados na região dos Andes (degelo) mais do que pela pluviosidade nas bacias de drenagem. A sazonalidade bem definida do regime hídrico permite o estabelecimento criterioso das datas dos trabalhos de campo em função das variações no nível do rio. As cotas do rio Madeira de outubro de 2011 a fevereiro de 2012 são apresentadas na **Figura 5.1-1**, destacando os períodos em que foram realizadas as campanhas de coleta.

UHE SANTO ANTONIO NO RIO MADEIRA

2382-00-MLM-RL-0011-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 11
(Relatório Consolidado do Enchimento)



Fonte de dados: HIDROWEB/ANA, estação 15400000, Porto Velho - RO

Figura 5.1-1 - Variação da cota no rio Madeira, medida na estação de Porto Velho-RO.
As barras indicam as campanhas realizadas nos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro nos anos de 2011 e 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 $28 \pm 3,5^{\circ}\text{C}$ (média \pm DP). A temperatura média da água variou entre $28,3 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $30,2 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$ (média \pm DP) em novembro de 2011. Considerando todo o período amostrado, a temperatura média da água no rio Madeira foi de $29 \pm 1^{\circ}\text{C}$ (média \pm DP) tanto para a superfície como para o fundo, apresentando considerável uniformidade térmica na coluna d'água ao longo de todo o período estudado (Figura 5.1-2). O perfil térmico das estações amostradas nos meses estudados evidenciou o caráter homogêneo deste rio, indicando que mesmo após a criação do reservatório houve manutenção da uniformidade térmica a montante (Figura 5.1-3).

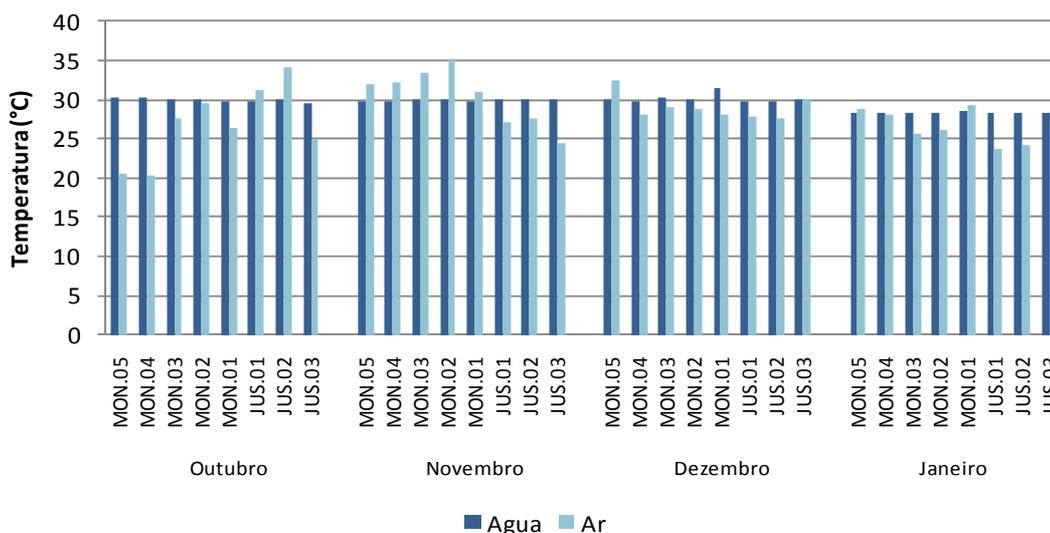


Figura 5.1-2 - Temperatura do ar em relação à temperatura da água, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

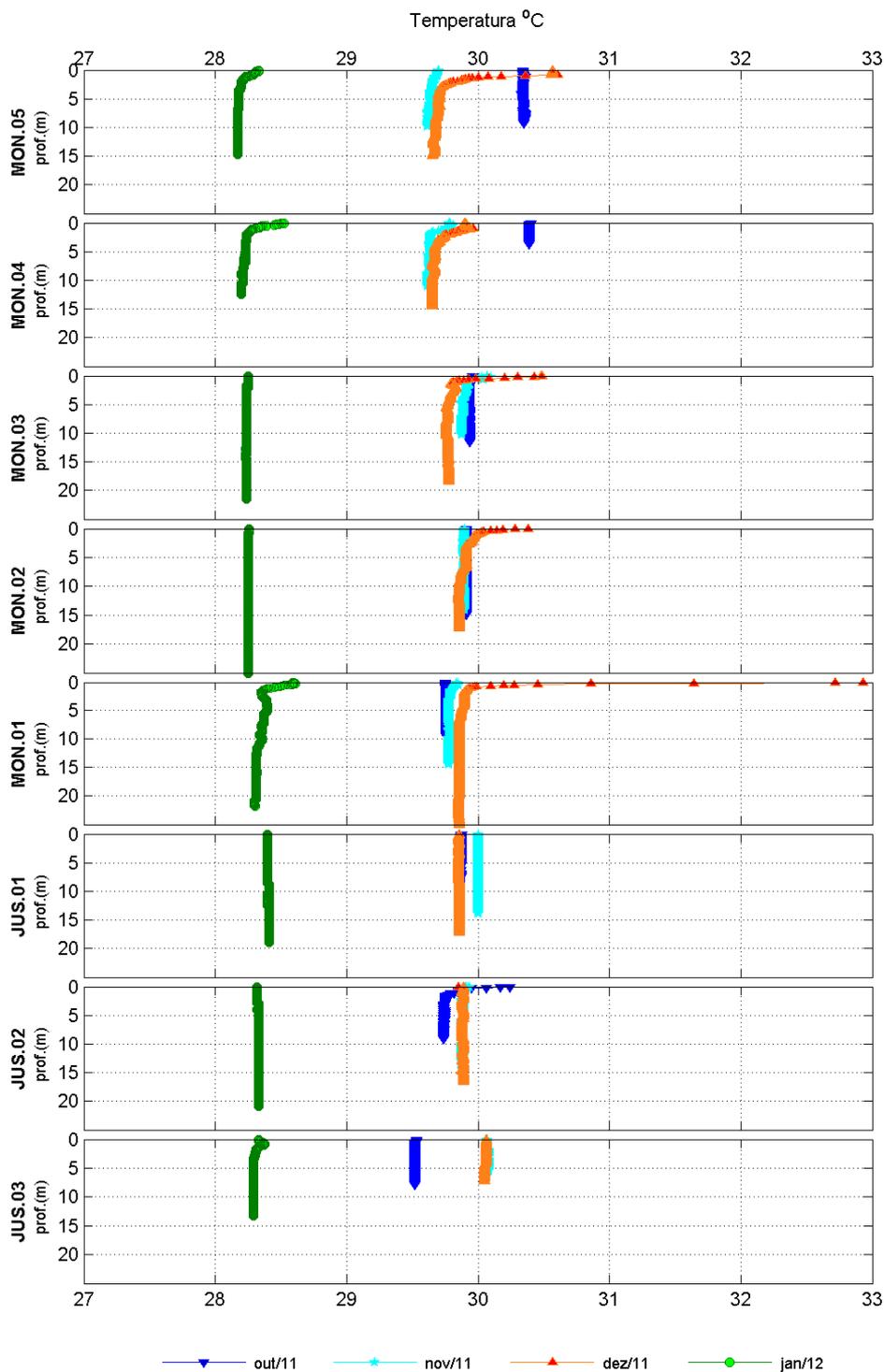


Figura 5.1-3 - Perfil de Temperatura da água no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos tributários, considerando todo o período de estudo, a temperatura média do ar foi de $28 \pm 3,2^\circ\text{C}$ (média \pm DP). A temperatura média da água variou entre $27,1 \pm 1,3^\circ\text{C}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 e $29,5 \pm 1^\circ\text{C}$ (média \pm DP) em novembro de 2011, com média global de $28 \pm 1^\circ\text{C}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-4). Os perfis térmicos indicaram que as estações CRC (dezembro de 2011), TEO (janeiro 2012), TEO.01 (dezembro de 2011 e janeiro 2012), JAT I (dezembro de 2011 e janeiro 2012), CEA (dezembro de 2011) e CEA.01 (dezembro de 2011), que estão em braços do reservatório recém formado, apresentaram coluna d'água estratificada. Por outro lado, as demais estações apresentaram coluna d'água homogênea em todos os meses avaliados. O igarapé Caripuna (CAR) e o rio Jaci-Paraná (JAC.01, JAC.02, JAC.03) foram os únicos tributários a montante que mantiveram uniformidade térmica da coluna d'água após o represamento (Figura 5.1-5).

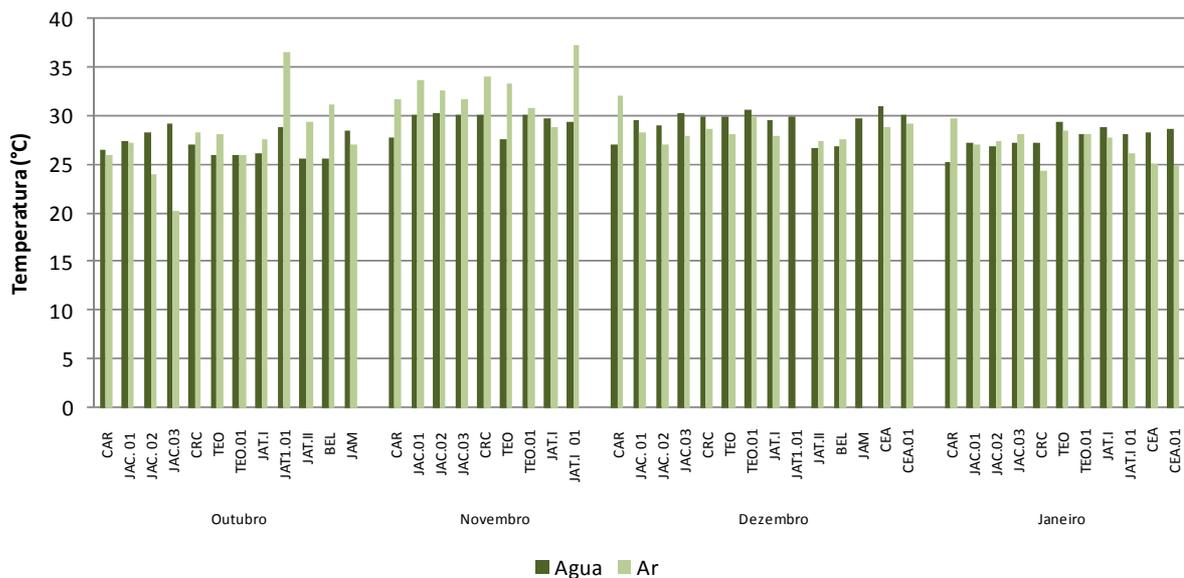
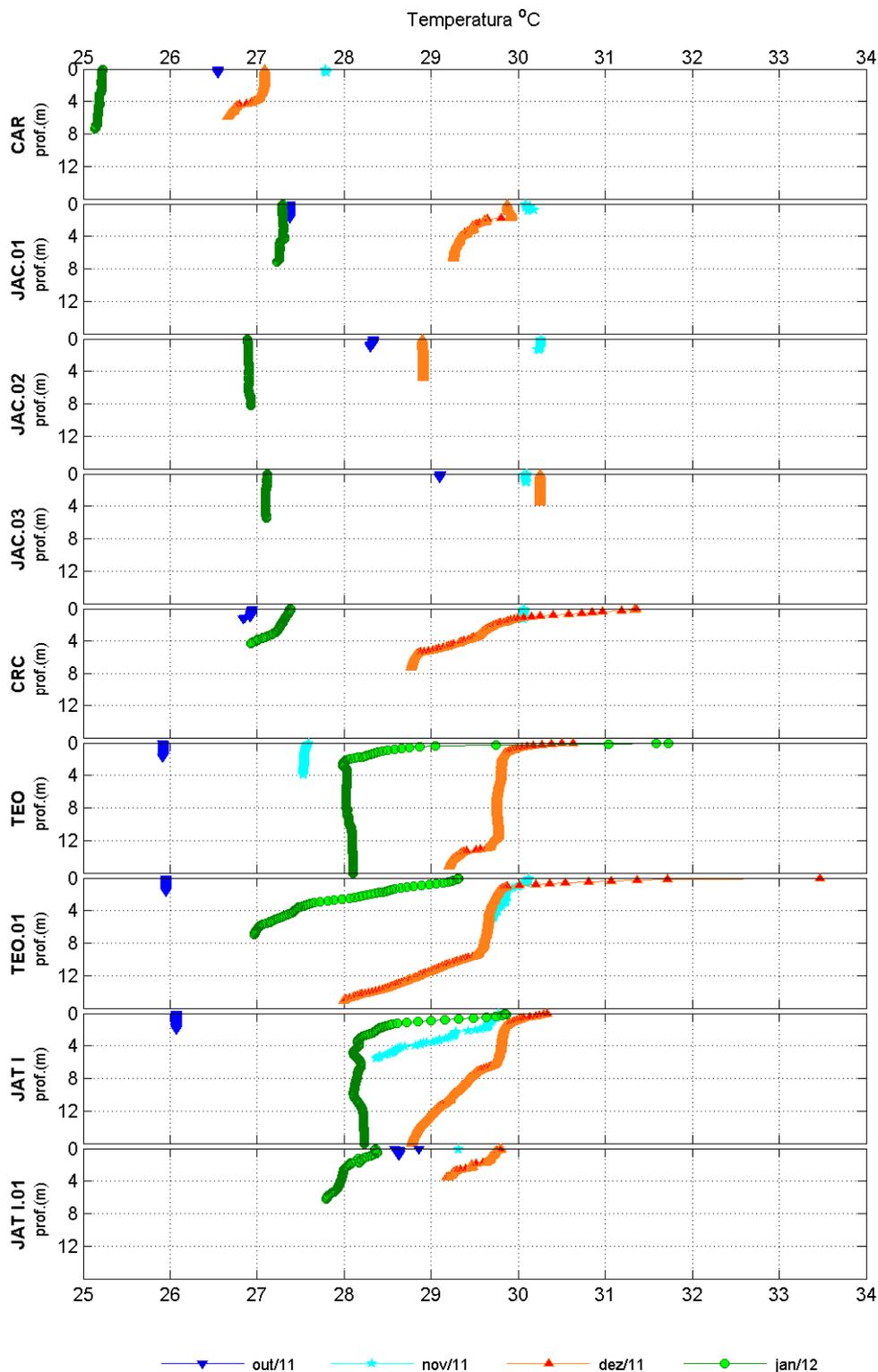


Figura 5.1-4 - Temperatura do ar em relação à temperatura da água nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.



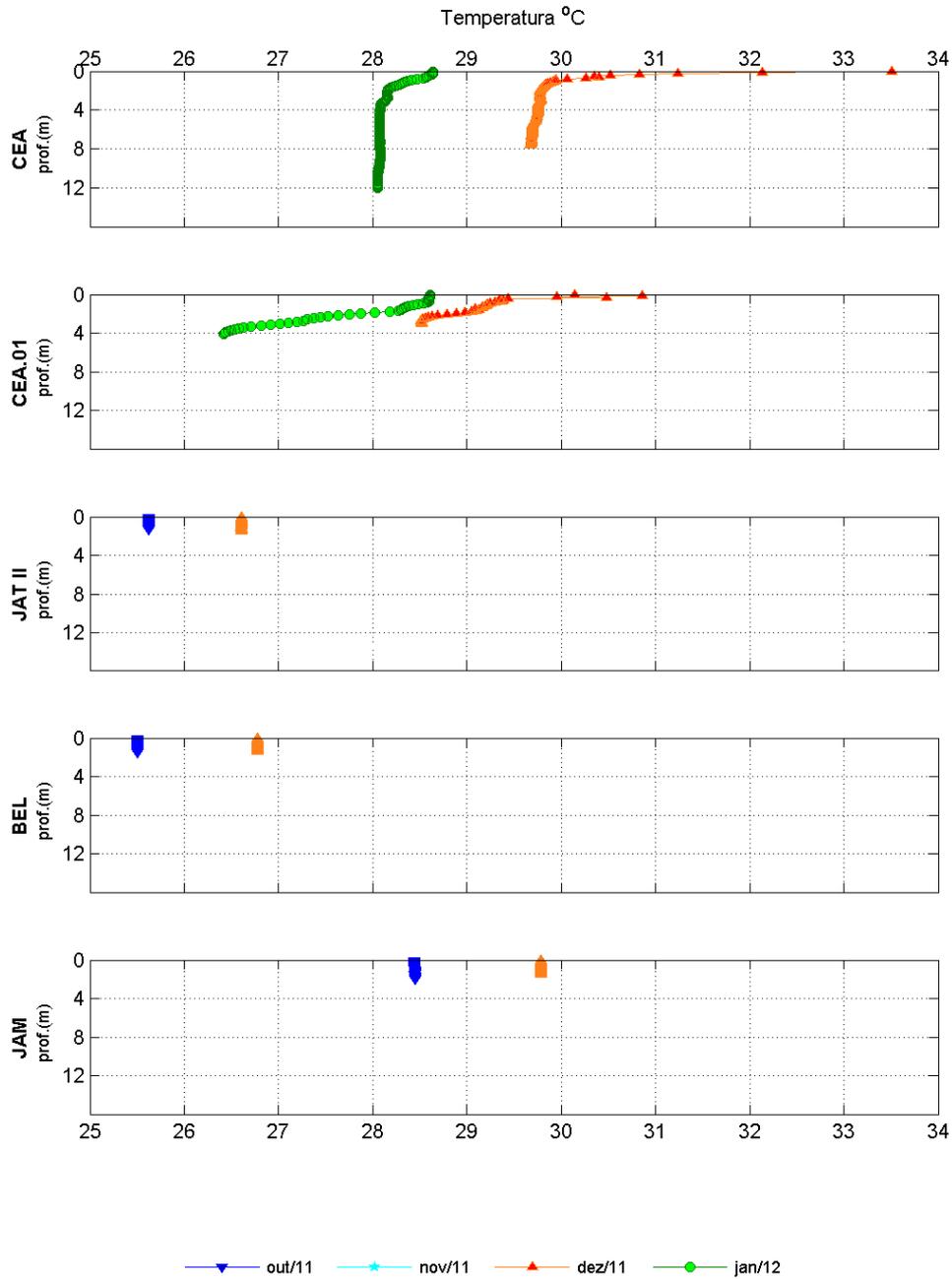


Figura 5.1-5 - Perfil de Temperatura da água nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos lagos e canais, considerando todo o período de estudo, a temperatura média do ar foi de $28 \pm 1,6^\circ\text{C}$ (média \pm DP). A temperatura média da água variou entre $28,4 \pm 1^\circ\text{C}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $29,2 \pm 1^\circ\text{C}$ (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de $29 \pm 1^\circ\text{C}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-6). Os perfis térmicos indicaram coluna d'água homogênea para todas as estações amostras, com uma tendência de menores temperaturas no fundo nas estações MIG, CUJ, LC.01 e CC.02 no mês de dezembro de 2011 (Figura 5.1-7).

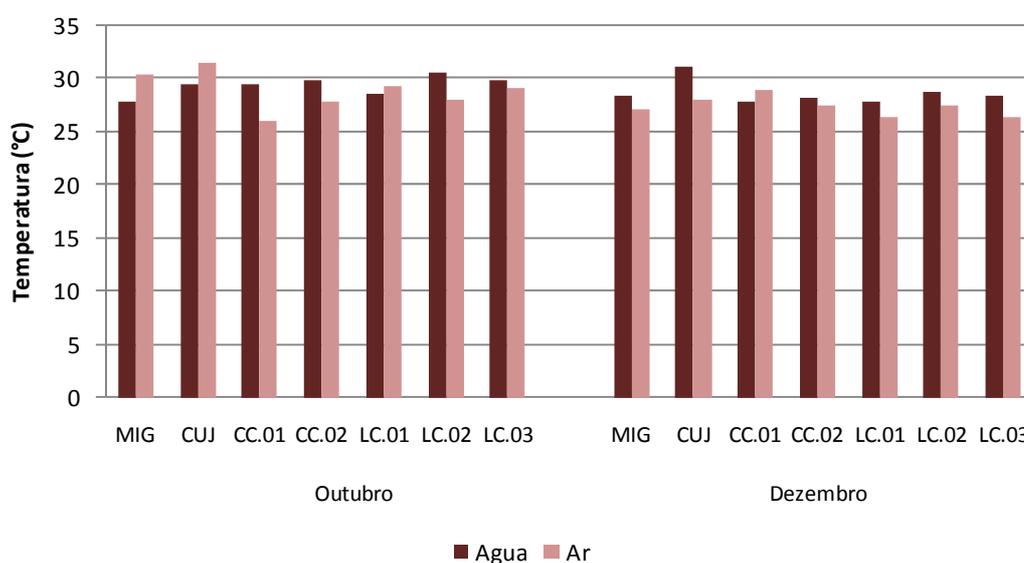


Figura 5.1-6 - Temperatura do ar em relação à temperatura da água nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

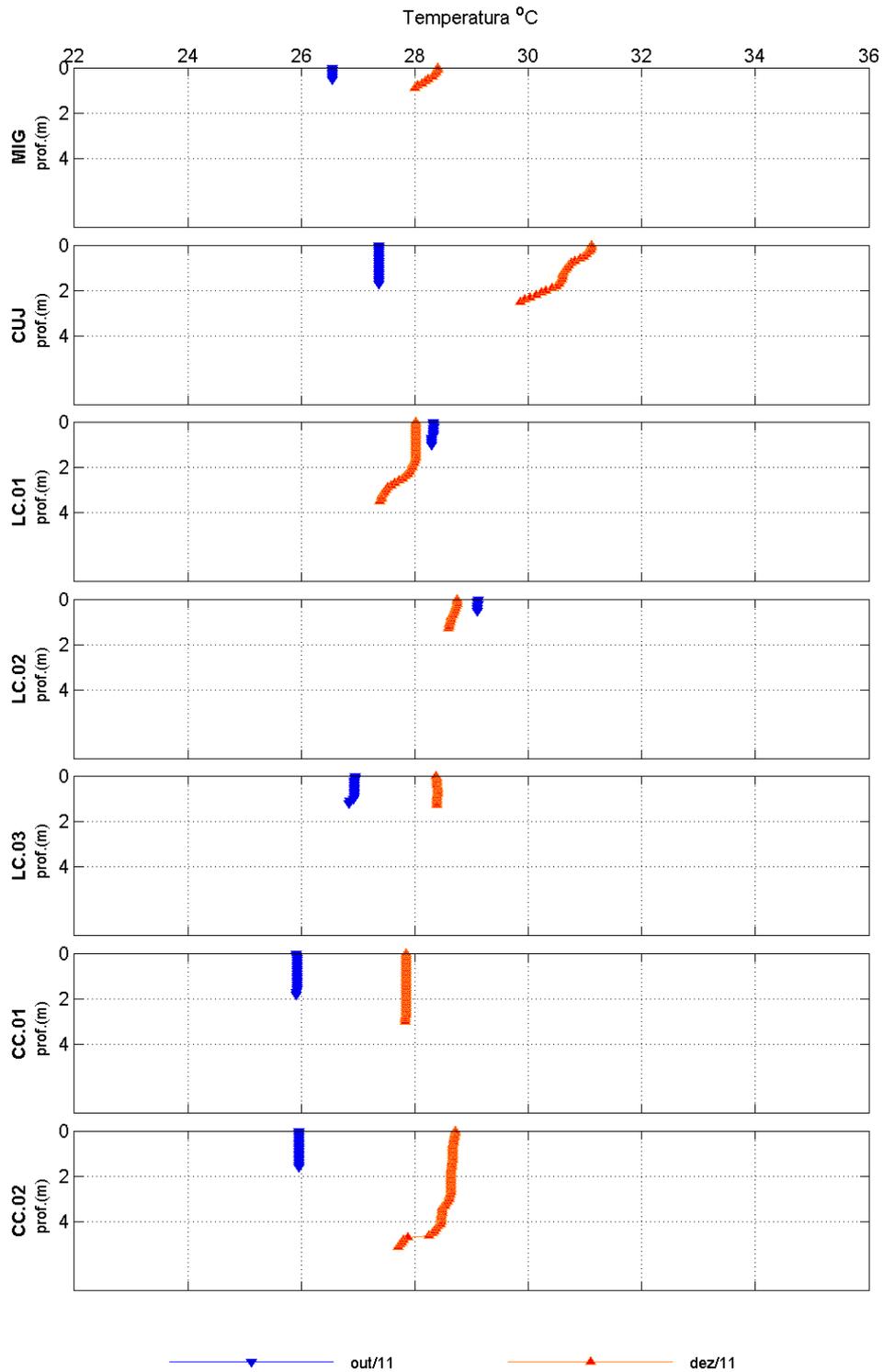


Figura 5.1-7 - Perfil de Temperatura da água nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

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 ao longo do enchimento foi de 18 ± 7 m (média \pm DP), com as médias variando entre 14 ± 7 m (média \pm DP) em outubro de 2011 e 24 ± 6 m (média \pm DP) em janeiro de 2012 (**Figura 5.1-8**). Houve aumento temporal da profundidade, uma vez que o nível da água do rio Madeira aumentou de outubro para janeiro.

O rio Madeira é turbido ao longo de todo o ano e, por isso, a transparência da água é sempre muito baixa. A média global encontrada para o enchimento nas estações situadas no corpo central do rio Madeira foi de $0,06 \pm 0,02$ m (média \pm DP). Não houve variação sazonal e os valores não foram diferentes entre montante e jusante, o que indica que o barramento não aumentou, até o presente momento, a transparência da água a montante (**Figura 5.1-9**).

A cor da água média variou entre 31 ± 13 mg Pt/L (média \pm DP) em outubro e 78 ± 24 mg Pt/L (média \pm DP) em janeiro de 2012. Não houve diferença entre os valores registrados na superfície (46 ± 26 mg Pt/L, média \pm DP) e no fundo (47 ± 25 mg Pt/L, média \pm DP) (**Figura 5.1-10**). Somente no mês de janeiro de 2012 os valores de cor não atenderam 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 no rio Madeira ao longo da fase de obra da UHE Santo Antônio, 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 $2,3 \pm 0,6$ km/h (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $5,3 \pm 1,2$ km/h (média \pm DP) em janeiro de 2012 (**Figura 5.1-11**). A média global foi de $3,4 \pm 1,4$ km/h (média \pm DP). A partir de dezembro, observou-se queda na velocidade de corrente na estação MON.01. Isso era esperado, uma vez que essa estação está imediatamente a montante da barragem do reservatório.

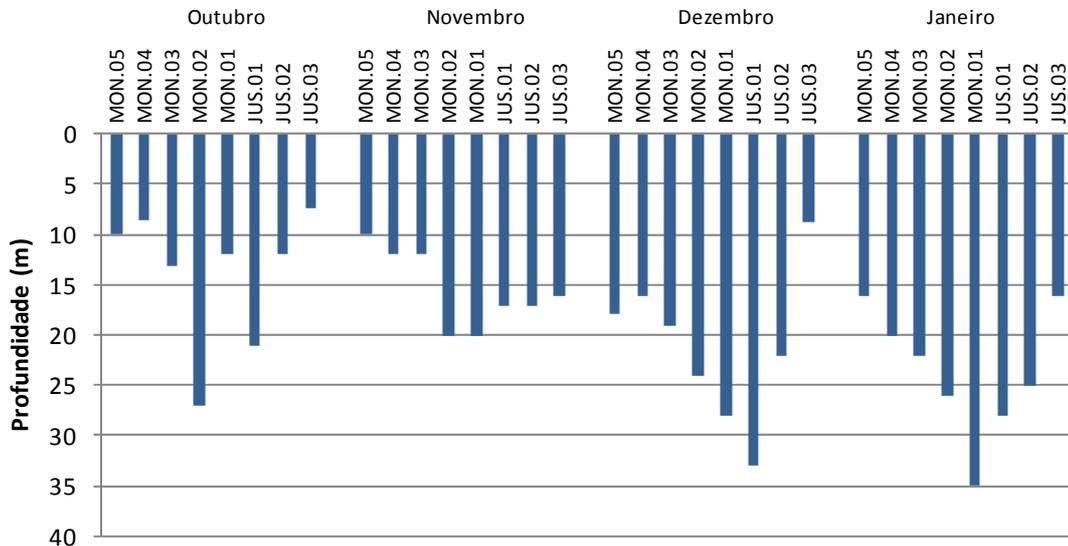


Figura 5.1-8 - Profundidade da coluna d'água no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

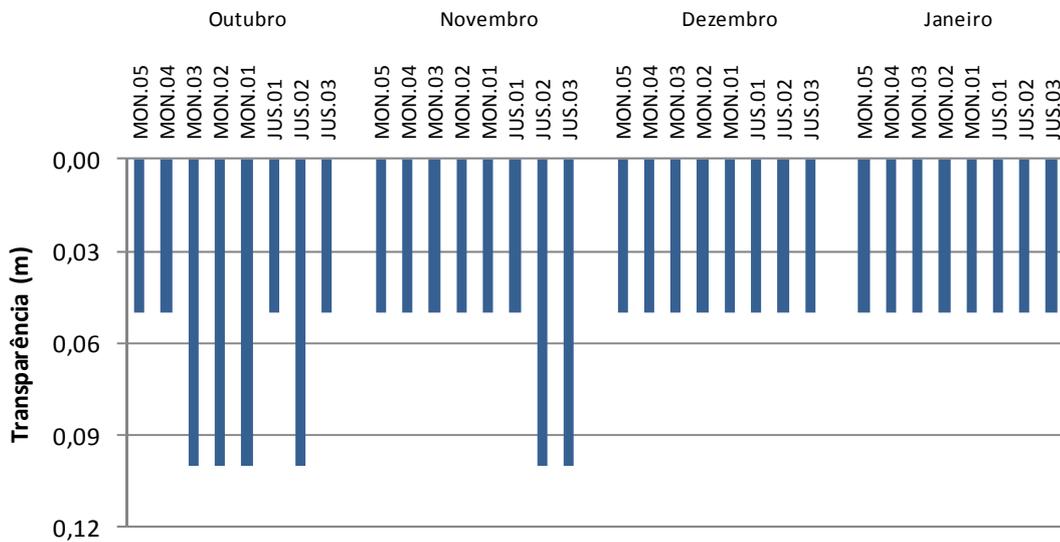


Figura 5.1-9 - Valores de transparência da água no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

UHE SANTO ANTONIO NO RIO MADEIRA

2382-00-MLM-RL-0011-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 11
(Relatório Consolidado do Enchimento)

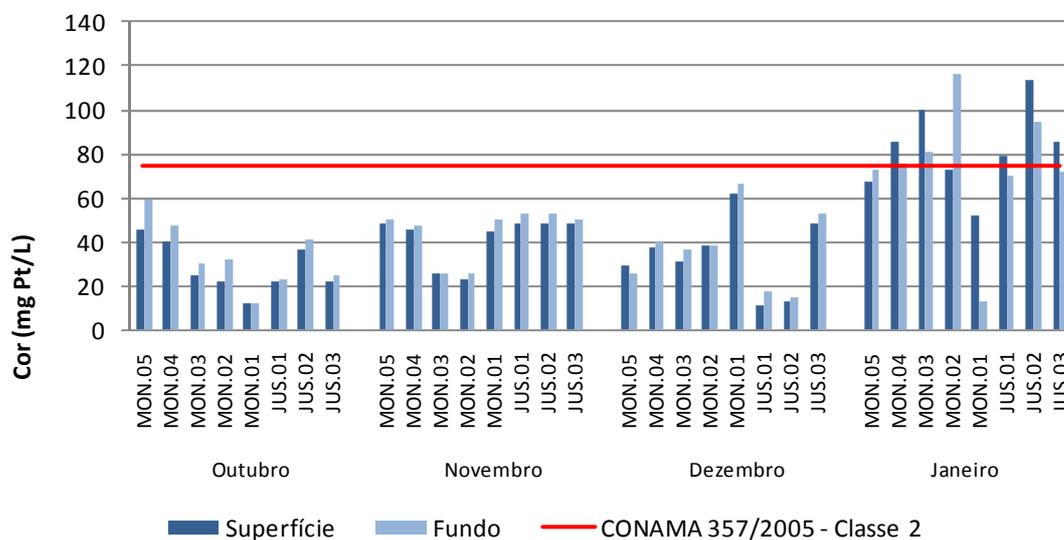


Figura 5.1-10 - Cor da água no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

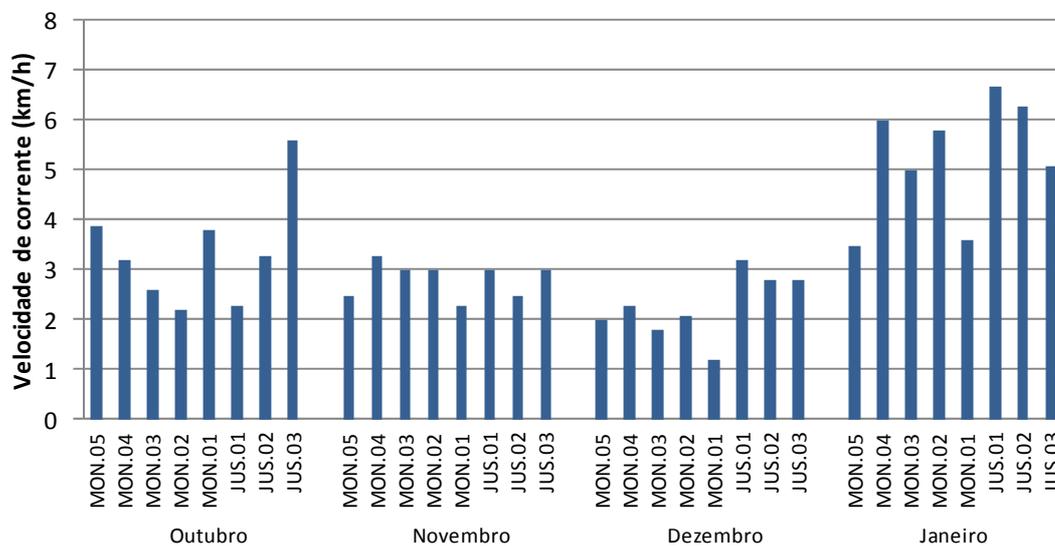


Figura 5.1-11 - Velocidade de corrente no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos tributários, a profundidade média ao longo do enchimento foi de $5,2 \pm 5,1$ m (média \pm DP), com as médias variando entre $1,4 \pm 0,5$ m (média \pm DP) em outubro de 2011 e $9,3 \pm 4,8$ m (média \pm DP) em janeiro de 2012 (**Figura 5.1-12**). Houve aumento temporal da profundidade, uma vez que o nível da água nos ambientes amostrados aumentou de outubro para janeiro. Além disso, o enchimento do reservatório contribuiu para as maiores profundidades registradas.

Nos tributários, por se tratarem de ambientes diferentes e desconectados, a transparência da água variou bastante entre as estações. A média global encontrada para o enchimento foi de $0,4 \pm 0,3$ m (média \pm DP). As médias oscilaram entre $0,36 \pm 0,26$ m (média \pm DP) em janeiro de 2012 e $0,52 \pm 0,34$ m (média \pm DP) em novembro de 2011 (**Figura 5.1-13**).

A cor da água média variou entre 46 ± 18 mg Pt/L (média \pm DP) em novembro de 2011 e 120 ± 117 mg Pt/L (média \pm DP) em janeiro de 2012 (**Figura 5.1-14**). Algumas estações não atenderam ao limite de 75 mg Pt/L preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de Classe 2, principalmente no mês de janeiro de 2012. O alagamento de áreas antes ocupadas por vegetação para formação do reservatório pode contribuir para o aumento da cor, uma vez que há aumento da concentração de compostos orgânicos dissolvidos na água. Além disso, os ambientes amostrados apresentam naturalmente valores mais elevados de cor da água em períodos de alto nível da água, como é o caso do mês de janeiro.

A velocidade de corrente nos tributários variou entre $1,8 \pm 0,7$ km/h (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $3,3 \pm 1,2$ km/h (média \pm DP) em outubro de 2012 (**Figura 5.1-15**). A média global foi de $1,7 \pm 1,5$ km/h (média \pm DP). A partir de novembro, observou-se queda na velocidade de corrente nas estações TE0, TEO.01, JAT I e JAT I.01. Isso era esperado, uma vez que essas estações estão situadas em braços do recém formado reservatório. Cabe salientar que no mês de janeiro de 2012 a velocidade de corrente não foi quantificada nos tributários.

UHE SANTO ANTONIO NO RIO MADEIRA

2382-00-MLM-RL-0011-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 11
(Relatório Consolidado do Enchimento)

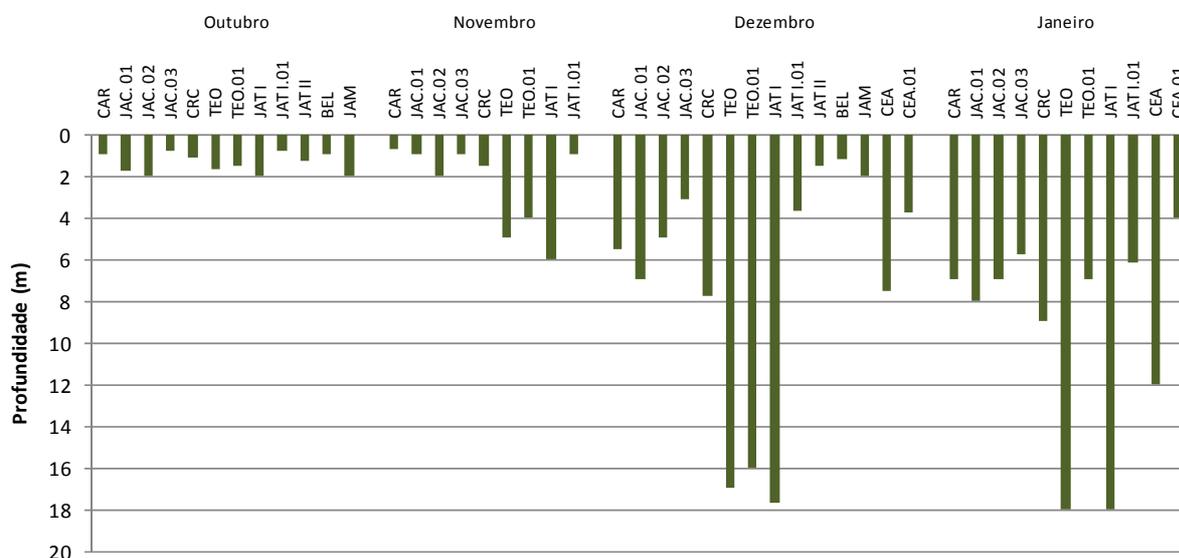


Figura 5.1-12 - Profundidade da coluna d'água nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

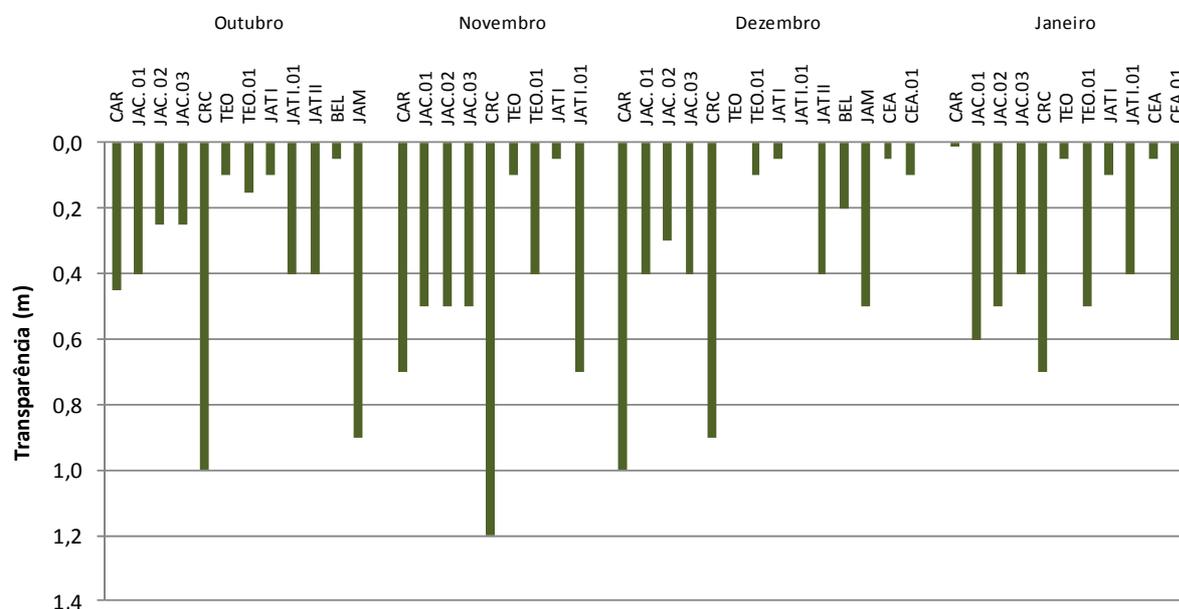


Figura 5.1-13 - Valores de transparência da água nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

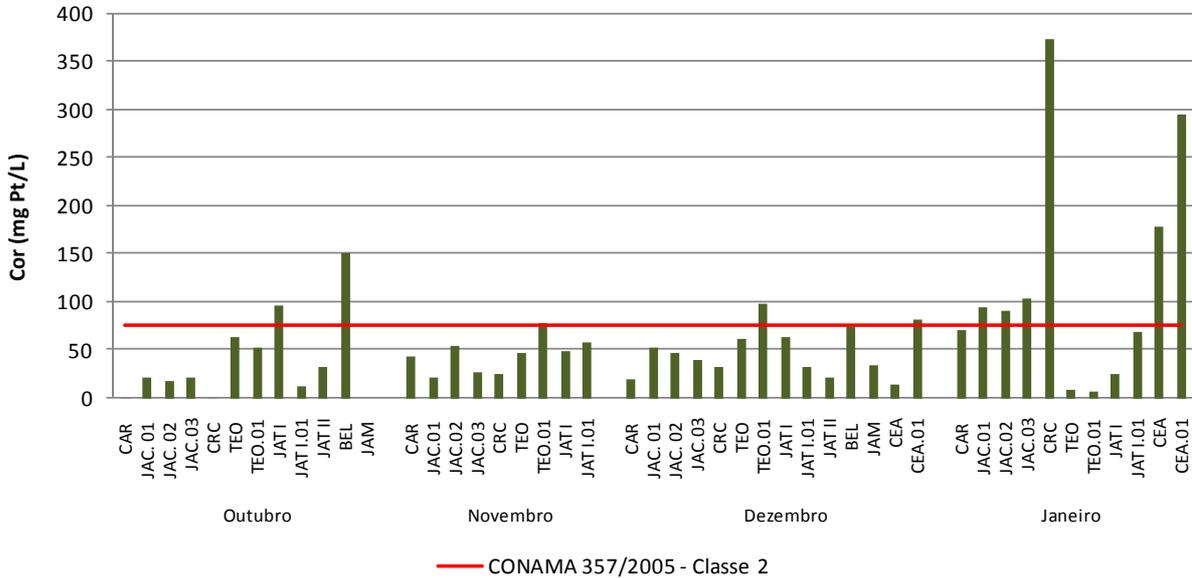


Figura 5.1-14 - Cor da água nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

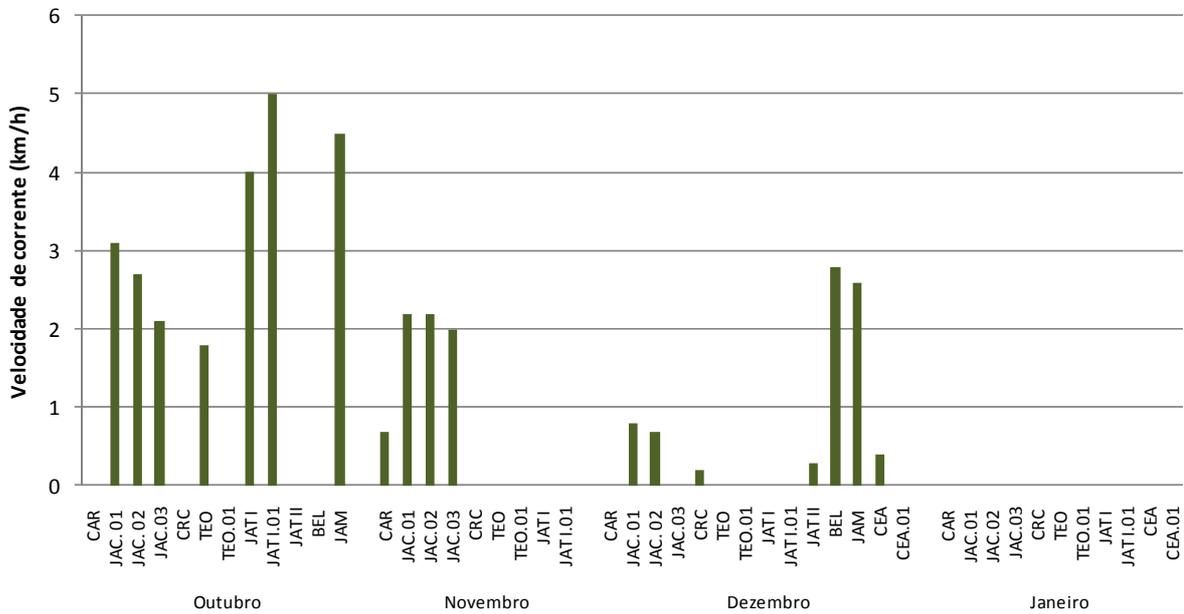


Figura 5.1-15 - Velocidade de corrente nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos lagos e canais a profundidade foi maior em dezembro ($2,6 \pm 1,5$ m, média \pm DP), quando o nível da água é geralmente maior do que em outubro ($1,7 \pm 0,9$ m, média \pm DP) (Figura 5.1-16).

Os valores médios da transparência dos lagos e canais foram de $0,33 \pm 0,12$ m (média \pm DP) em outubro de 2011 e $0,46 \pm 0,30$ m (média \pm DP) em dezembro de 2011. A estação CUJ apresentou maior transparência nos dois meses avaliados (Figura 5.1-17).

A cor da água dos lagos e canais teve uma média de $37,2 \pm 49$ mg Pt/L (média \pm DP), variando entre 0 mg Pt/L (LC.01 e LC.03) a 128,3 mg Pt/L (MIG) (Figura 5.1-18). Somente a estação MIG, em outubro de 2011, não atendeu ao limite de 75 mg Pt/L preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005.

Nos lagos e canais, não foi observada velocidade de corrente, pois tratam-se de ambientes lênticos. Os resultados obtidos sugerem que a criação do reservatório da UHE Santo Antônio não provocou alterações na profundidade, na transparência, na cor e na velocidade de corrente dos lagos e canais.

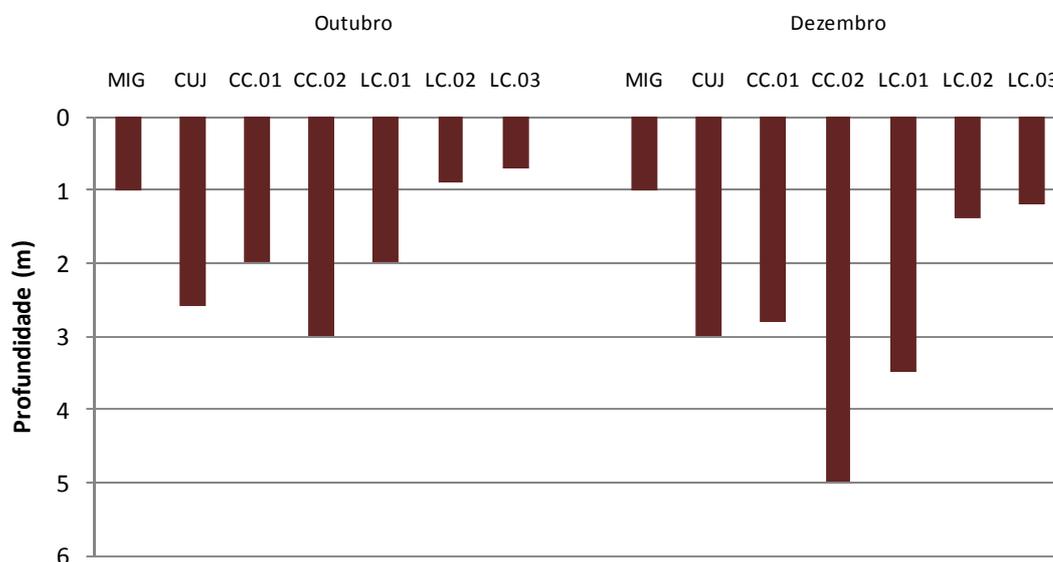


Figura 5.1-16 - Profundidade da coluna d'água nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

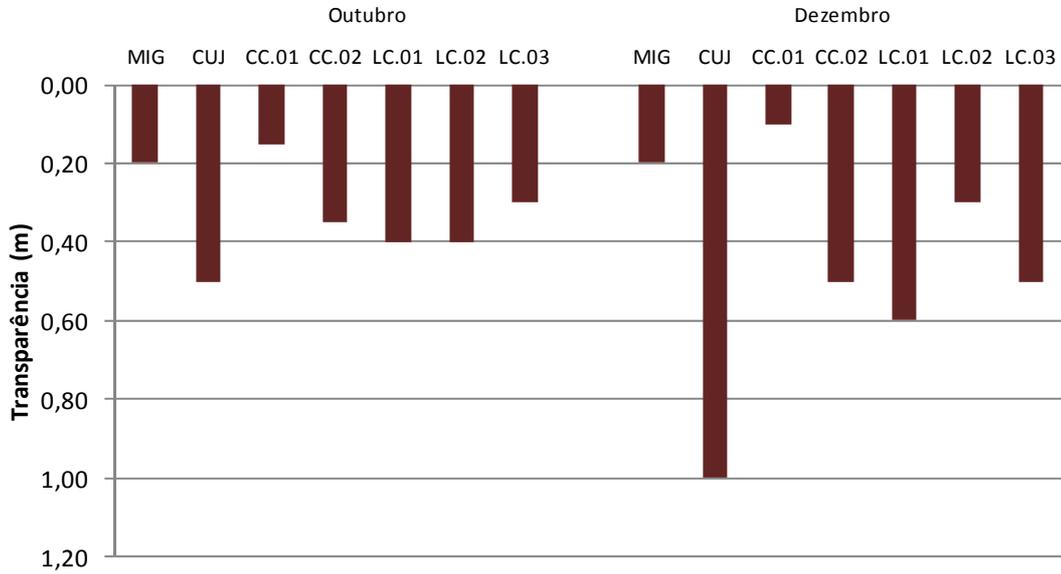


Figura 5.1-17 - Valores de transparência nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

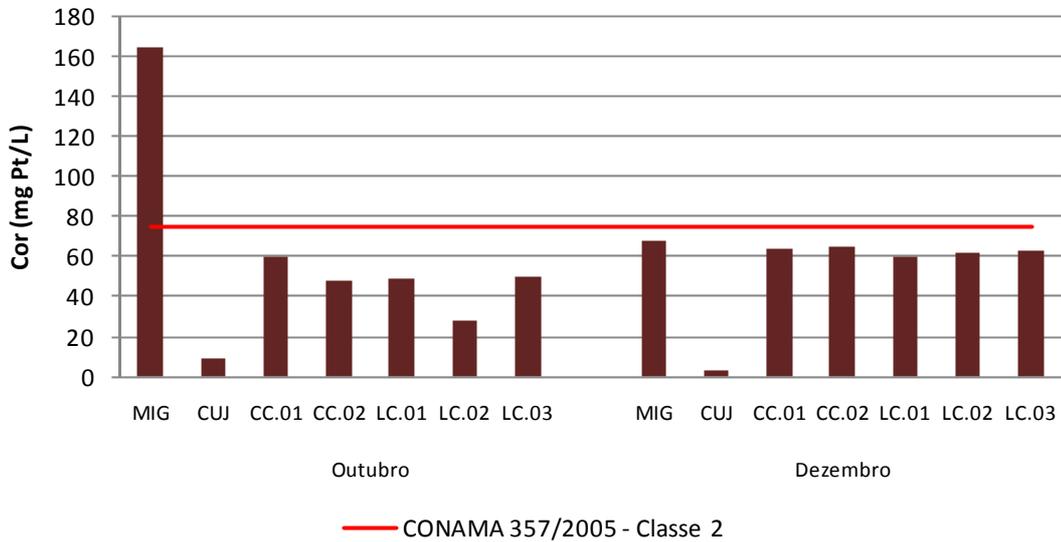


Figura 5.1-18 - Cor da água nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

5.1.2 - Físicas C

5.1.2.1 - Turbidez

A turbidez do rio Madeira apresentou média global de 353 ± 186 NTU (média \pm DP) para a superfície e 384 ± 203 NTU (média \pm DP) para o fundo. Os menores valores foram verificados no mês de outubro (210 ± 31 NTU, média \pm DP) e os maiores no mês janeiro de 2012 (674 ± 77 NTU, média \pm DP) (Figura 5.1-19). A turbidez média registrada no Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas foi de 311 ± 215 NTU (média \pm DP), valor próximo ao encontrado nos meses de enchimento do reservatório, exceto em janeiro de 2012 onde foi registrado um aumento nos valores de turbidez, que provavelmente está ligada ao pulso de inundação que atinge o rio Madeira anualmente. Os perfis de turbidez indicaram que não houve grande diferença entre superfície e fundo na maioria dos meses amostrados. Apenas em janeiro de 2012 ocorreram grandes variações verticais, com variação irregular ao longo da coluna d'água (Figura 5.1-20).

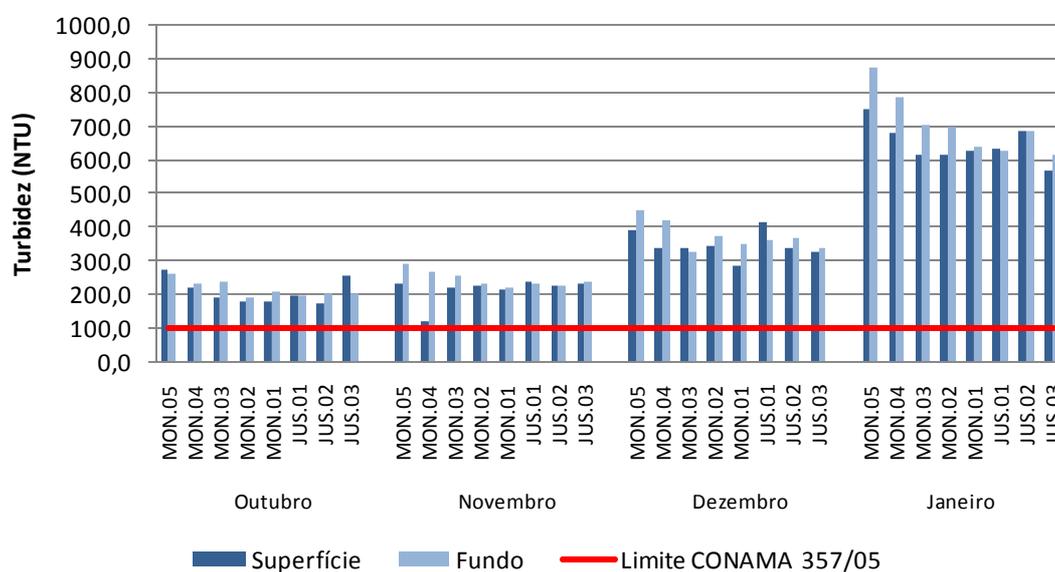


Figura 5.1-19 - Valores de turbidez no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

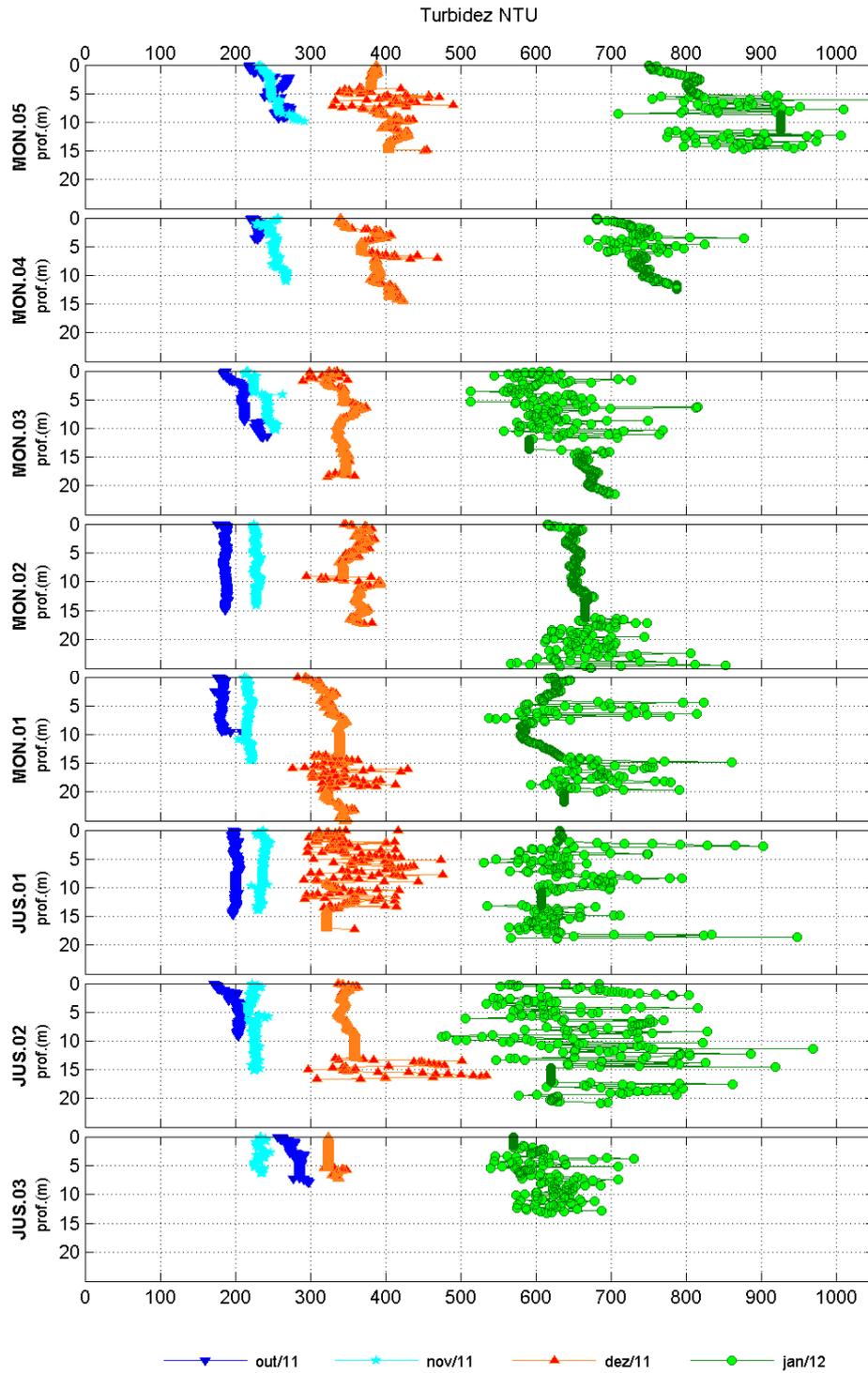


Figura 5.1-20 - Perfis de turbidez no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

A turbidez dos tributários variou de 61 ± 75 NTU (média \pm DP) em novembro de 2011 a 226 ± 261 NTU (média \pm DP) em janeiro de 2012, com concentrações maiores no meio (259 ± 259 NTU, média \pm DP) e menores na superfície (99 ± 128 NTU, média \pm DP) (Figura 5.1-21). Os valores de turbidez mais elevados encontrados nos meses de dezembro de 2011 e janeiro de 2012 foram causados por valores mais altos registrados nas estações JAT I, TEO e CEA, estações que apresentaram características da água semelhantes às 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. Os perfis de turbidez indicaram que não houve grande diferença entre superfície e fundo na maioria dos meses e estações amostradas, com exceção das estações TEO (dezembro de 2011 e janeiro de 2012), TEO.01 (dezembro de 2011), JAT I (dezembro de 2011 e janeiro de 2012) e CEA (janeiro 2012), que apresentaram certa variação sem um padrão definido (Figura 5.1-22).

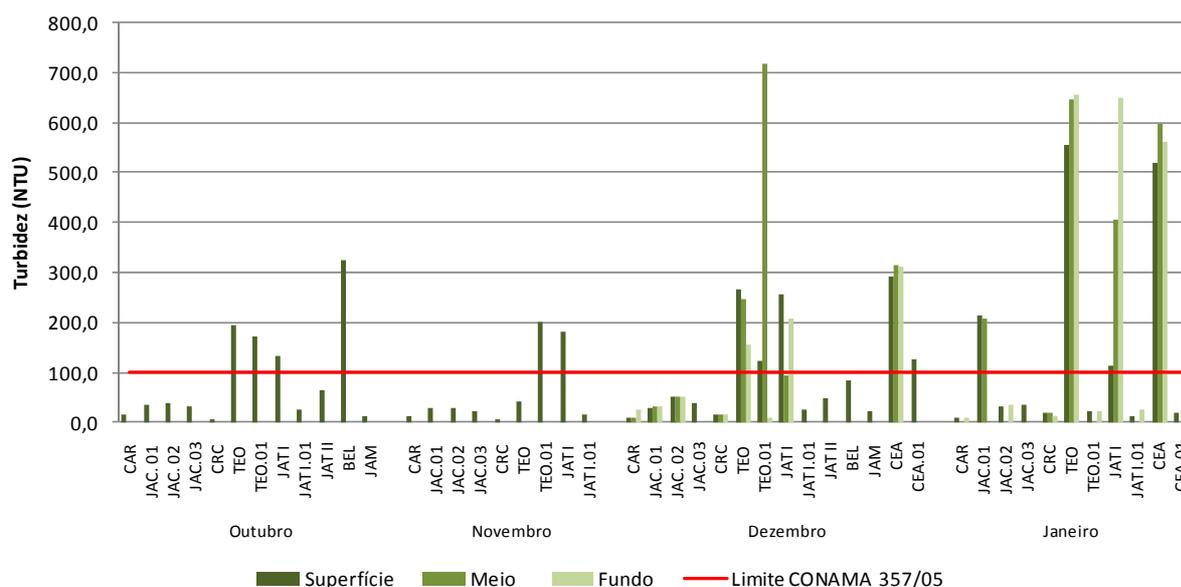
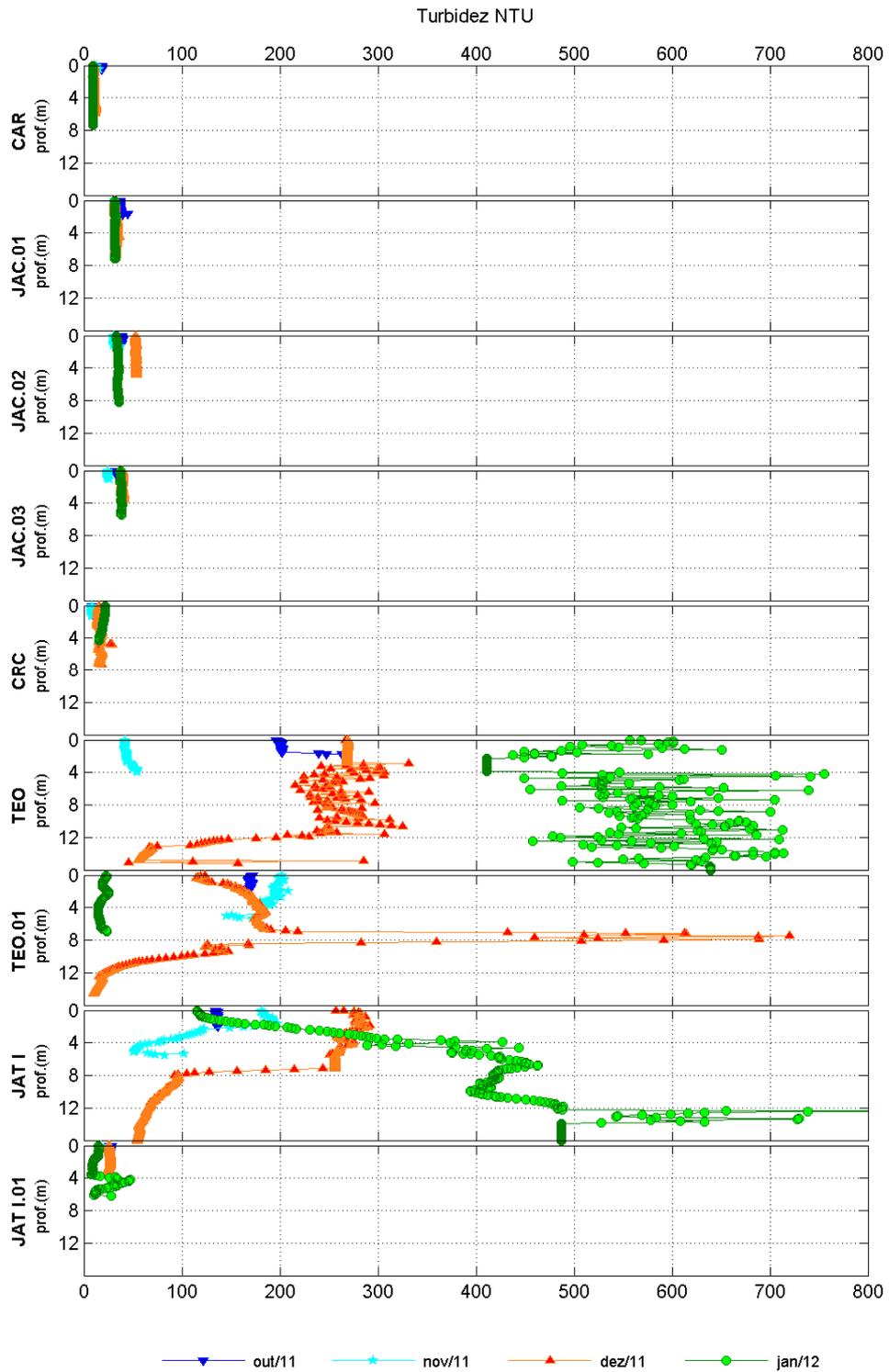


Figura 5.1-21 - Valores de turbidez nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.



A turbidez dos lagos e canais apresentou média global de 49 ± 43 NTU (média \pm DP) para a superfície. Os menores valores foram verificados no mês de outubro (52 ± 41 NTU, média \pm DP) e os maiores no mês janeiro de 2012 (71 ± 72 NTU, média \pm DP) (Figura 5.1-23). Os perfis de turbidez indicaram que não houve grande diferença entre superfície e fundo na maioria dos meses amostrados (Figura 5.1-24).

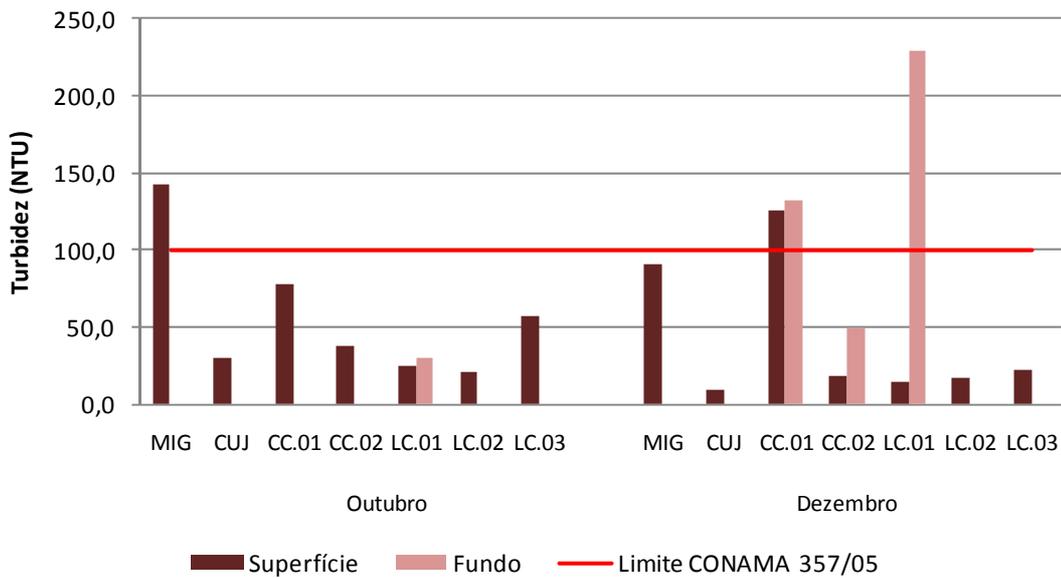


Figura 5.1-23- Valores de turbidez nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

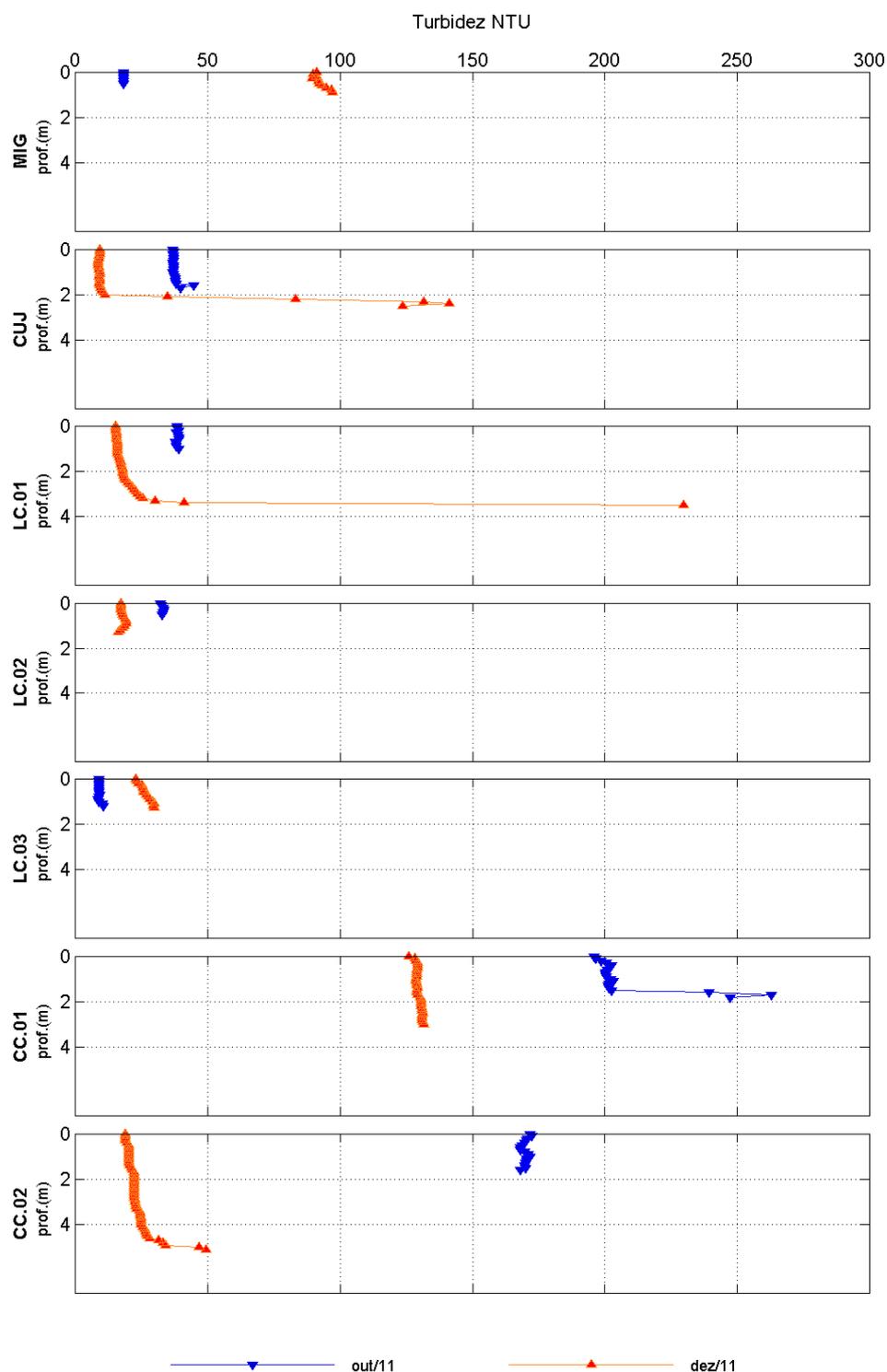


Figura 5.1-24 - Perfis de turbidez nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011 .

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 (McClain & Naiman, 2008). 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, as estações TEO, TEO.01, BEL, JAT I e CEA não atenderam à referida legislação. Essas estações estão em braços do reservatório e possuem água oriunda do rio Madeira. Já nos lagos e canais, somente as estações MIG em outubro de 2011, CC.01 e LC.01 (fundo) em dezembro de 2011 não estiveram em conformidade com a legislação.

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 global dos sólidos totais foi de 376 ± 214 mg/L (média \pm DP) para a superfície e 430 ± 239 mg/L (média \pm DP) para o fundo, os menores valores foram verificados no mês de outubro de 2011 (242 ± 90 mg/L, média \pm DP) e os maiores no mês janeiro de 2012 (748 ± 115 mg/L, média \pm DP) (Figura 5.1-25). Esse padrão é semelhante ao registrado no Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira entre janeiro de 2009 e agosto de 2011, que relata maiores valores nos períodos de águas altas e, principalmente, na enchente (dezembro/janeiro) e os menores valores nos períodos de vazante e águas baixas (outubro).

A fração suspensa foi a mais frequente no rio Madeira, tendo respondido por 78% do total. As concentrações médias de sólidos em suspensão variaram entre 176 ± 18 mg/L (média \pm DP) em novembro de 2011 e 609 ± 84 mg/L (média \pm DP) em janeiro de 2012, com média global de 302 ± 184 mg/L (média \pm DP) para a superfície e 327 ± 192 mg/L (média \pm DP) para o fundo (Figura 5.1-26). Os sólidos totais dissolvidos apresentaram concentração média global de 86 ± 69 mg/L (média \pm DP) para a superfície e 102 ± 78 mg/L (média \pm DP) para o fundo. As concentrações

médias variaram entre 49 ± 20 mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 e 142 ± 65 mg/L (média \pm DP) em novembro de 2011 (Figura 5.1-27).

Em relação à volatilidade, a fração fixa foi a mais comum, contribuindo em média com 77% do total. As concentrações de sólidos fixos variaram entre 168 ± 64 mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 e 258 ± 44 mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011. O valor médio global foi de 270 ± 146 mg/L (média \pm DP) para a superfície e 253 ± 67 mg/L (média \pm DP) para o fundo (Figura 5.1-28). Já os sólidos voláteis apresentaram média global de 60 ± 35 mg/L (média \pm DP), com os valores médios dos períodos oscilando entre 59 ± 45 mg/L (média \pm DP) outubro de 2011 e 61 ± 21 mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 (Figura 5.1-29).

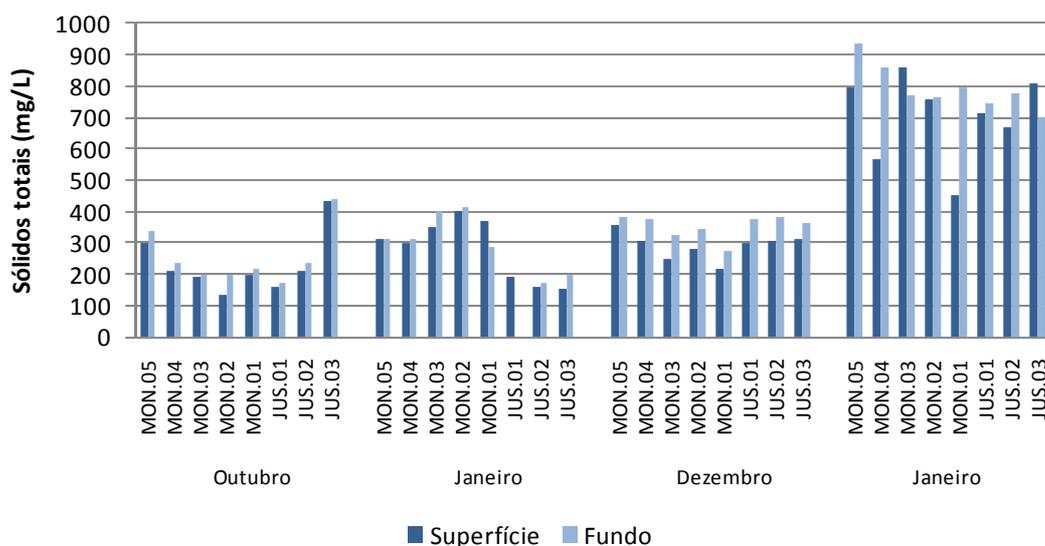


Figura 5.1-25 - Concentrações de Sólidos totais no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

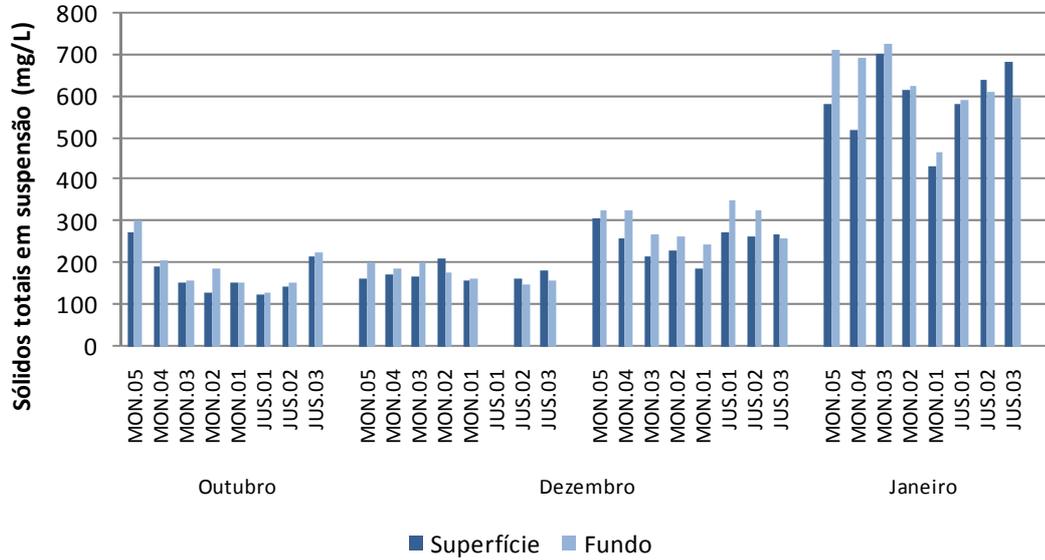


Figura 5.1-26 - Concentrações de Sólidos em suspensão no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

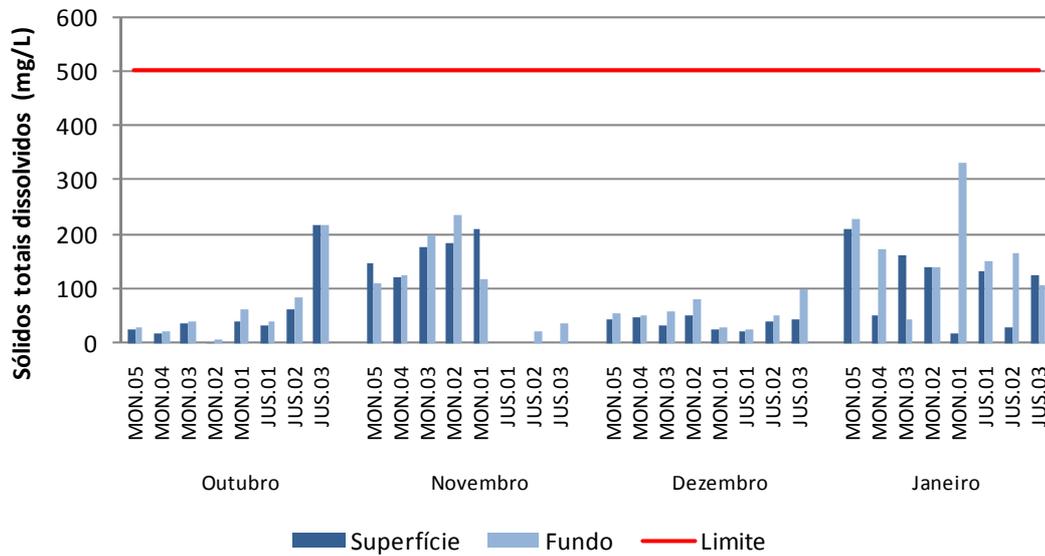


Figura 5.1-27 - Concentrações de Sólidos totais dissolvidos no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

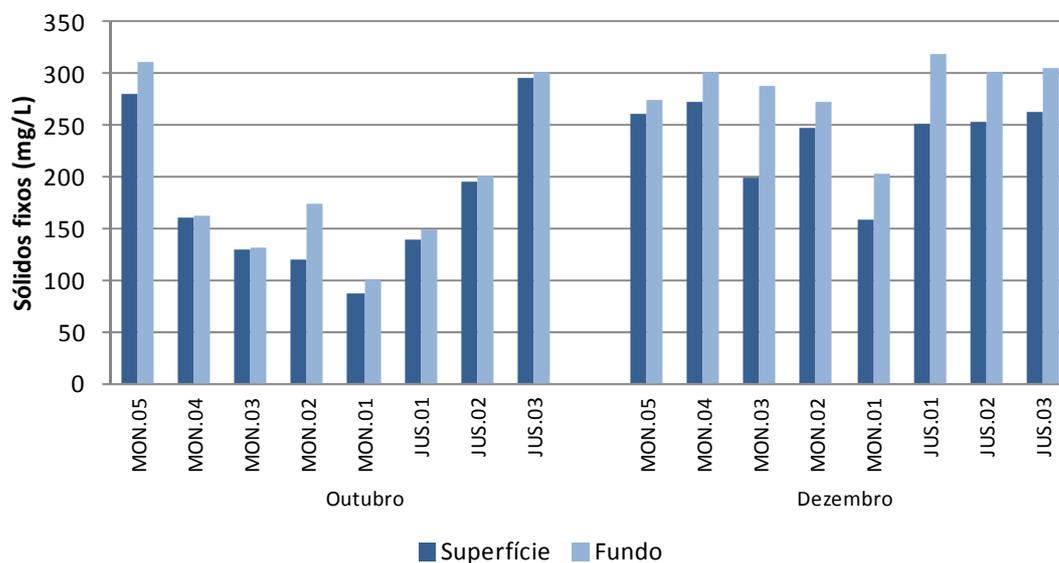


Figura 5.1-28 - Concentrações de Sólidos fixos no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

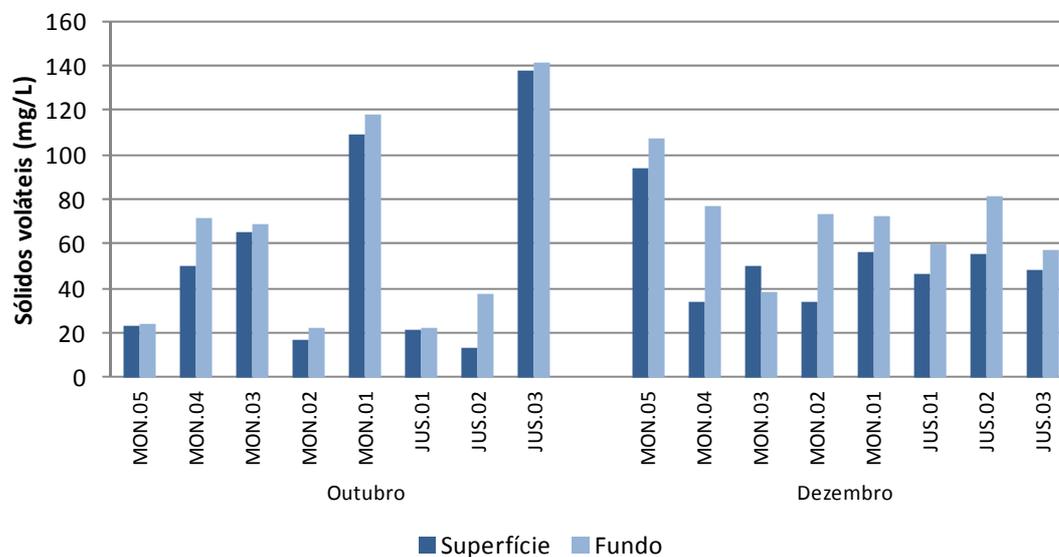


Figura 5.1-29 - Concentrações de Sólidos voláteis no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

As concentrações de sólidos nos tributários foram inferiores às encontradas no rio Madeira. Os sólidos totais apresentaram média global de 126 ± 105 mg/L (média \pm DP), os menores valores foram verificados no mês de outubro de 2011 (107 ± 66 mg/L, média \pm DP) e os maiores no mês de dezembro de 2011 (148 ± 79 mg/L, média \pm DP) (**Figura 5.1-30**). Os valores médios de sólidos em suspensão oscilaram entre 29 ± 27 mg/L (média \pm DP) em novembro de 2011 e 87 ± 157 mg/L (média \pm DP) em janeiro de 2012, sendo a média global igual a 56 ± 88 mg/L (média \pm DP) (**Figura 5.1-31**). Em janeiro de 2012 as estações TEO e CEA apresentaram valores de sólidos totais e em suspensão próximos aos encontrados no rio Madeira, pois 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 sólidos totais dissolvidos apresentaram concentração média global de 69 ± 57 mg/L (média \pm DP). As concentrações médias oscilaram entre 25 ± 52 mg/L (média \pm DP) em janeiro de 2012 e 107 ± 73 mg/L (média \pm DP) em novembro de 2011 (**Figura 5.1-32**). Os resultados mostram que houve certa equivalência na composição dos sólidos totais em relação ao tamanho das partículas, com discreto pendor para os sólidos dissolvidos, que responderam por 55% do total.

Em relação à volatilidade, os sólidos fixos e voláteis foram quantificados apenas nos meses de outubro e dezembro de 2011. Os sólidos fixos apresentaram concentrações que variaram entre 83 ± 55 mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 e 92 ± 50 mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011. O valor médio global foi de 85 ± 52 mg/L (média \pm DP) (**Figura 5.1-33**), a fração fixa foi a mais comum, contribuindo em média com 66% do total. Já os sólidos voláteis apresentaram média global de 44 ± 46 mg/L (média \pm DP), com os valores médios dos períodos oscilando entre 29 ± 17 mg/L (média \pm DP) outubro de 2011 e 56 ± 60 mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 (**Figura 5.1-34**).

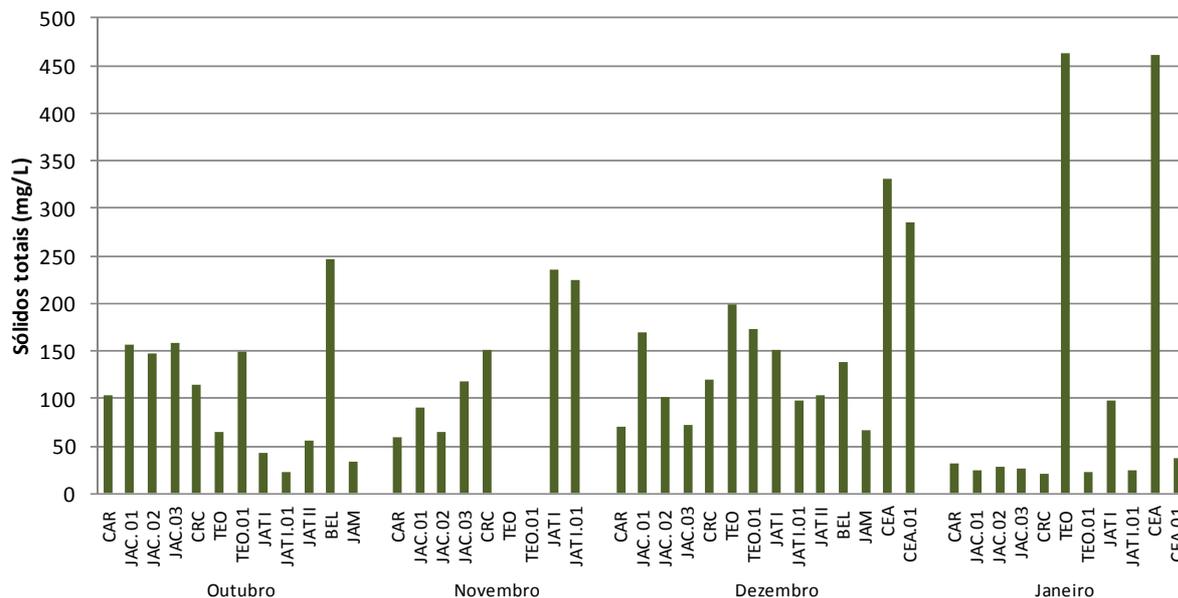


Figura 5.1-30 - Concentrações de sólidos totais nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

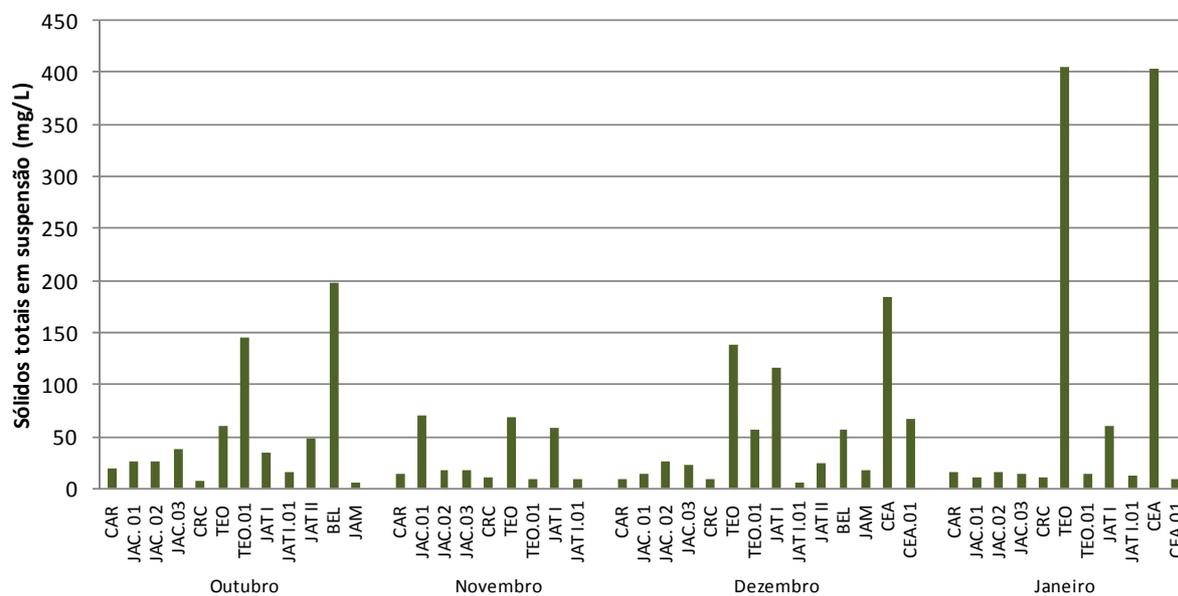


Figura 5.1-31 - Concentrações de sólidos em suspensão nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

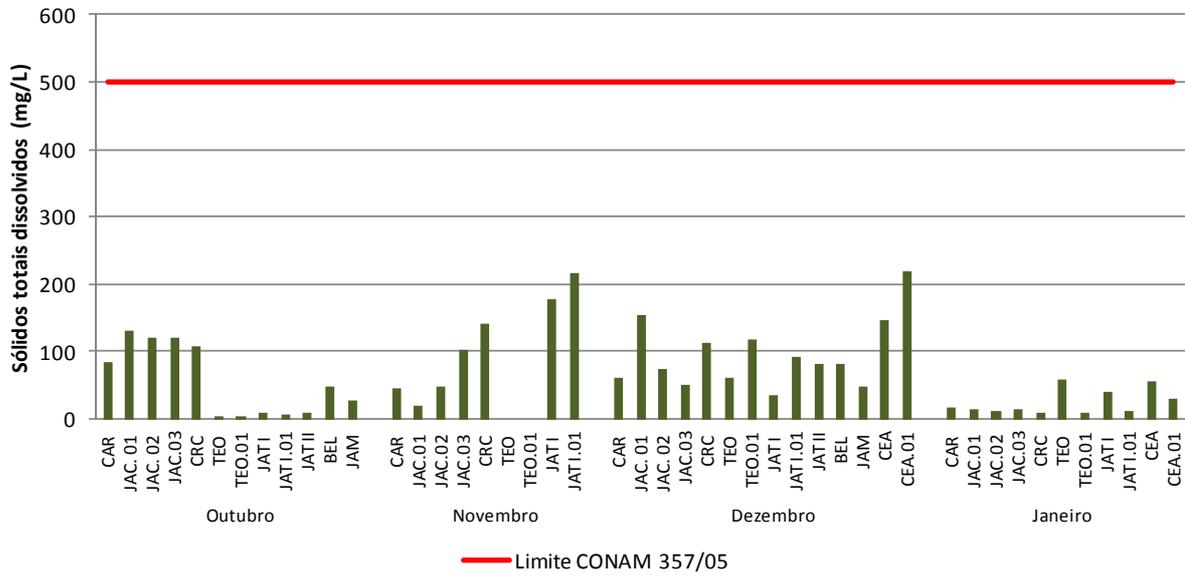


Figura 5.1-32 - Concentrações de sólidos totais dissolvidos nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

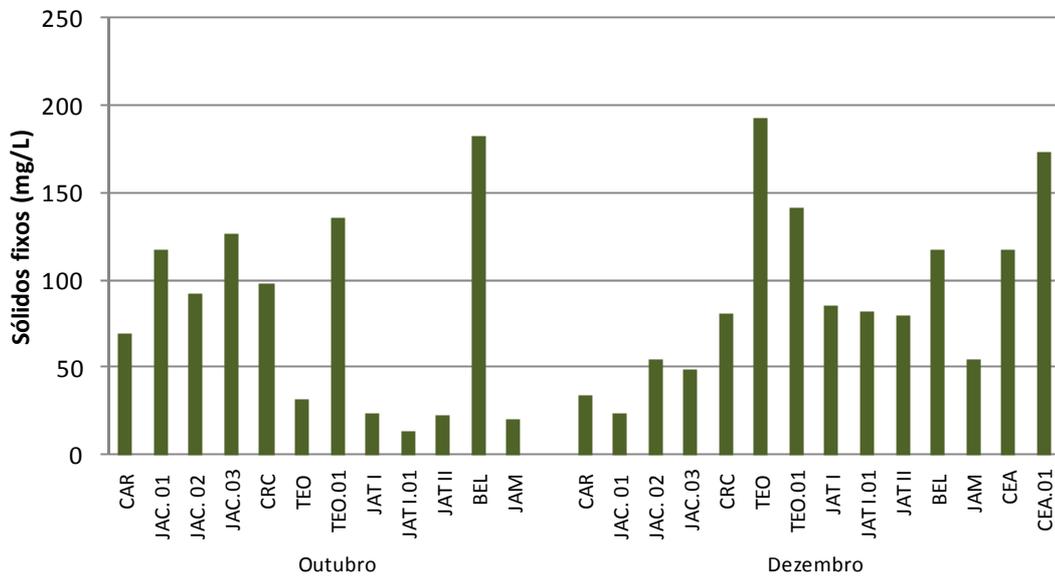


Figura 5.1-33 - Concentrações de sólidos fixos nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

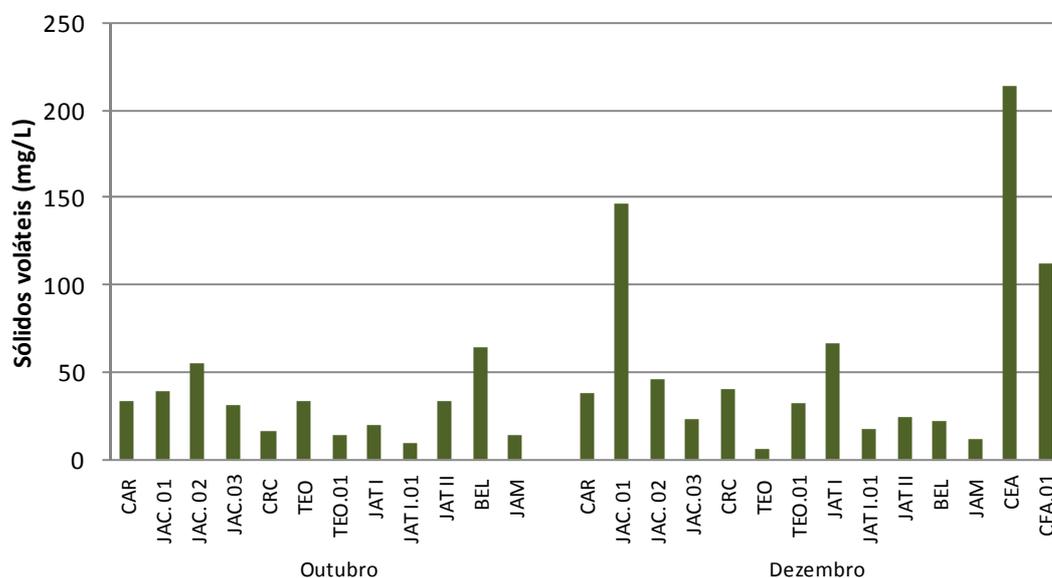


Figura 5.1-34 - Concentrações de sólidos voláteis nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

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 87 ± 52 mg/L (média \pm DP) para a superfície e 111 ± 48 mg/L (média \pm DP) para o fundo. Os valores médios oscilaram entre 58 ± 50 mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 e 120 ± 32 mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 (**Figura 5.1-35**).

Os sólidos em suspensão apresentaram média global de 30 ± 30 mg/L (média \pm DP) para a superfície e 46 ± 58 mg/L (média \pm DP) para o fundo. Os valores de sólidos em suspensão quase não variaram temporalmente, com menores valores registrados em outubro de 2011 (25 ± 10 mg/L, média \pm DP) e maiores em dezembro de 2011 (40 ± 48 mg/L, média \pm DP) (**Figura 5.1-36**). A estação CC.01 destacou-se no mês de dezembro de 2011, o que pode estar relacionado à influência do pulso de inundação do rio Madeira. Já os sólidos totais dissolvidos variaram de 33 ± 55 mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 a 80 ± 35 mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011, com valor médio global de 57 ± 55 mg/L (média \pm DP) para superfície e 65 ± 31 mg/L (média \pm DP) para o fundo (**Figura 5.1-37**). A fração dissolvida foi a mais comum, tendo respondido por 65% do total.

Houve equivalência na relação sólidos fixos/sólidos voláteis nos lagos e canais, com discreta tendência para os sólidos fixos, que representaram, em média, 58% do total. As concentrações médias de sólidos fixos oscilaram entre 35 ± 37 mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 e 73 ± 43 mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011, com valor médio global de 50 ± 40 mg/L (média \pm DP) para a superfície e 77 ± 54 mg/L (média \pm DP) para o fundo (Figura 5.1-38). Os sólidos voláteis apresentaram média global de 36 ± 33 mg/L (média \pm DP), com oscilação dos valores médios entre 22 ± 15 mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 e 46 ± 36 mg/L (média \pm DP) dezembro de 2011 (Figura 5.1-39).

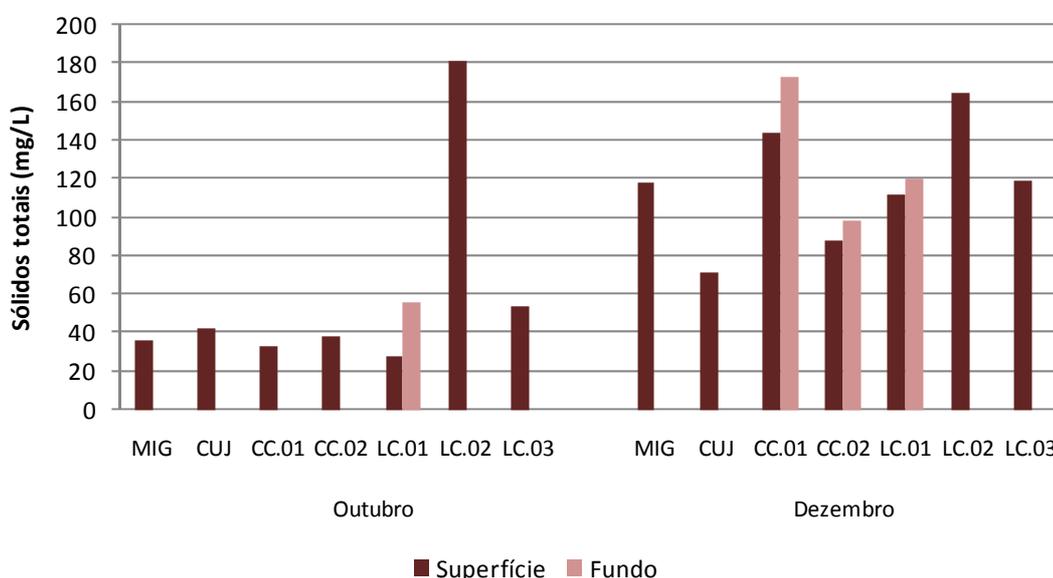


Figura 5.1-35 - Concentrações de sólidos totais nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

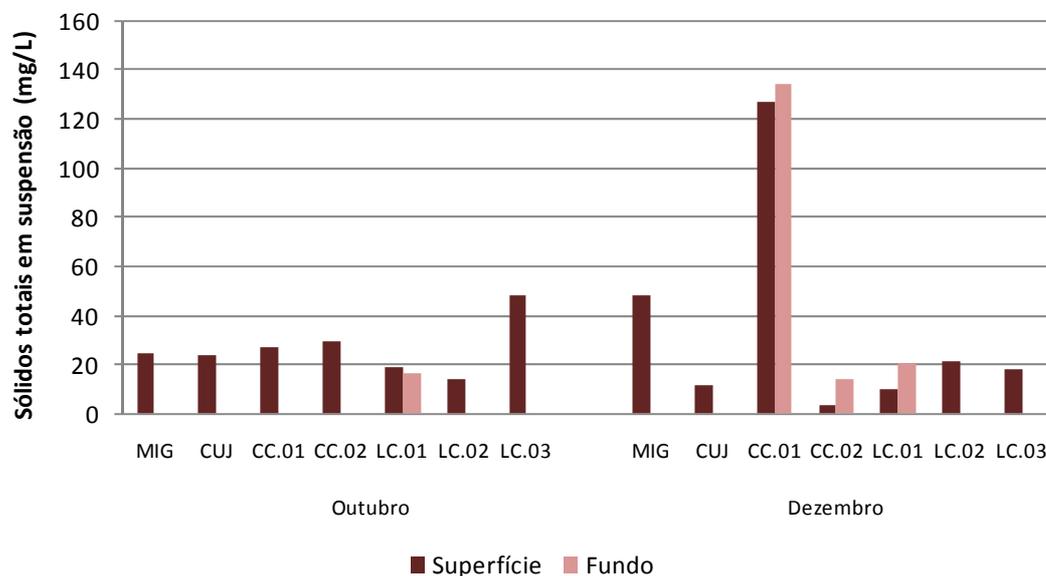


Figura 5.1-36 - Concentrações de sólidos em suspensão nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

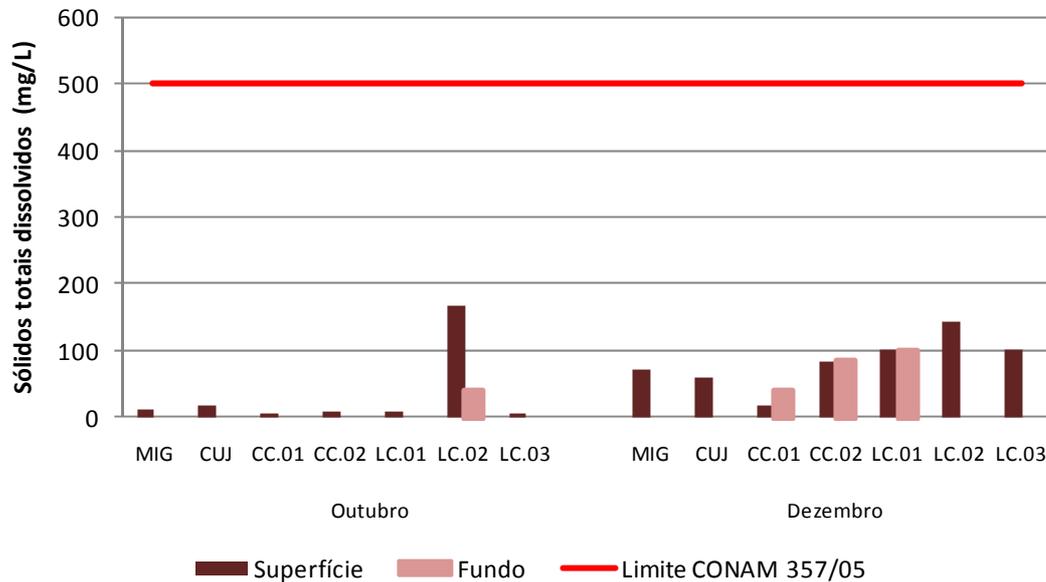


Figura 5.1-37 - Concentrações de sólidos totais dissolvidos nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

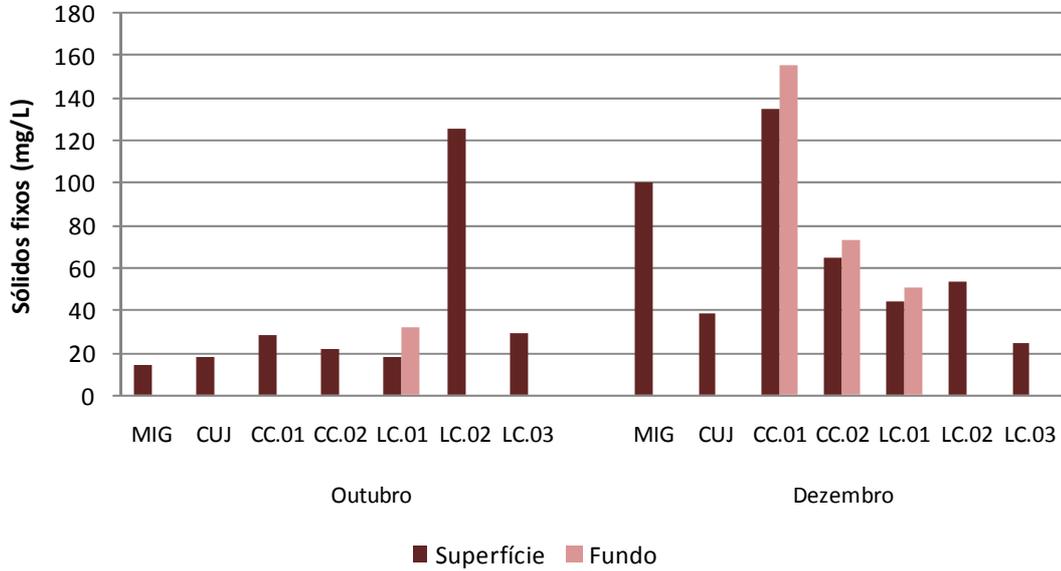


Figura 5.1-38 - Concentrações de sólidos fixos nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

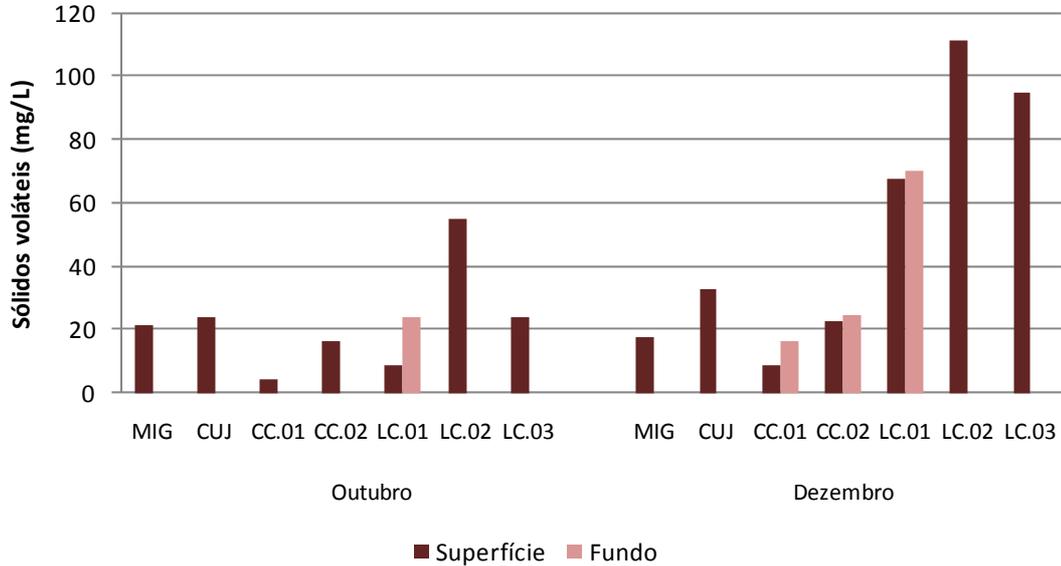


Figura 5.1-39 - Concentrações de sólidos voláteis nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

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 condutividade no rio Madeira decresceu ao longo do tempo (outubro de 2011 à janeiro de 2012). A média global foi de $104 \pm 15 \mu\text{S}/\text{cm}$ (média \pm DP) tanto para a superfície quanto para o fundo (Figura 5.1-40). A média global registrada no Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas foi de $92 \pm 29 \mu\text{S}/\text{cm}$, valor bem próximo ao registrado no presente estudo. Os valores de condutividade encontrados no 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 5.1-41).

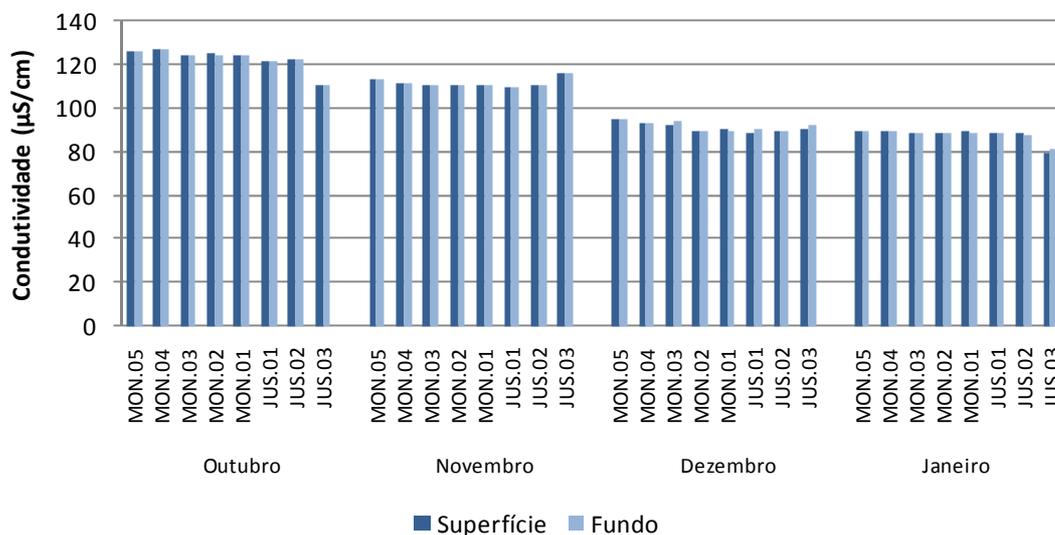


Figura 5.1-40 - Condutividade elétrica no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

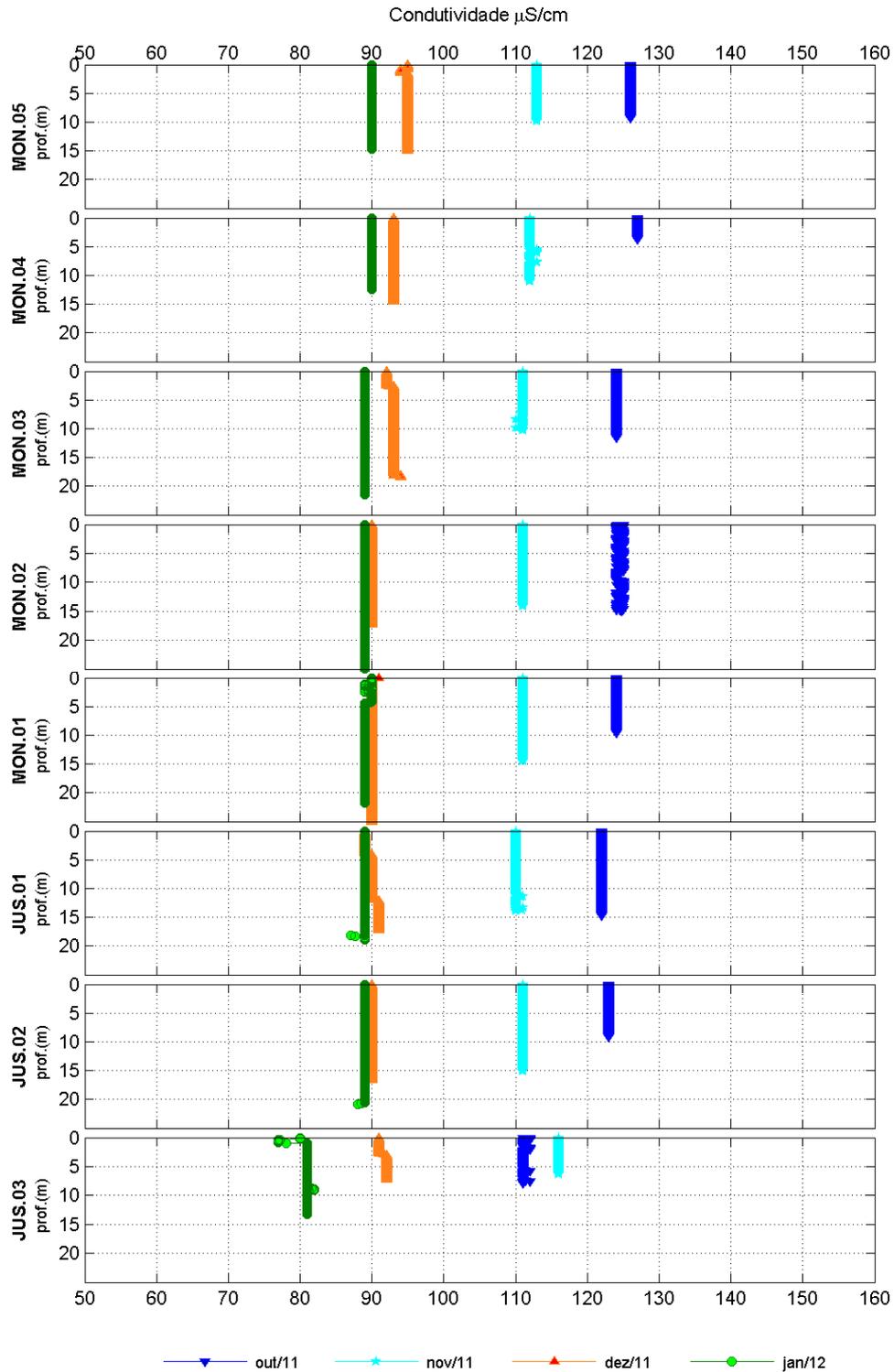


Figura 5.1-41 - Perfis de Condutividade elétrica no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

A condutividade elétrica dos tributários apresentou valores menores do que os encontrados no rio Madeira, variando de $16 \pm 9,2 \mu\text{S}/\text{cm}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 a $58 \pm 40 \mu\text{S}/\text{cm}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011, com concentrações maiores no meio ($61 \pm 39 \mu\text{S}/\text{cm}$, média \pm DP) e menores na superfície ($37 \pm 35 \mu\text{S}/\text{cm}$, média \pm DP) (Figura 5.1-42). Os valores de condutividade mais elevados encontrados nos meses de dezembro de 2011 e janeiro de 2012 foram causados por valores mais altos registrados nas estações JAT I, TEO, TEO.01 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 TEO (dezembro de 2011), TEO.01 (janeiro de 2012), JAT I (dezembro de 2011), JAT I.01 (dezembro de 2011 e janeiro de 2012) e CEA.01 (dezembro de 2011 e janeiro de 2012), que apresentaram diferenças entre superfície e fundo (Figura 5.1-43). 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.

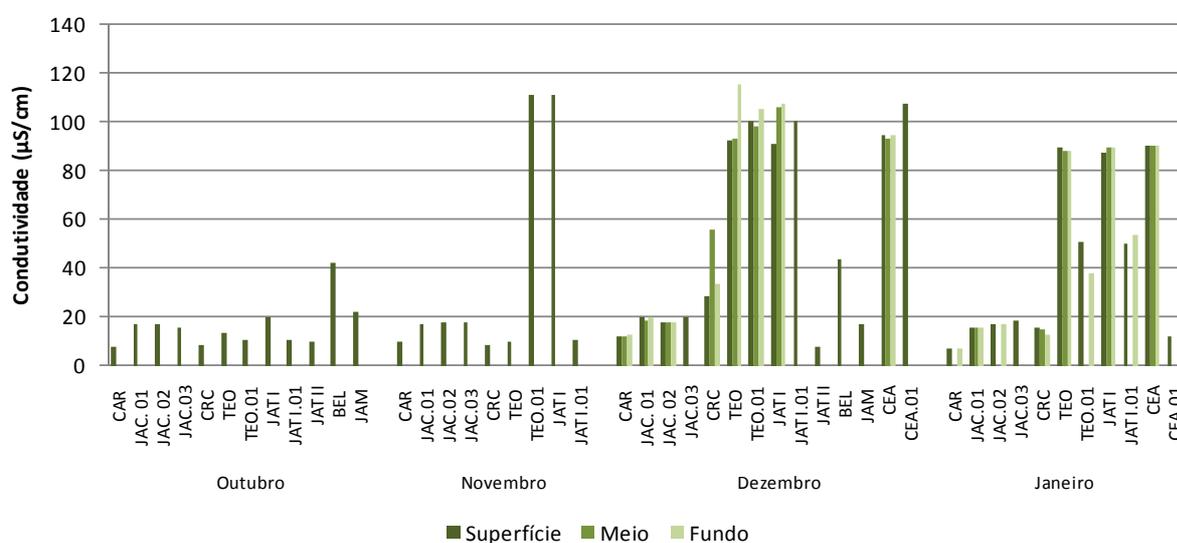
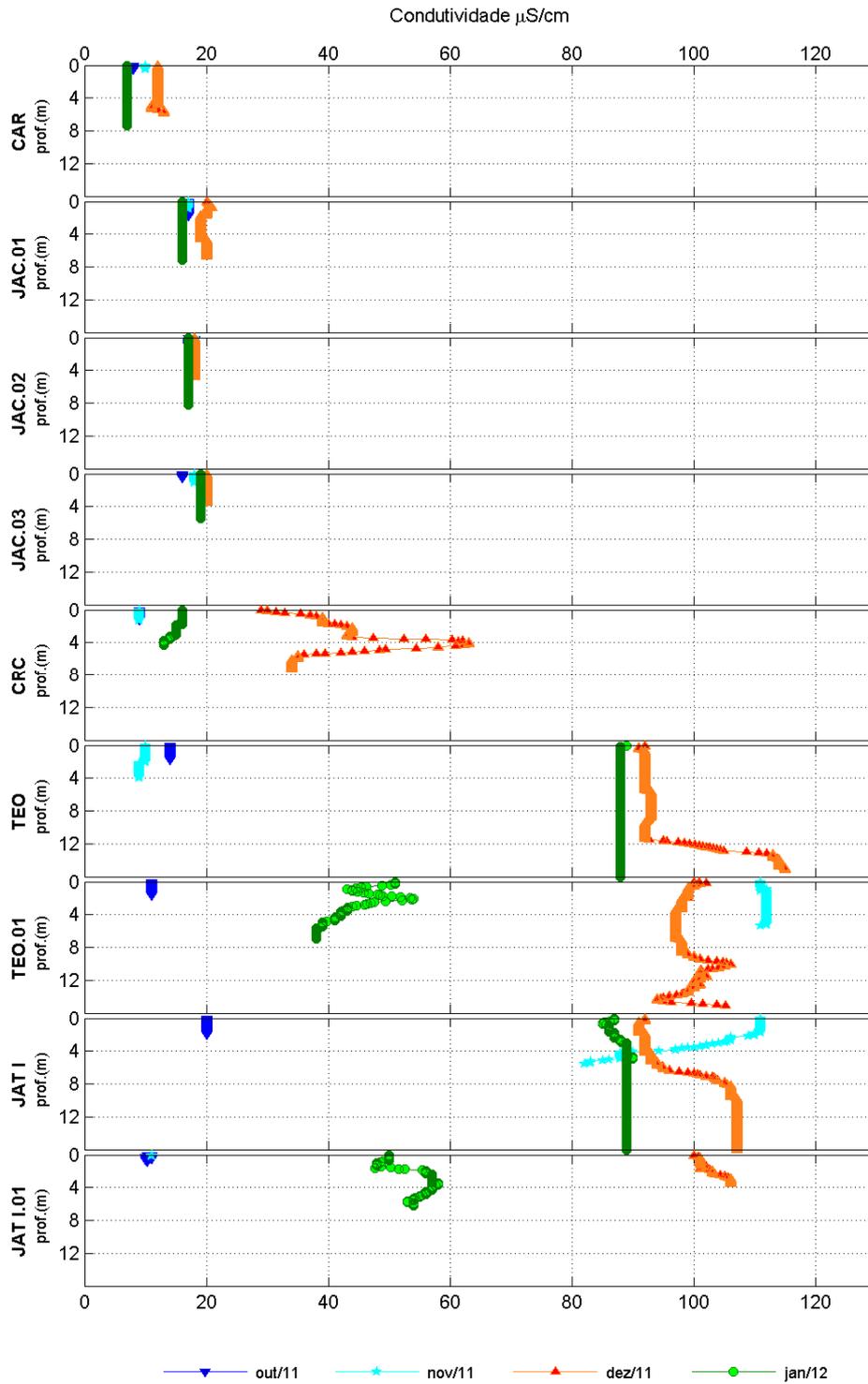


Figura 5.1-42 - Condutividade elétrica nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.



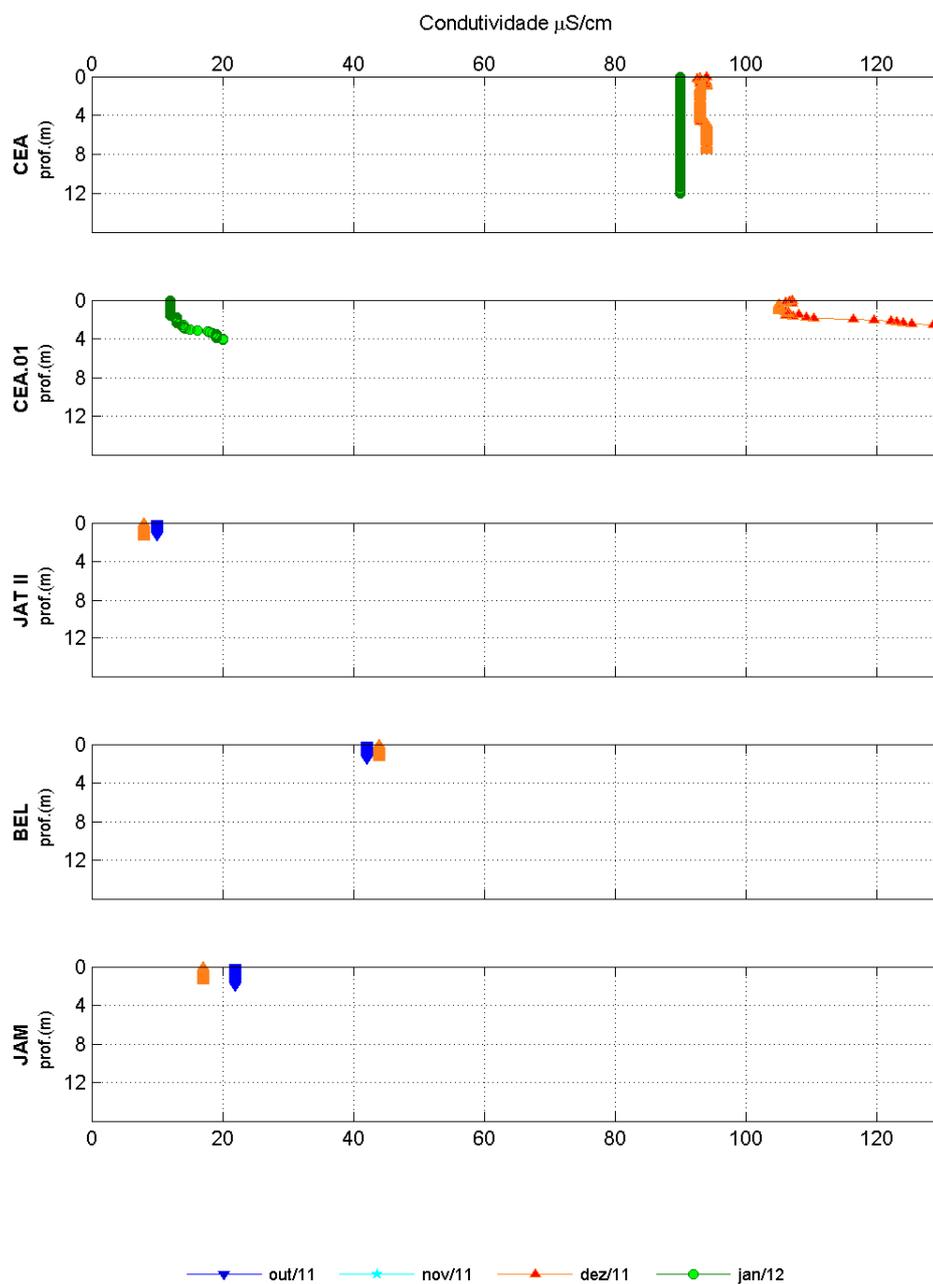


Figura 5.1-43 - Perfis da Condutividade elétrica nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

A média global da condutividade elétrica nos lagos e canais foi de $15 \pm 8,6 \mu\text{S}/\text{cm}$ (média \pm DP) para a superfície, registrando valores semelhantes em dezembro de 2011 ($14,2 \pm 9,1 \mu\text{S}/\text{cm}$, média \pm DP) em outubro de 2011 ($13,8 \pm 6,4 \mu\text{S}/\text{cm}$, média \pm DP) (Figura 5.1-44). Os perfis de condutividade indicaram pouca variação vertical nas estações amostradas, com exceção da estação CUJ em dezembro de 2011 (Figura 5.1-45).

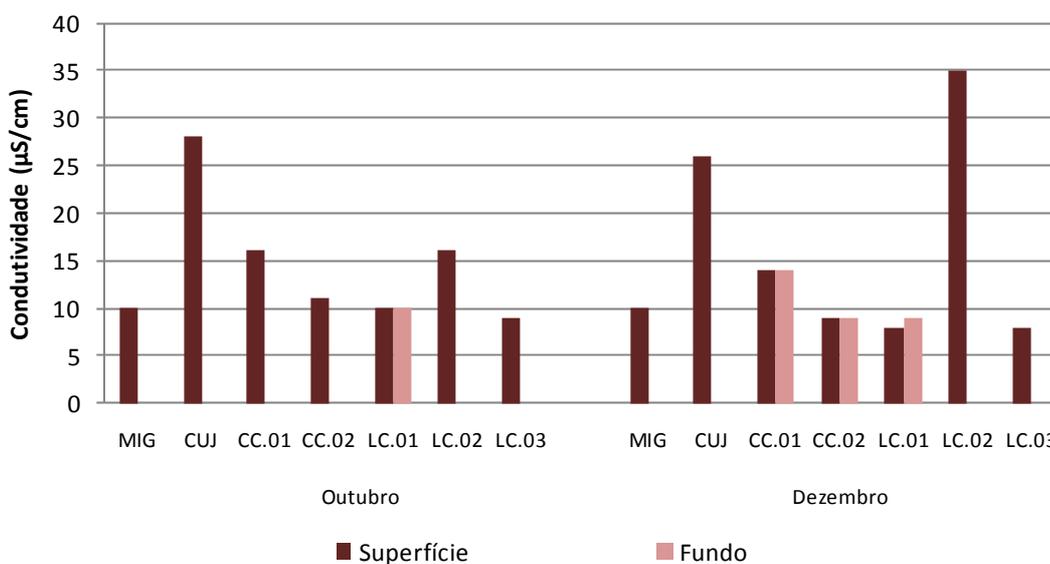


Figura 5.1-44 - Condutividade elétrica nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

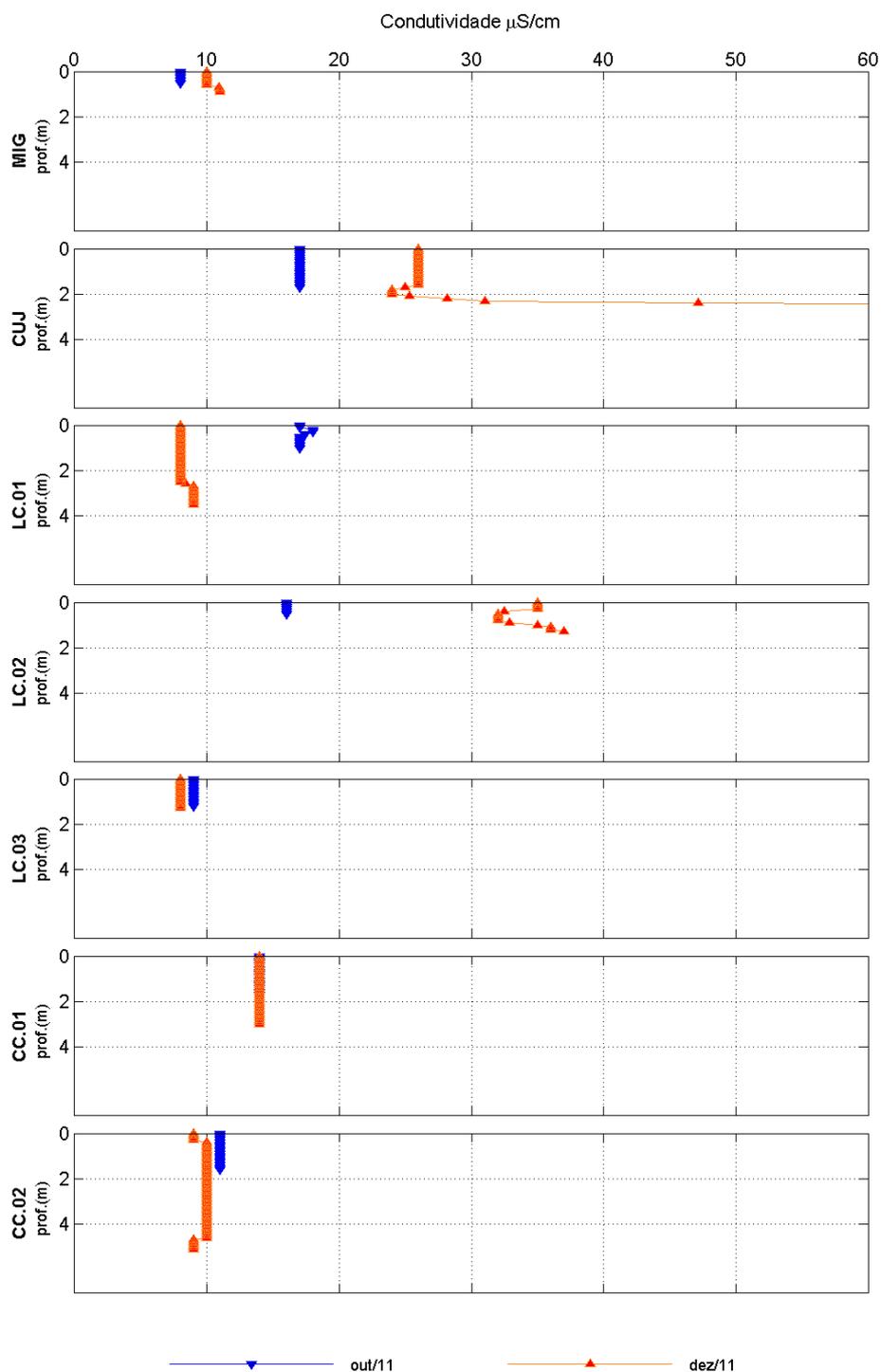


Figura 5.1-45 - Perfis da Condutividade elétrica nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

5.1.3.2 - Potencial hidrogeniônico (pH)

No rio Madeira o pH esteve próximo da neutralidade, com valores variando entre 6,8 e 8 (Figura 5.1-46). A média do período estudado foi de $7,4 \pm 0,2$ (média \pm DP), semelhante ao valor médio relatado no EIA ($6,8 \pm 0,3$, média \pm DP) e no Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira entre janeiro de 2009 e agosto de 2011 ($7,0 \pm 0,4$, média \pm DP). Os perfis de pH evidenciaram a pequena variação vertical desta variável nas estações amostradas, sendo que somente no mês de novembro de 2011 a variação foi um pouco mais pronunciada (Figura 5.1-47).

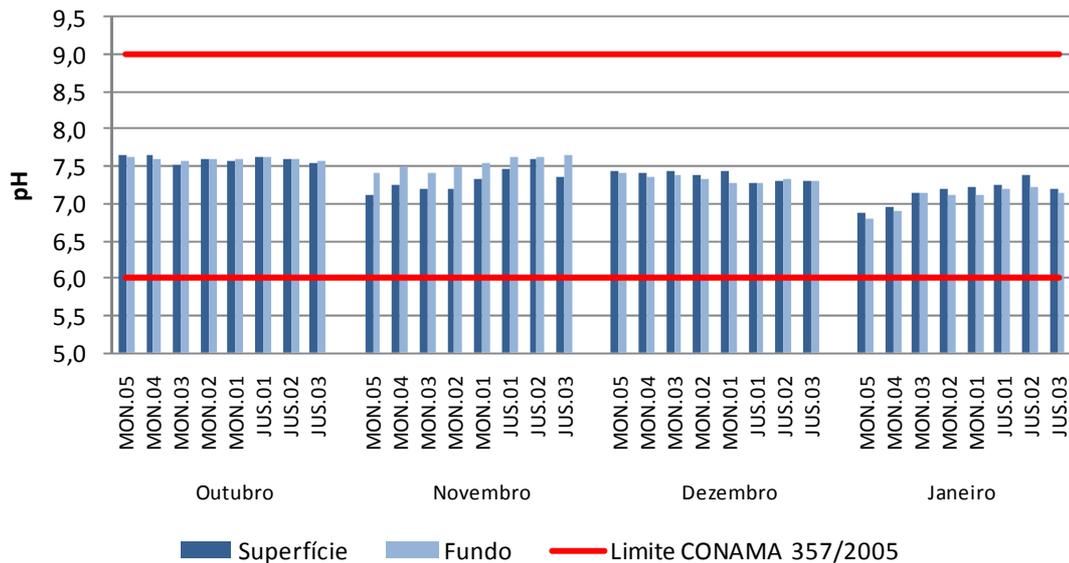


Figura 5.1-46 - Valores de pH no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012

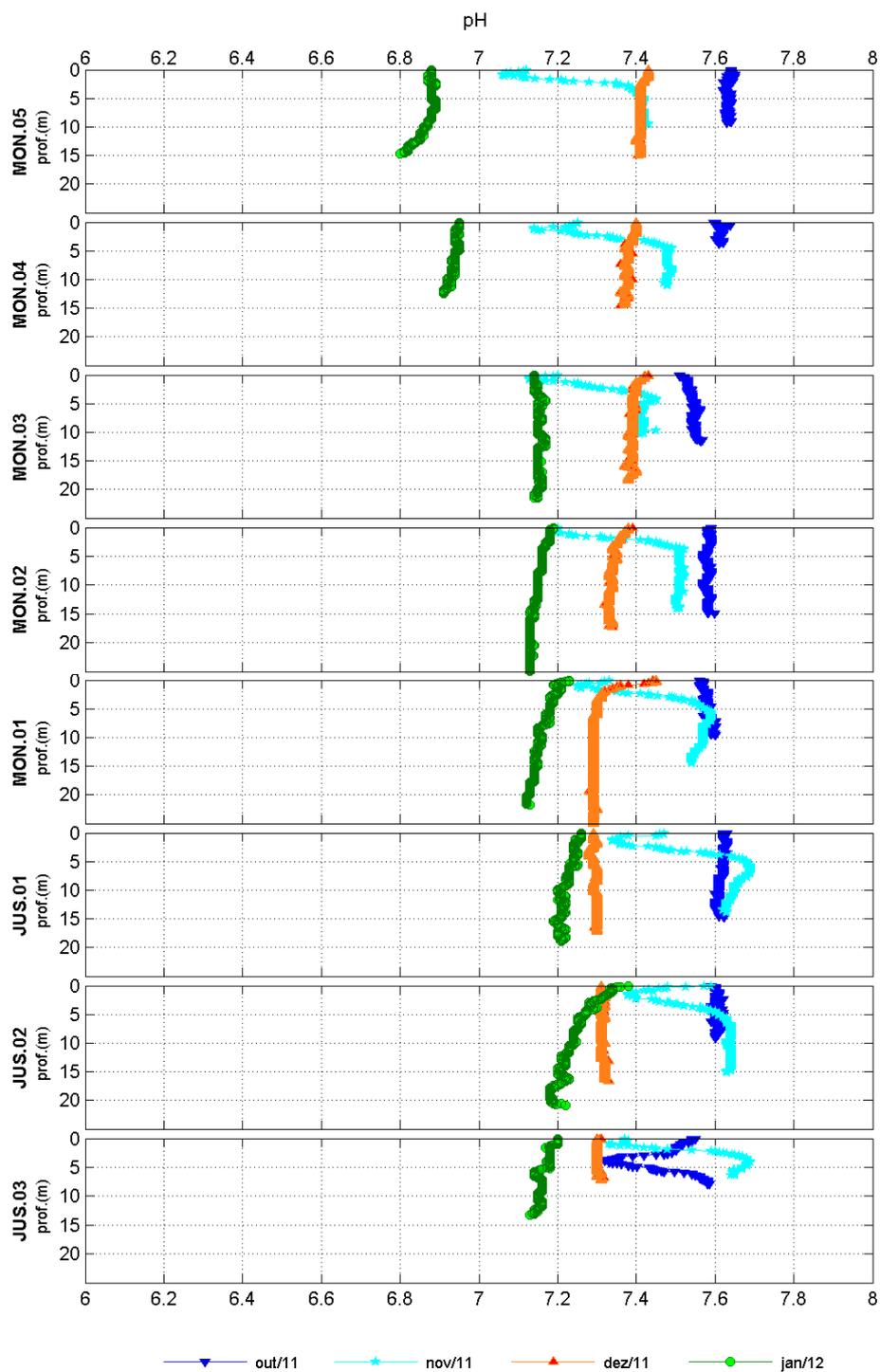


Figura 5.1-47 - Perfis de pH no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos tributários, o pH foi geralmente mais ácido do que no rio Madeira. Os valores médios nos tributários variaram de $6,0 \pm 0,7$ (média \pm DP) em outubro de 2011 a $6,6 \pm 0,3$ (média \pm DP) em novembro de 2011, com valor médio global de $6,3 \pm 0,6$ (média \pm DP) para a superfície e $6,2 \pm 0,6$ (média \pm DP) para o fundo (Figura 5.1-48). Houve baixa variação vertical nas estações amostradas, exceto no mês de dezembro na estação TEO.01, onde a variação foi um pouco mais pronunciada (Figura 5.1-49).

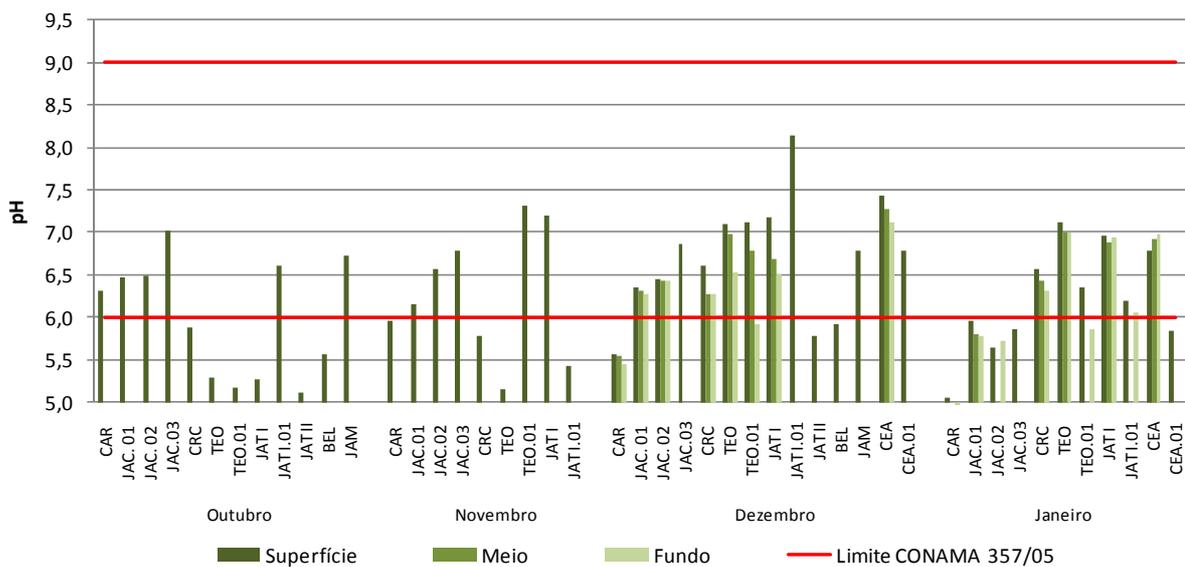
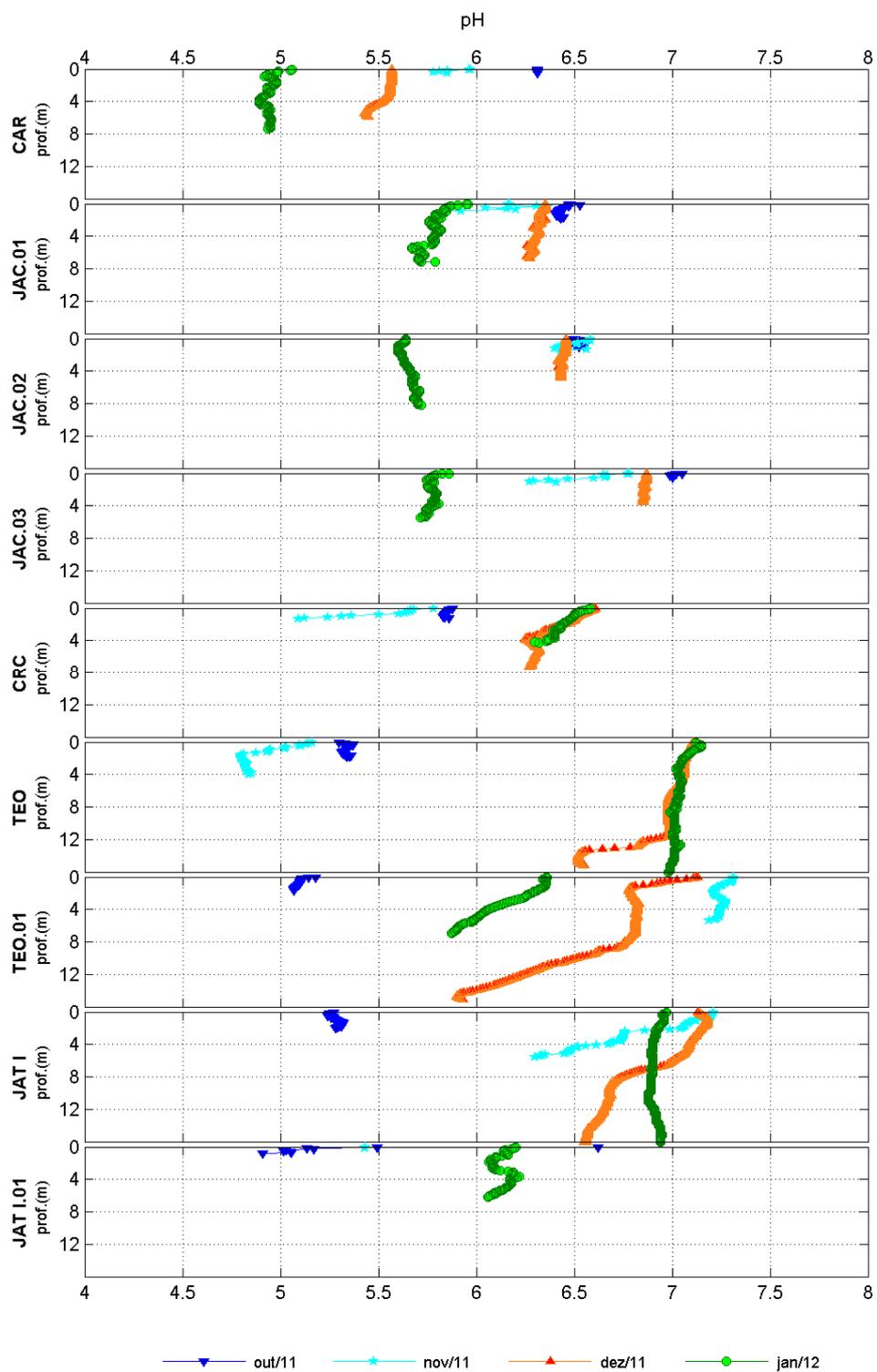


Figura 5.1-48 - Valores de pH nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

UHE SANTO ANTONIO NO RIO MADEIRA

2382-00-MLM-RL-0011-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 11
(Relatório Consolidado do Enchimento)



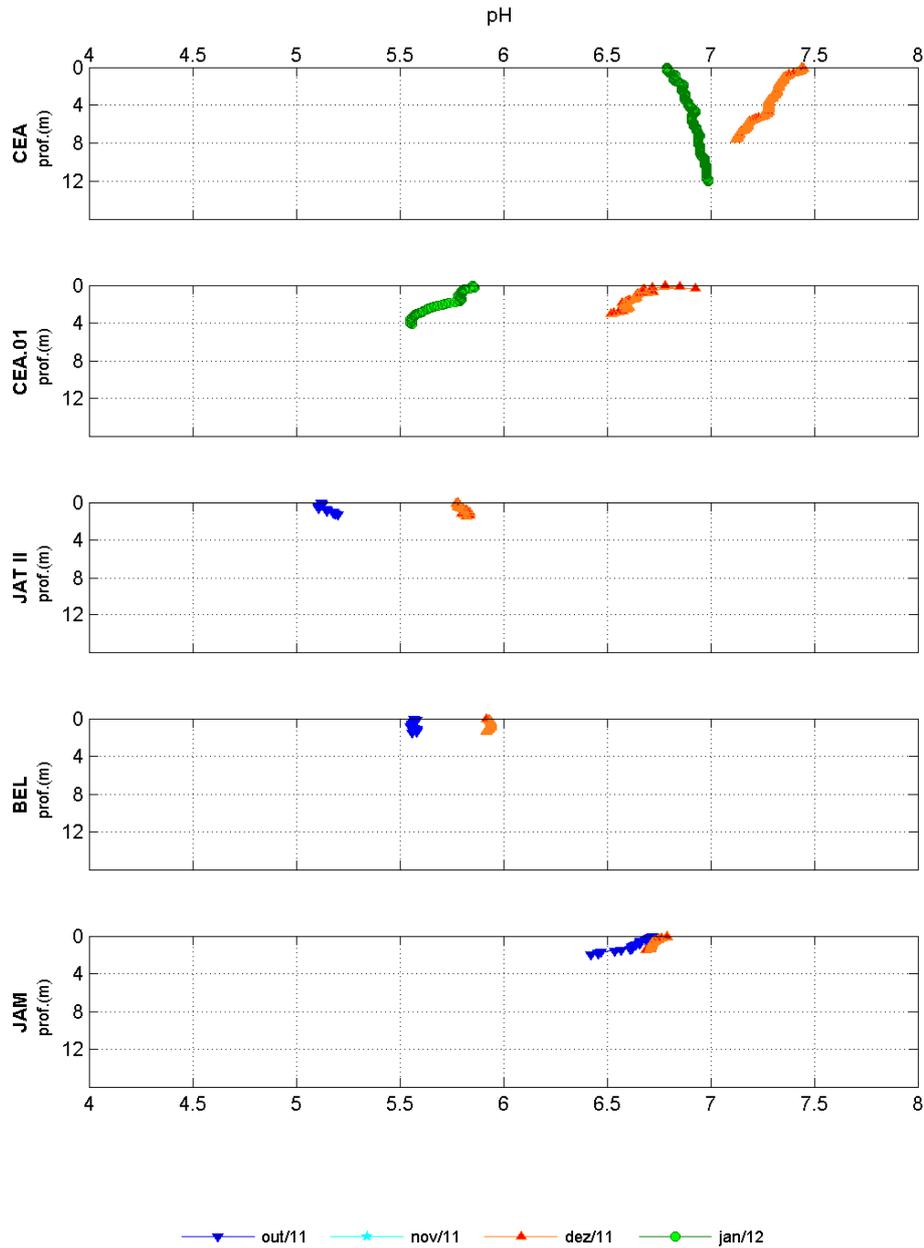


Figura 5.1-49 - Perfis de pH nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos lagos e canais, o pH quase não variou ao longo do tempo. Os menores valores médios registrados foram de $6,0 \pm 1,1$ (média \pm DP) em dezembro de 2011, ao passo que o maiores foram de $6,1 \pm 1,3$ (média \pm DP) em outubro (Figura 5.1-50). O valor médio global foi de $6,2 \pm 1,3$ (média \pm DP). O perfil de pH evidenciou pouca variação vertical nas estações amostradas, com exceção de CUJ em dezembro de 2011 (Figura 5.1-51).

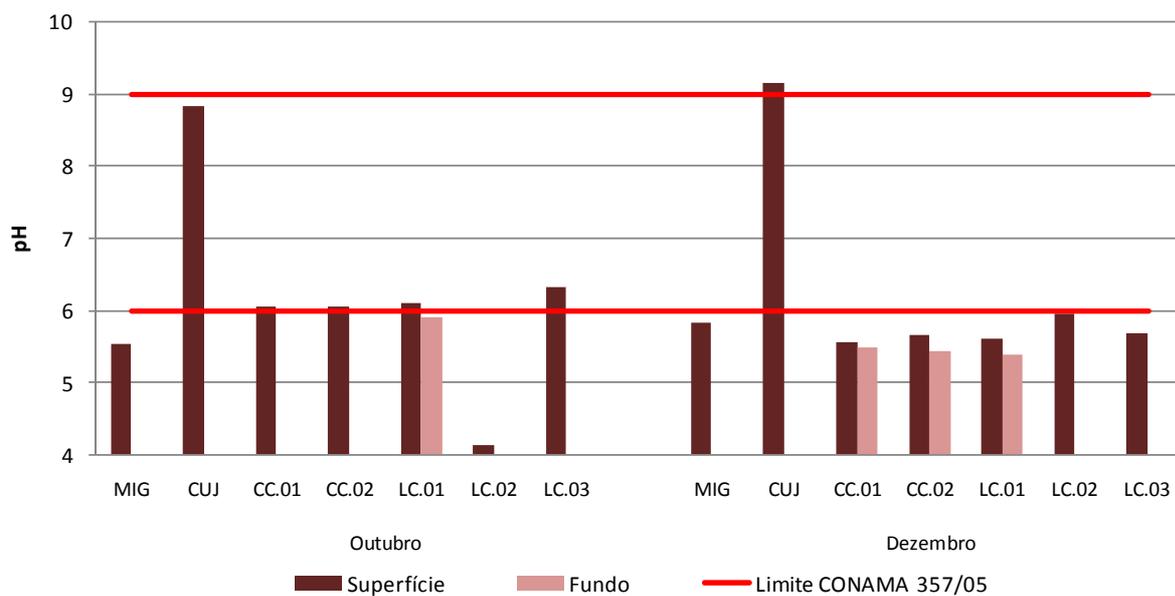


Figura 5.1-50 - Valores de pH nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

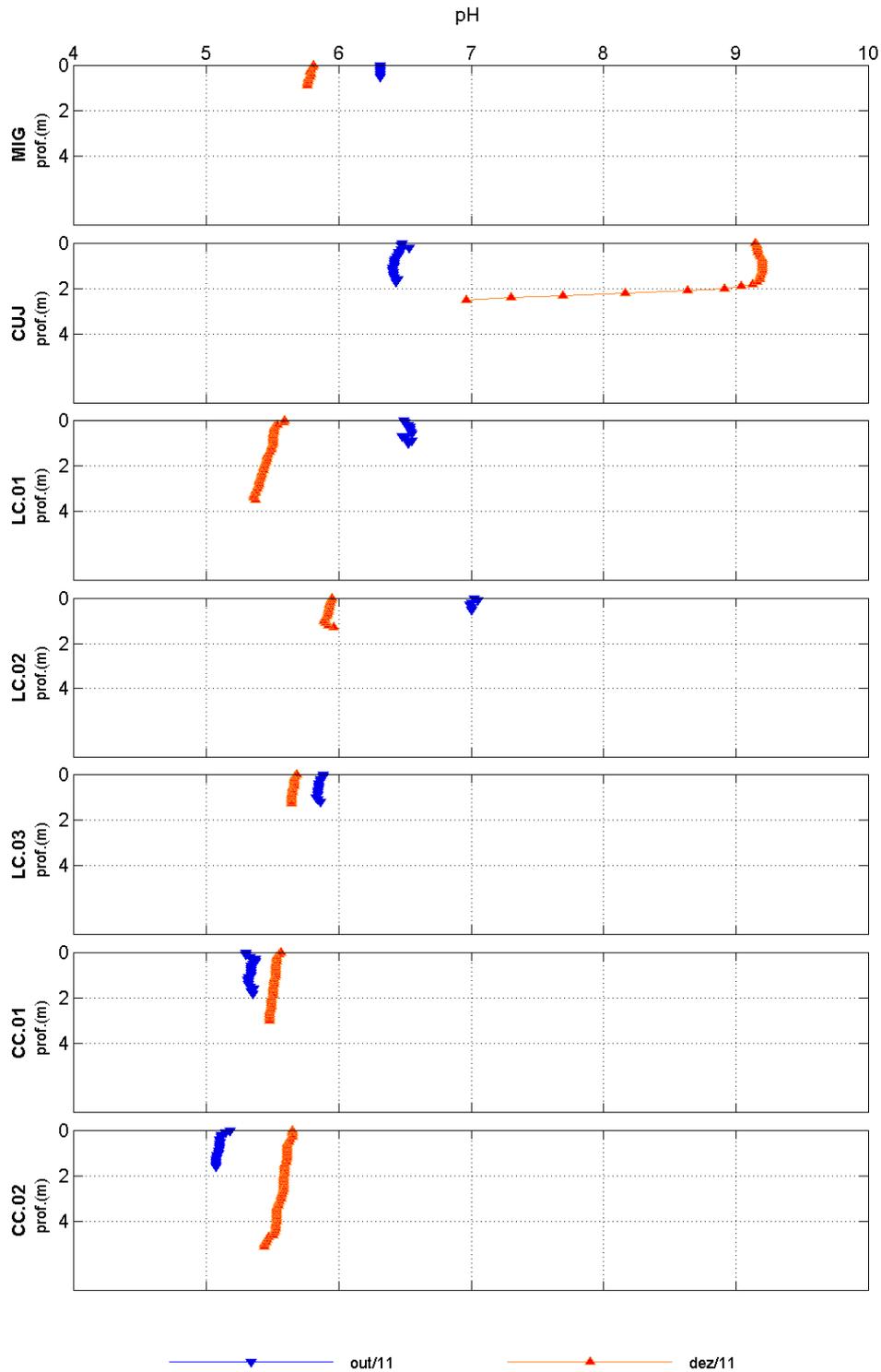


Figura 5.1-51 - Perfis de pH nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

No rio Madeira, 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 tributários e nos lagos e canais, por outro lado, o intervalo supracitado não foi respeitado em algumas ocasiões. 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 é intenso nessas estações e provoca o aumento da taxa de respiração. A liberação de CO₂ 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).

O oxigênio dissolvido (OD) registrou concentrações médias que oscilaram entre $7,0 \pm 0,9$ mg/L (média \pm DP) em novembro de 2011 a $7,5 \pm 0,7$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de $7,3 \pm 0,8$ mg/L (média \pm DP) para a superfície e $7,2 \pm 0,8$ mg/L (média \pm DP) para o fundo (Figura 5.1-52). Os perfis de OD evidenciaram leve diminuição das concentrações em direção ao fundo, embora essas concentrações tenham sido sempre superiores a 6 mg/L. Houve maior oxigenação nas estações a jusante, o que, provavelmente, está ligada ao efeito do fluxo turbulento da água após a passagem pelos vertedouros (Figura 5.1-53). Mesmo com o represamento, não houve deplecionamento de oxigênio nas estações do rio Madeira.

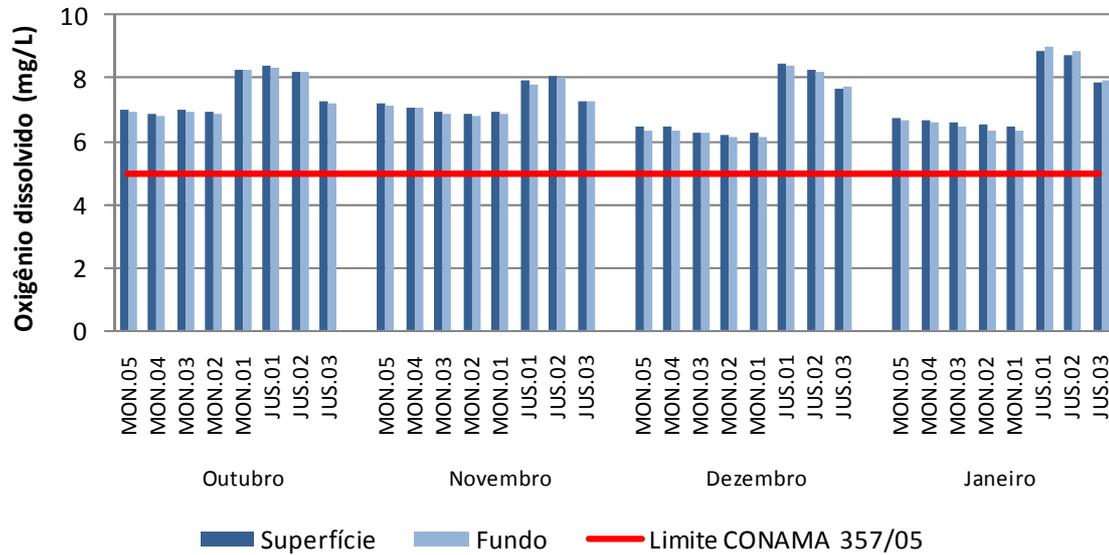


Figura 5.1-52 - Concentrações de oxigênio dissolvido no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012

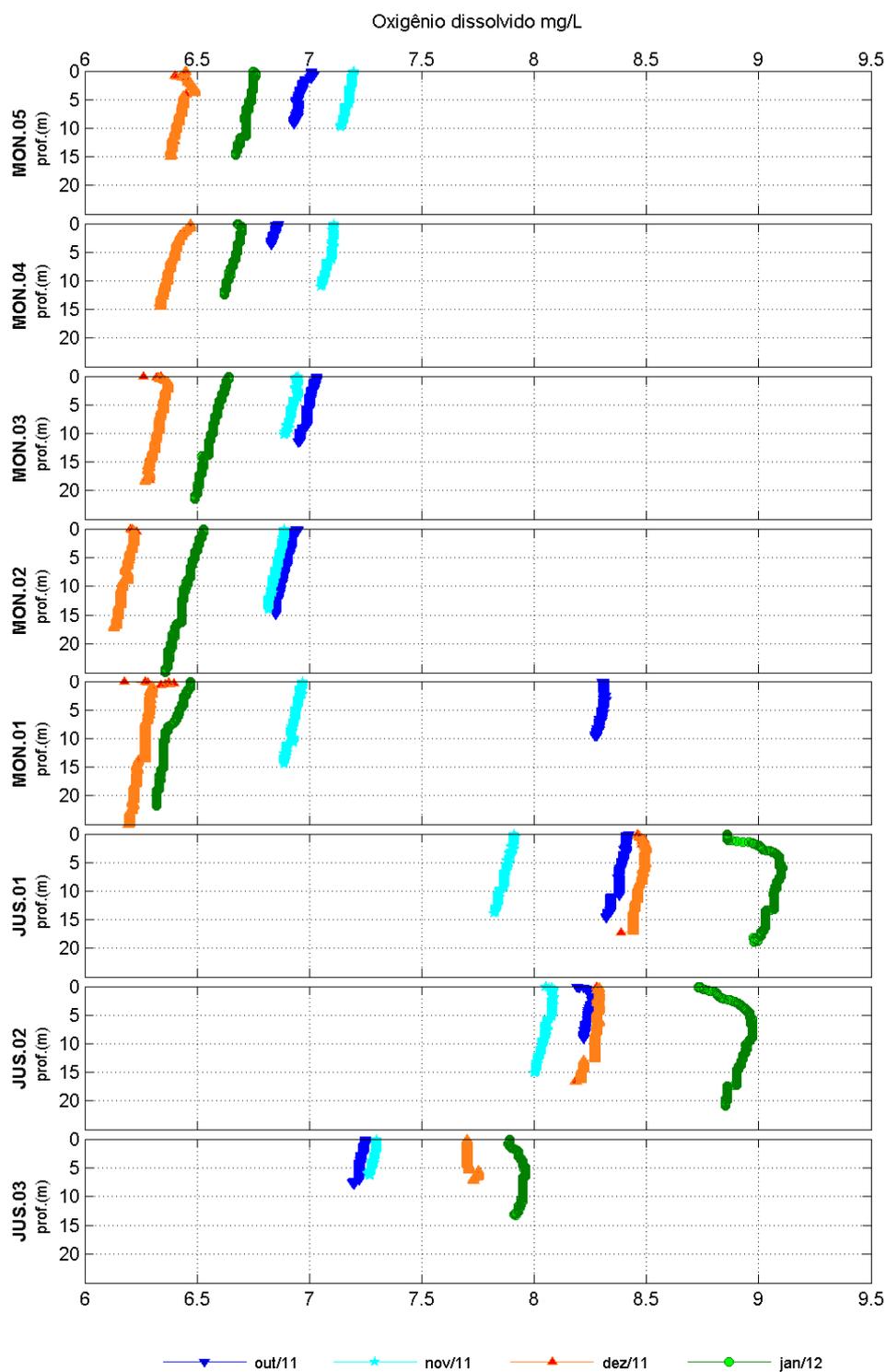


Figura 5.1-53 - Perfis de oxigênio dissolvido no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos tributários o oxigênio dissolvido (OD) registrou concentrações médias que oscilaram entre $3,9 \pm 1,9$ mg/L (média \pm DP) em novembro de 2011 a $6,0 \pm 0,7$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de $5,4 \pm 1,3$ mg/L (média \pm DP) para a superfície e $3,4 \pm 2,5$ mg/L (média \pm DP) para o fundo (Figura 5.1-54). Os perfis de oxigênio dissolvido (Figura 5.1-55) mostraram que as estações CRC (dezembro de 2011), TEO (dezembro de 2011), TEO.01 (dezembro de 2011 e janeiro de 2012), JAT I (novembro e dezembro de 2011 e janeiro de 2012), JAT I.01 (dezembro de 2011) e CEA.01 (dezembro de 2011 e janeiro de 2012) apresentaram acentuado decréscimo de oxigênio dissolvido em direção ao fundo, padrão que se espera para ambientes lênticos. Em janeiro de 2011, a estação JAT I apresentou padrão inverso, com aumento das concentrações em direção ao fundo. Isso se deu provavelmente devido à entrada de água do rio Madeira, rico em OD e com maior densidade. Por outro lado, as demais estações apresentaram coluna d'água homogênea.

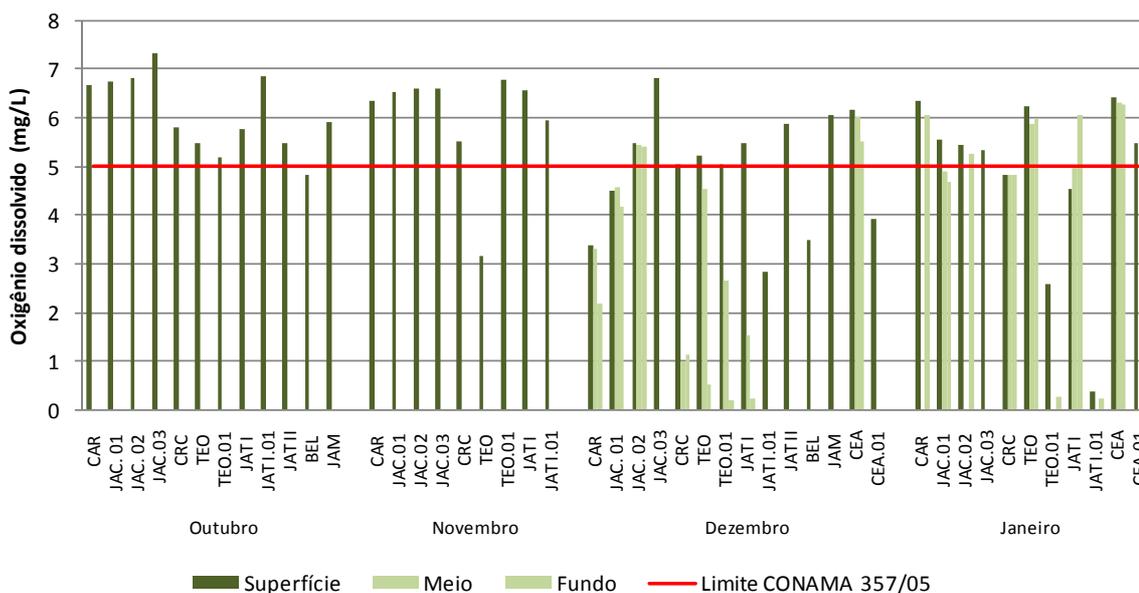
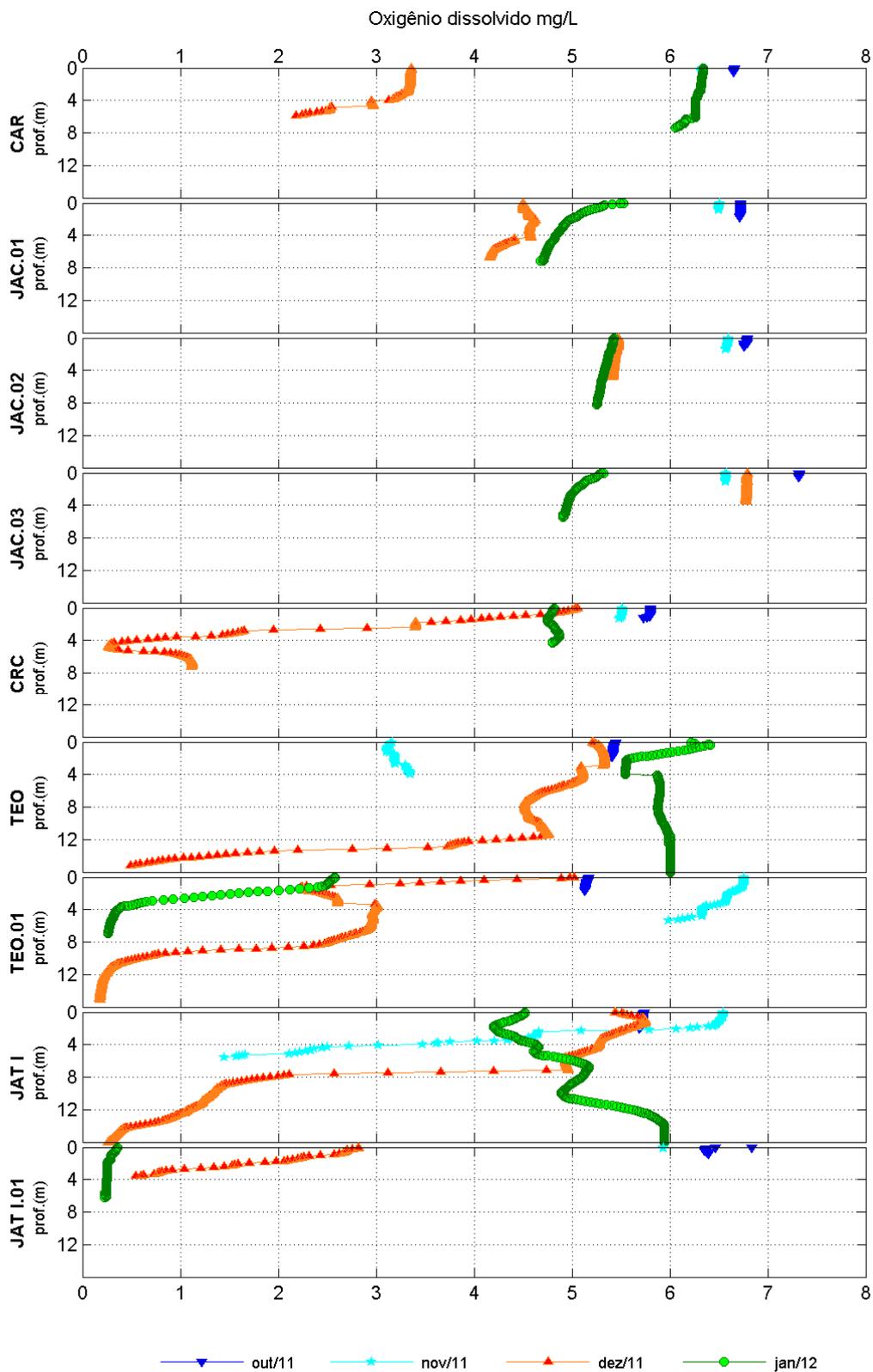


Figura 5.1-54 - Concentrações de oxigênio dissolvido nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.



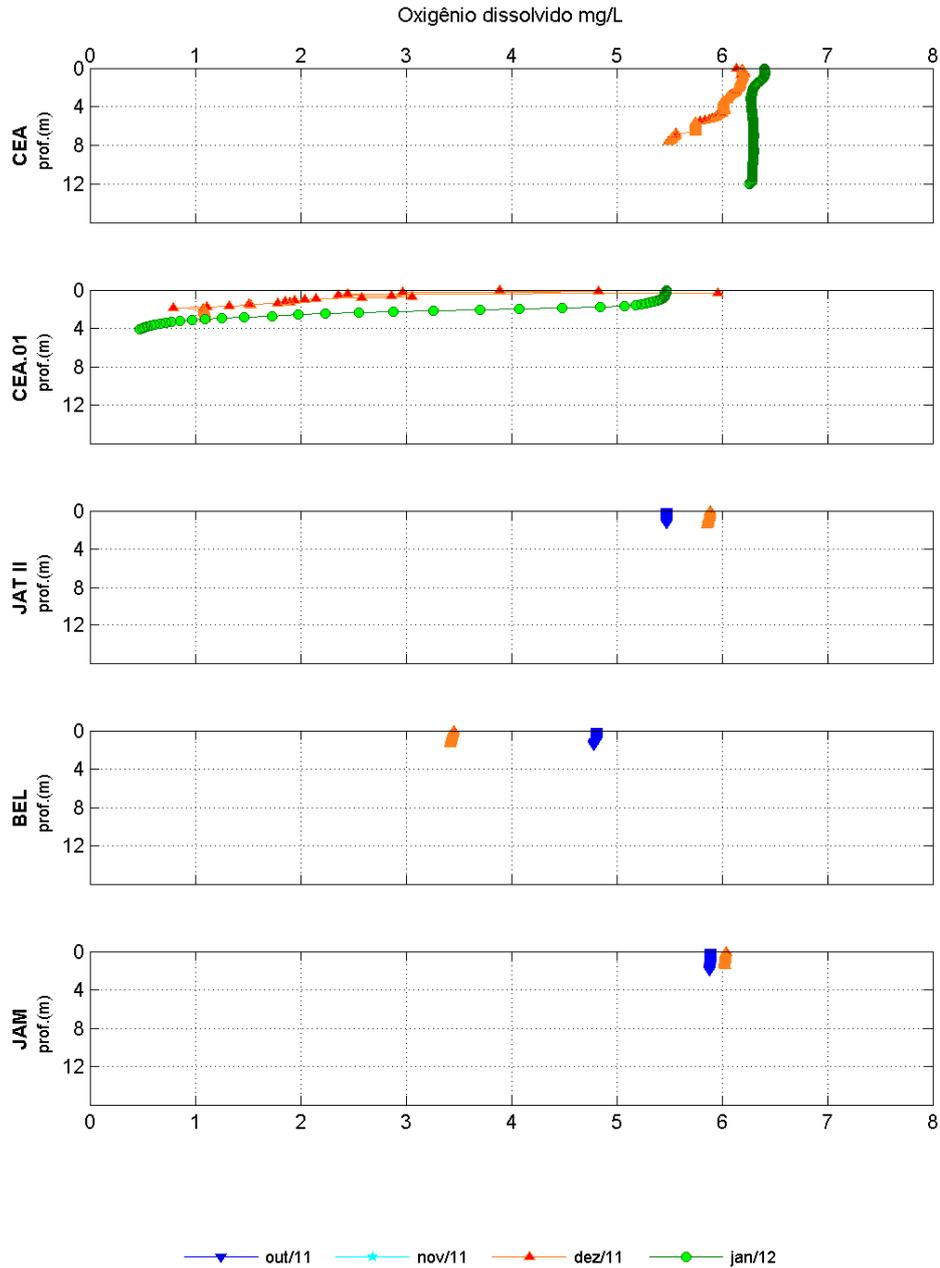


Figura 5.1-55 - Concentrações de oxigênio dissolvido nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos lagos e canais, o oxigênio dissolvido (OD) quase não variou ao longo do tempo, os menores valores médios registrados foram de $4,5 \pm 1,9$ (média \pm DP) em dezembro de 2011, ao passo que os maiores foram de $6,0 \pm 1,3$ (média \pm DP) em outubro de 2011 (Figura 5.1-56). O valor médio global foi de $5,3 \pm 0,9$ (média \pm DP). Os valores encontrados no mês de outubro foram semelhantes aos encontrados no mês de dezembro de 2011. A única exceção foi a estação LC.02, que apresentou anoxia ($0,25$ mg/L) em dezembro de 2011. Condições de anoxia são naturais em alguns ecossistemas aquáticos amazônicos (Melack & Fisher, 1983). Os perfis de OD evidenciaram baixa variação vertical nas estações amostradas, exceto em dezembro de 2011 na estação CUJ, onde foi registrado uma diminuição do OD em direção ao fundo. (Figura 5.1-57).

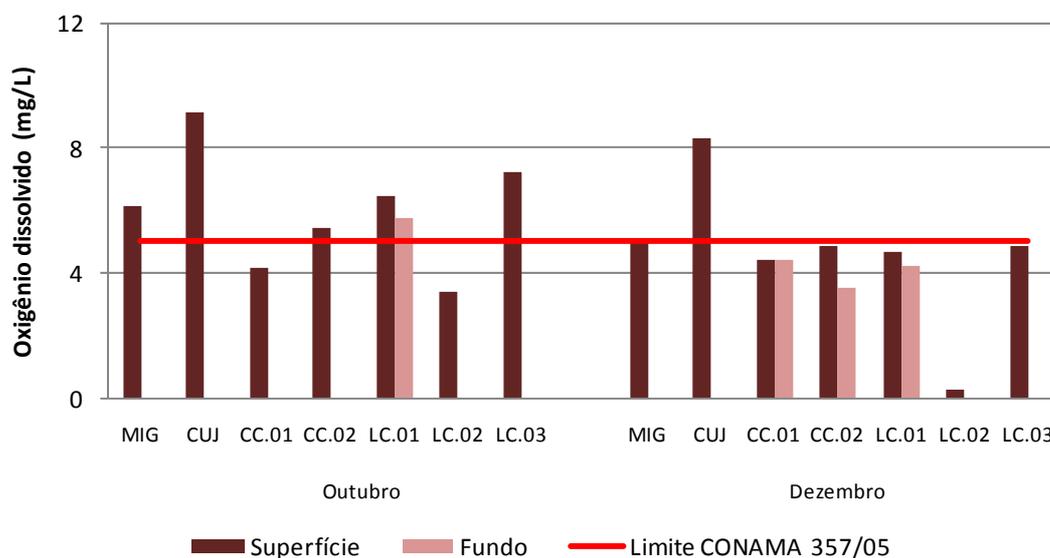


Figura 5.1-56 - Concentrações de oxigênio dissolvido nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

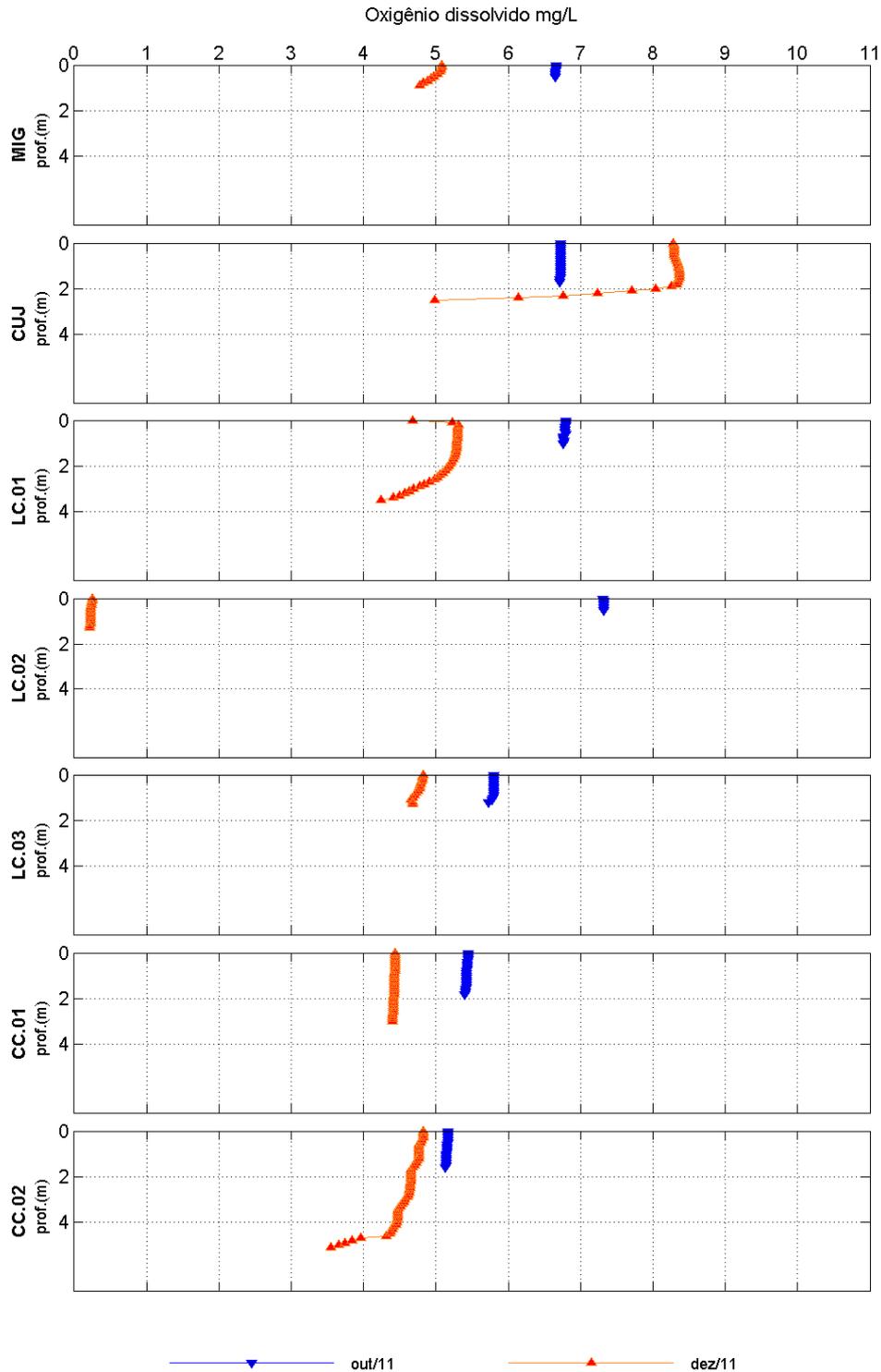


Figura 5.1-57 - Perfis de oxigênio dissolvido nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

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 pode ter favorecido a entrada de oxigênio por difusão nessas estações. 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. Os valores médios de concentração de oxigênio registrados neste monitoramento são semelhantes àqueles apresentados no EIA ($6,1 \pm 1,2$ mg/L, média \pm DP) e no Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira entre janeiro de 2009 e agosto de 2011 ($6,8 \pm 1,5$ mg/L, média \pm DP). Todas as estações do rio Madeira atenderam a concentração mínima de OD (5 mg/L) para corpos d'água de Classe 2 segundo o Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005.

As estações CAR, JAC.01, JAC.02, JAC.03, situadas nos rios Caripuna e Jaci-Paraná, respectivamente, apresentaram geralmente coluna d'água bem oxigenada. Por outro lado, as estações JAT I, JAT I.01, TEO, TEO.01 e CEA.01, situadas nos igarapés Jatuarana I, Teotônio e Ceará respectivamente, e que atualmente são braços do recém formado 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, diminuição dos teores de oxigênio. Essas estações, em alguns meses, apresentaram valores inferiores a concentração mínima de 5 mg/L preconizada pela Resolução CONAMA 357/2005 para corpos de água doce da Classe 2

Já nos lagos e canais as estações CC.01, CC.02, LC.01 e LC.02 não atenderam ao limite supracitado. 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). Considerando que 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 nenhum efeito da usina nesses ambientes.

5.1.4.2 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A DBO das estações amostradas no corpo central do rio Madeira foi baixa ao longo de todo o enchimento, corroborando o que já fora observado nas campanhas anteriores do Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas. Os resultados obtidos não apontam variação sazonal e nem efeito do barramento, sendo que a média global foi de $0,5 \pm 0,3$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-58). 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).

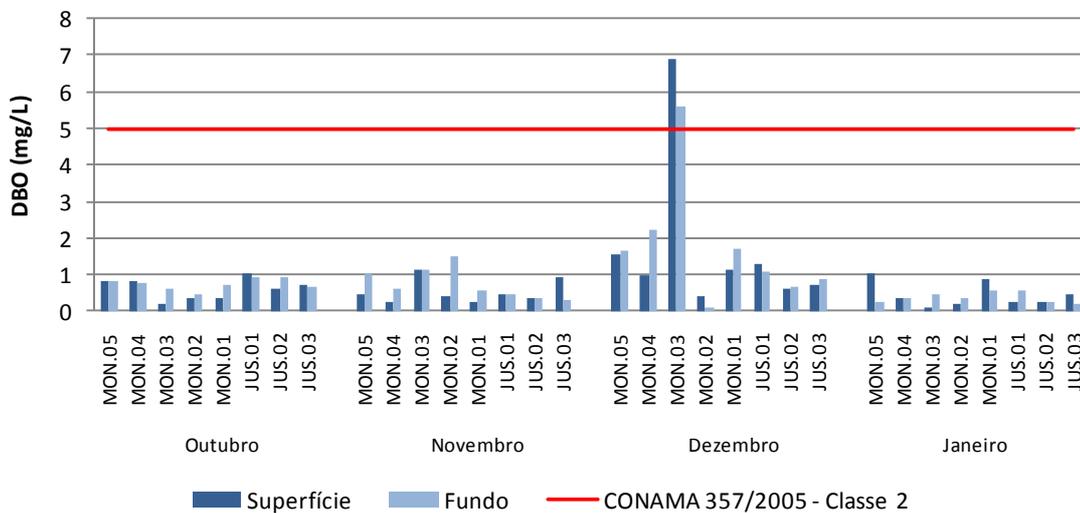


Figura 5.1-58 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos tributários, a DBO também não apresentou variação sazonal, assim como observado para o rio Madeira. A média global do enchimento foi de $1,3 \pm 0,9$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-59). Somente a estação JAT I.01, em janeiro de 2012, apresentou DBO superior ao limite de 5 mg/L preconizado para corpos de água doce de Classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005. A elevada DBO encontrada nessa estação pode ser consequência do barramento, que aumentou a quantidade de carbono orgânico terrestre aportado ao sistema. Entretanto, no mês de janeiro o aporte de matéria orgânica é geralmente maior nos ambientes amostrados, em virtude do alagamento natural das florestas inundáveis.

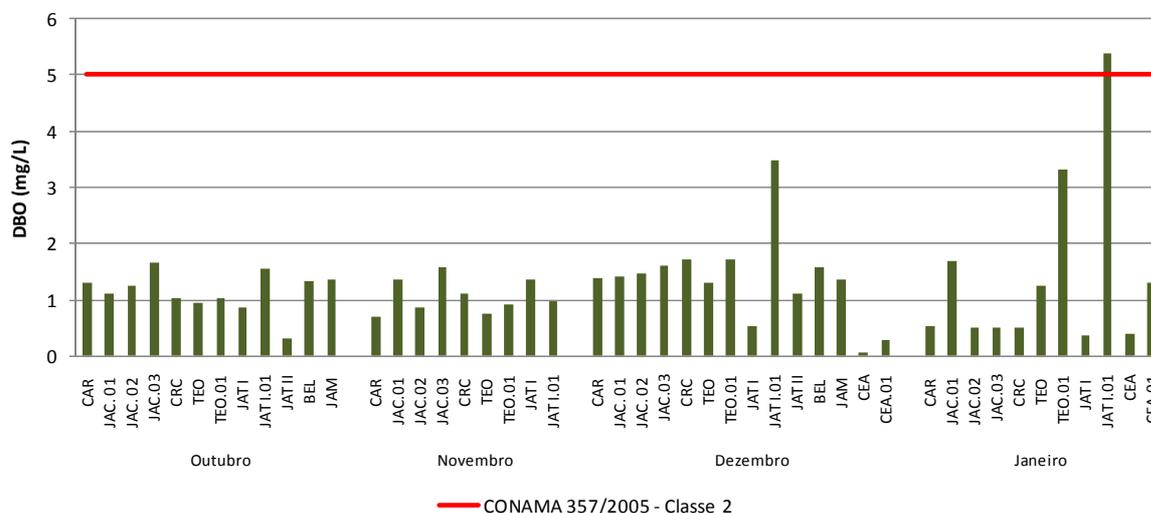


Figura 5.1-59 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos lagos e canais, a DBO foi geralmente baixa, assim como observado para o rio Madeira e os tributários. Os valores encontrados no mês de outubro foram semelhantes aos encontrados no mês de dezembro de 2011. A única exceção foi a estação LC.02, que apresentou DBO muito elevada em dezembro (68 mg/L) (Figura 5.1-60). Esse valor foi superior ao limite de 5 mg/L preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para corpos de água doce da Classe 2. No entanto, as circunstâncias foram totalmente naturais e corroboram a condição de anoxia encontrada nessa estação no mesmo período. Condições de anoxia são naturais em alguns ecossistemas aquáticos amazônicos (Melack & Fisher, 1983).

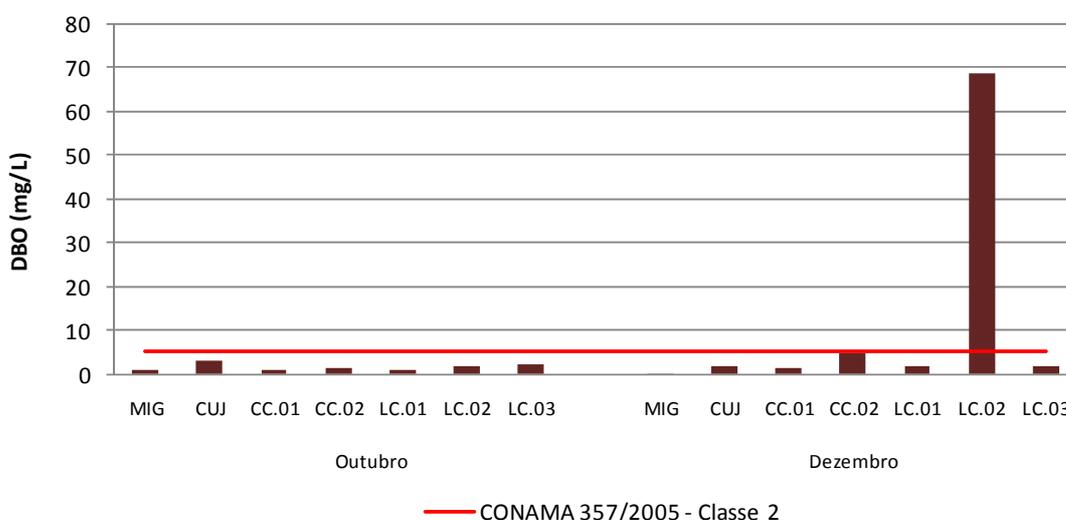


Figura 5.1-60 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

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, a DQO média variou de 26 ± 12 mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 a $34,6 \pm 14,4$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011, com um valor médio global de 29 ± 14 mg/L (média \pm DP) para superfície e 31 ± 13 mg/L (média \pm DP) para o fundo (Figura 5.1-61). Os valores encontrados são inferiores aos apresentados 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 valor médio de 60 ± 41 mg/L (média \pm DP).

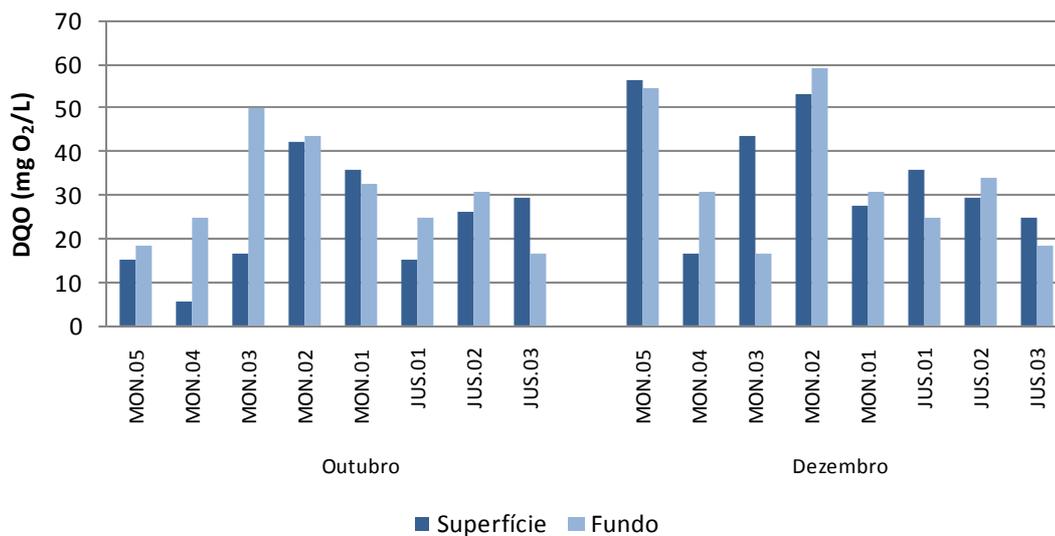


Figura 5.1-61 - Demanda química de oxigênio (DQO) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

As contrações de DQO dos tributários variaram de $20,8 \pm 10,1$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 a $12,1 \pm 8,1$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011, com um valor médio global de $16,6 \pm 9,3$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-62). Os valores encontrados são próximos aos apresentados 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 valor médio de 21 ± 41 mg/L (média \pm DP).

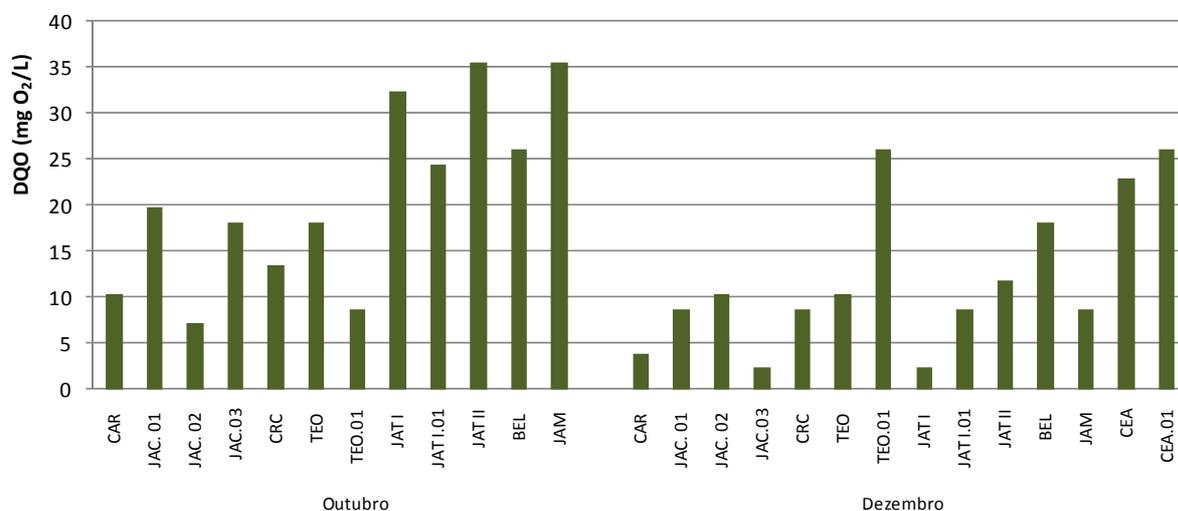


Figura 5.1-62 - Demanda química de oxigênio (DQO) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

A DQO dos lagos e canais foi bastante inferior em relação à do rio Madeira, as concentrações variaram de $18,6 \pm 6,4$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 a $8,7 \pm 6,0$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011, com um valor médio global de $13,6 \pm 8,0$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-63). Os valores encontrados são menores aos apresentados 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 valor médio de 26 ± 23 mg/L (média \pm DP).

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 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 nenhum efeito da usina nesses ambientes.

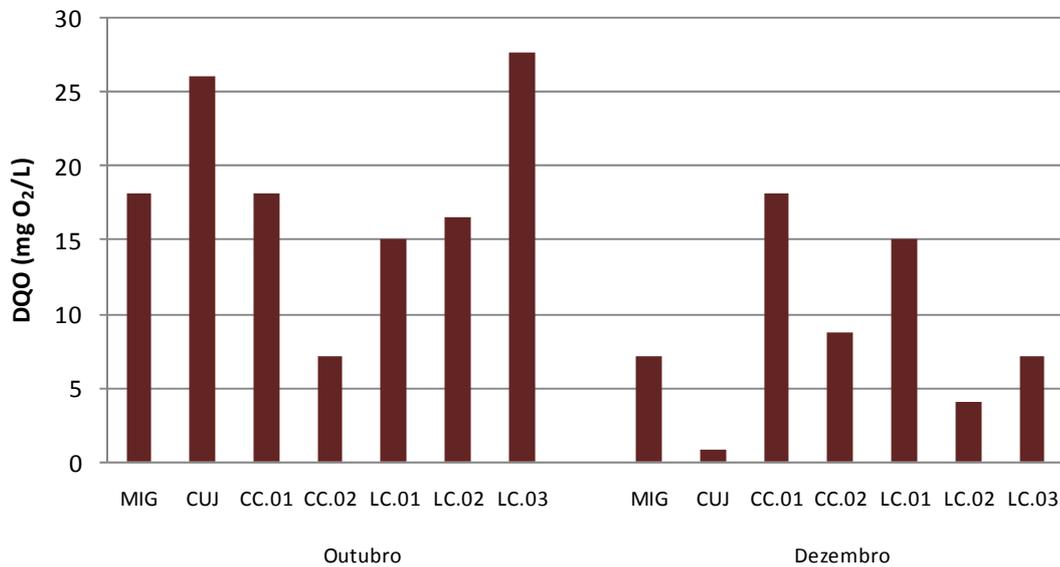


Figura 5.1-63 - Demanda química de oxigênio (DQO) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

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

O carbono inorgânico (CI) não variou muito ao longo do período estudado. Os valores médios oscilaram entre $6,7 \pm 0,9$ mg/L (média \pm DP) em novembro de 2011 e $12,1 \pm 0,6$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de $8,4 \pm 2,4$ mg/L (média \pm DP) na superfície e $8,3 \pm 2,3$ mg/L (média \pm DP) no fundo (Figura 5.1-64). Assim como houve pouca variabilidade temporal nas concentrações de CI, também houve pouca variação espacial. A variação entre superfície e fundo foi praticamente inexistente, com valores médios muito próximos. Esses resultados indicam que a formação do reservatório não influenciou, até o presente momento, na dinâmica do CI nas estações do rio Madeira.

O carbono orgânico total (COT) foi menor em novembro de 2011 ($3,5 \pm 0,6$ mg/L, média \pm DP) e maior em janeiro de 2012 ($7,3 \pm 0,7$ mg/L, média \pm DP). O valor global médio dessa fração foi $5,6 \pm 1,7$ mg/L (média \pm DP) para as amostras de superfície e $5,3 \pm 1,6$ mg/L (média \pm DP) para as amostras de fundo (Figura 5.1-65). O carbono orgânico dissolvido (COD) apresentou média global de $4,0 \pm 1,4$ mg/L (média \pm DP) para a superfície e $4,0 \pm 1,5$ mg/L (média \pm DP) para o fundo, evidenciando ausência de variação vertical dessa variável. Os valores médios oscilaram entre $3,4 \pm 0,4$ mg/L (média \pm DP) em novembro de 2011 e $6,1 \pm 0,5$ mg/L (média \pm DP) em janeiro de

2012 (Figura 5.1-66). Cabe salientar que as concentrações de COD em janeiro de 2012 foram maiores que outubro 2011, seguindo o mesmo padrão registrado no ano anterior pelo Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas, onde foi observado que as concentrações de COD foram menores nas águas baixas em relação ao período de enchente. Quando o nível da água está mais elevado, o aporte de matéria orgânica alóctone é maior.

O carbono inorgânico foi a fração mais importante do carbono total (CT) no rio Madeira, considerando todos os períodos amostrados. A parcela inorgânica contribuiu em média com 61% e a orgânica com 39% do total. O CT não apresentou grande variação espaço-temporal, de forma que as concentrações médias dos períodos oscilaram entre $11,3 \pm 1,0$ mg/L (média \pm DP) em novembro e $16,6 \pm 0,5$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de $13,6 \pm 2,3$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-67).

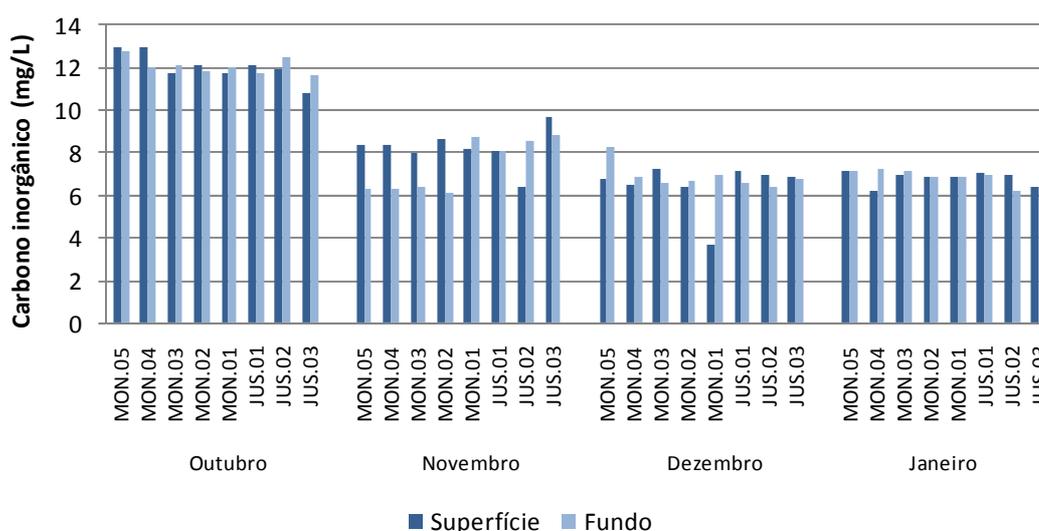


Figura 5.1-64 - Concentrações de carbono inorgânico no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

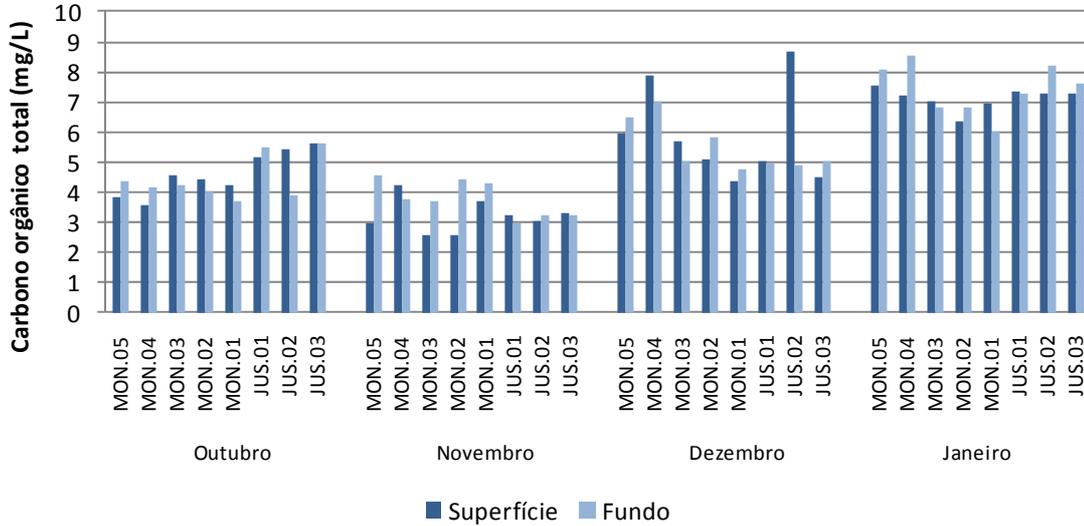


Figura 5.1-65 - Concentrações de carbono orgânico total (COT) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

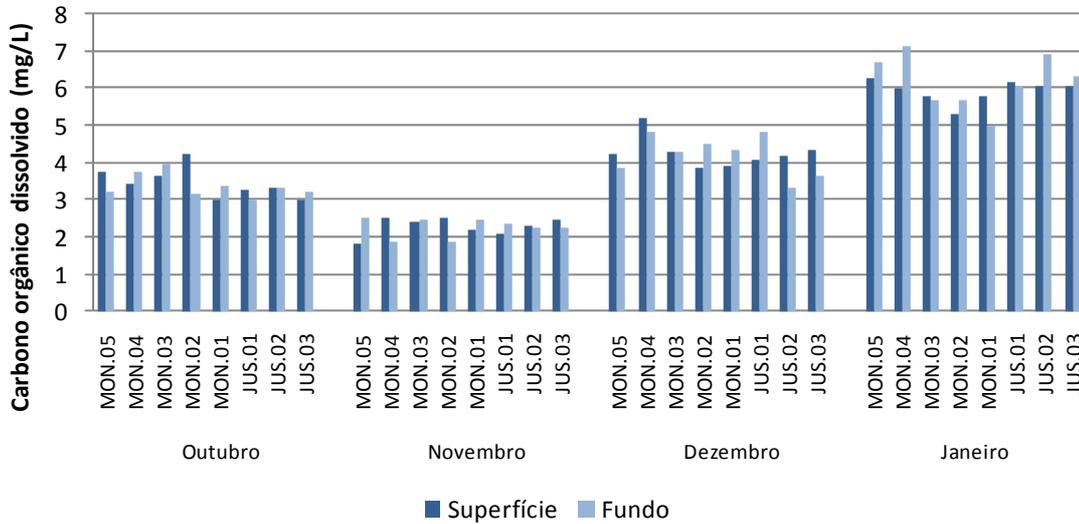


Figura 5.1-66 - Concentrações de carbono orgânico orgânico (COD) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

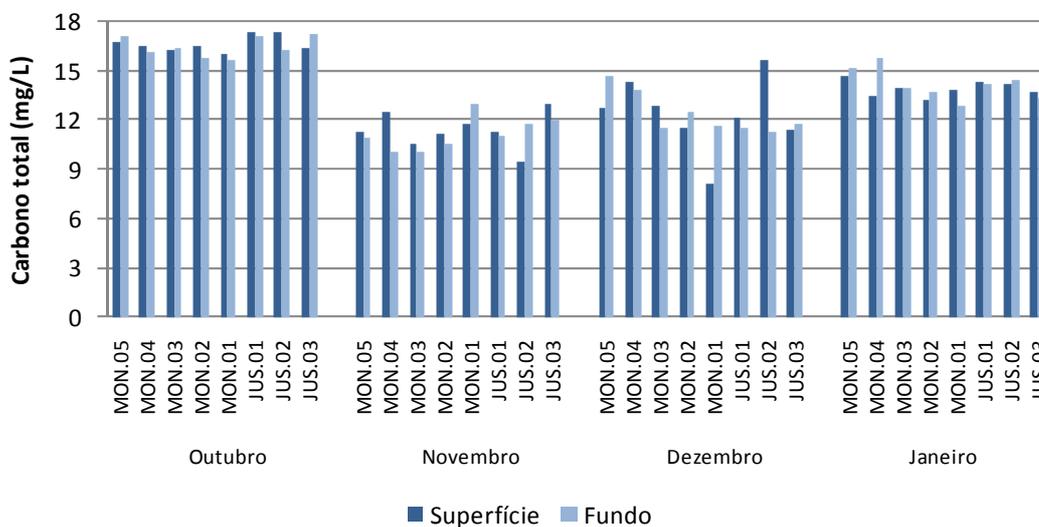


Figura 5.1-67 - Concentrações de carbono total (CT) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos tributários, os valores de carbono inorgânico foram menores que no rio Madeira e semelhantes aos encontrados nos lagos e canais. A concentração média global dessa parcela foi de $4,5 \pm 2,4$ mg/L (média \pm DP), de modo que as concentrações médias oscilaram entre $3,3 \pm 0,9$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 e $5,3 \pm 3,2$ mg/L (média \pm DP) em janeiro de 2012 (Figura 5.1-68). Os valores de CI mais elevados encontrados ao longo dos meses, foram causados por valores mais altos registrados nas estações JAT I, TEO e CEA, estações que apresentaram características da água semelhantes às 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.

As concentrações médias de carbono orgânico total (COT) oscilaram entre $4,3 \pm 0,7$ mg/L (média \pm DP) em novembro de 2011 e $7,7 \pm 2,5$ mg/L (média \pm DP) em janeiro de 2012, com média global de $6,3 \pm 2,1$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-69). Para efeito de comparação, o Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira (janeiro de 2009 a agosto de 2011) relata média global de $4,8 \pm 3,1$ μ g/L (média \pm DP), valor bastante próximo ao encontrado no presente estudo. O carbono orgânico dissolvido apresentou média global de $5,1 \pm 1,9$ mg/L (média \pm DP), sendo que os valores médios oscilaram entre $3,0 \pm 0,4$ mg/L (média \pm DP) em novembro de 2011 e $6,4 \pm 2,1$ mg/L (média \pm DP) em janeiro de 2012 (Figura 5.1-70).

Não houve equivalência na composição do carbono total (CT) nos tributários, sendo a parcela orgânica, em geral, a mais importante, tendo respondido, em média, por 79% do carbono total. A concentração média global de CT foi de $10,8 \pm 3,3$ mg/L (média \pm DP), sendo que os valores médios oscilaram entre $8,3 \pm 1,8$ mg/L (média \pm DP) em novembro de 2011 e $13,0 \pm 4,6$ mg/L (média \pm DP) em janeiro de 2012 (Figura 5.1-71).

Mesmo com a criação do reservatório houve pouca variabilidade temporal nas concentrações de carbono nos tributários amostrados, exceto nas estações JAT I, TEO e CEA, estações que apresentaram características da água semelhantes às 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.

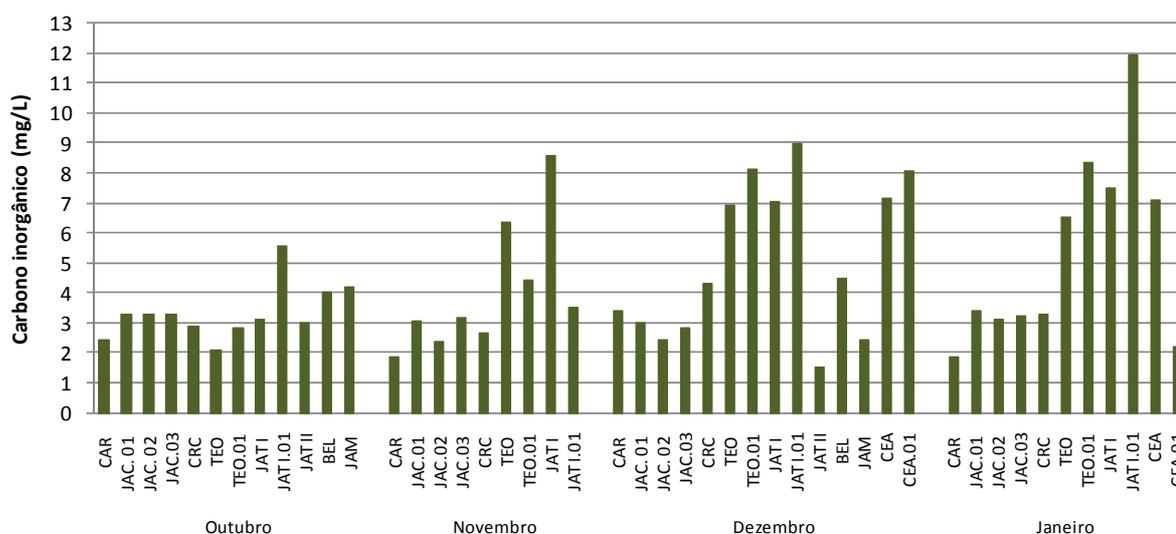


Figura 5.1-68 - Concentrações de carbono inorgânico nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

UHE SANTO ANTONIO NO RIO MADEIRA

2382-00-MLM-RL-0011-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 11
(Relatório Consolidado do Enchimento)

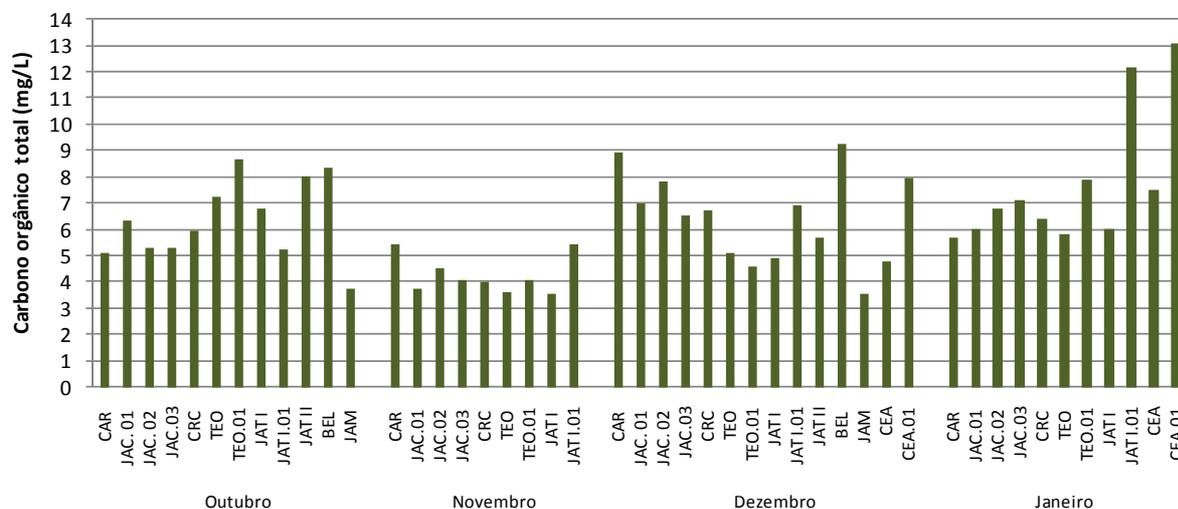


Figura 5.1-69 - Concentrações de carbono orgânico total (COT) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

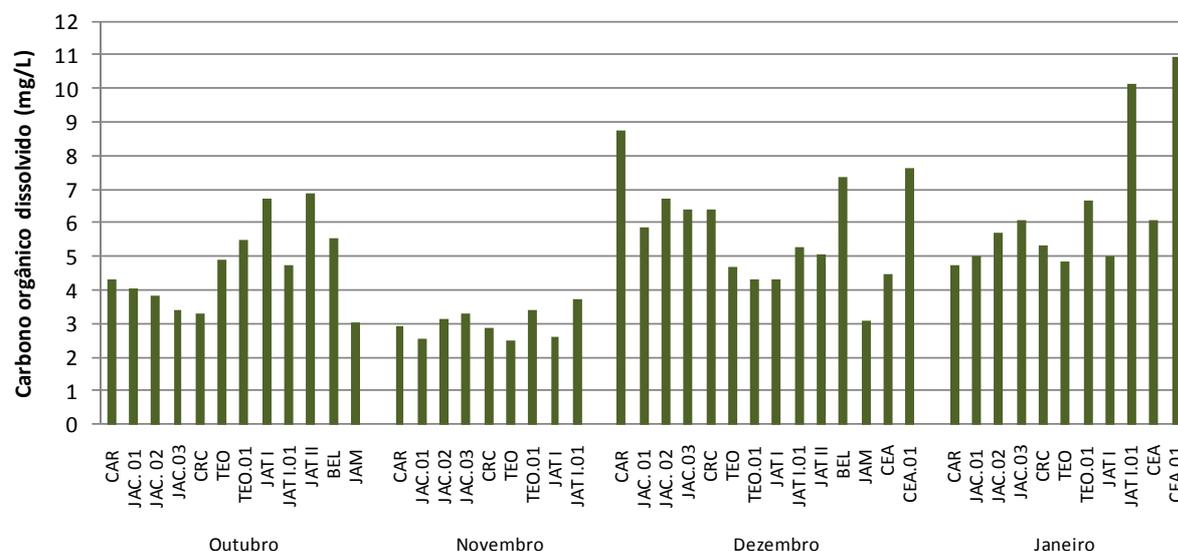


Figura 5.1-70 - Concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

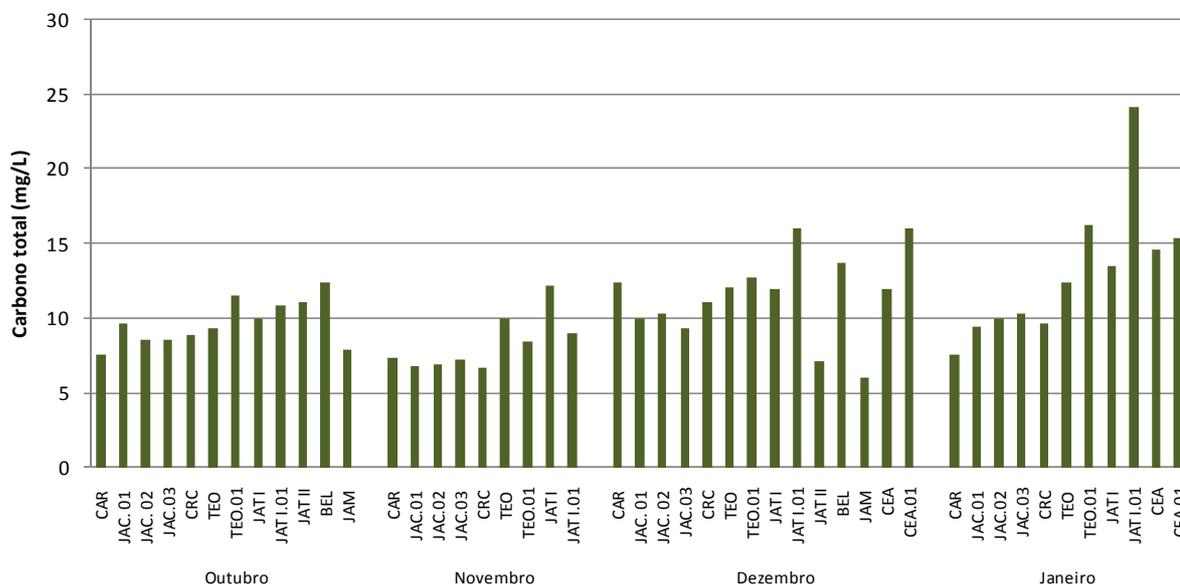


Figura 5.1-71 - Concentrações de carbono total (CT) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos lagos e canais, o carbono inorgânico (CI) não variou ao longo dos meses, registrando concentrações de $2,6 \pm 0,8 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 e $2,6 \pm 1,8 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011. Os valores de CI apresentaram medial global de $2,7 \pm 1,4 \text{ mg/L}$ (média \pm DP) superfície e $2,4 \pm 0,1 \text{ mg/L}$ (média \pm DP) para o fundo (Figura 5.1-72).

O carbono orgânico total (COT) variou de $5,3 \pm 1,0 \text{ mg/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 a $8,9 \pm 1,0 \text{ mg/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011, com valor médio global de $7,1 \pm 3,0 \text{ mg/L}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-73). O aumento nas concentrações ao longo dos meses está provavelmente ligado ao aporte de matéria orgânica alóctone, que é maior quando o nível da água está mais elevado. O carbono orgânico dissolvido (COD) apresentou concentração média global de $5,5 \pm 3,8 \text{ mg/L}$ (média \pm DP) e as concentrações médias dessa fração oscilaram entre de $3,7 \pm 1,0 \text{ mg/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 e $7,3 \pm 0,9 \text{ mg/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 (Figura 5.1-74).

O carbono total (CT) dos lagos e canais foi composto predominantemente pela parcela orgânica, que respondeu por 76% do total. As concentrações médias de CT oscilaram entre $8,0 \pm 3,2 \text{ mg/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 e $11,7 \pm 2,7 \text{ mg/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011, com média global de $9,7 \pm 3,5 \text{ mg/L}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-75).

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 nenhum efeito da usina nesses ambientes.

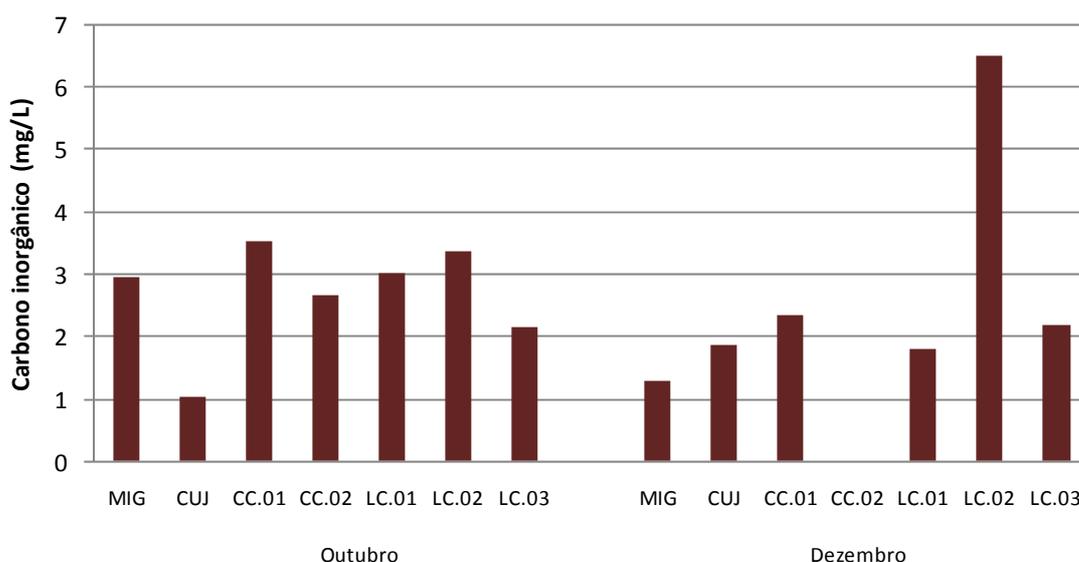


Figura 5.1-72 - Concentrações de carbono inorgânico nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

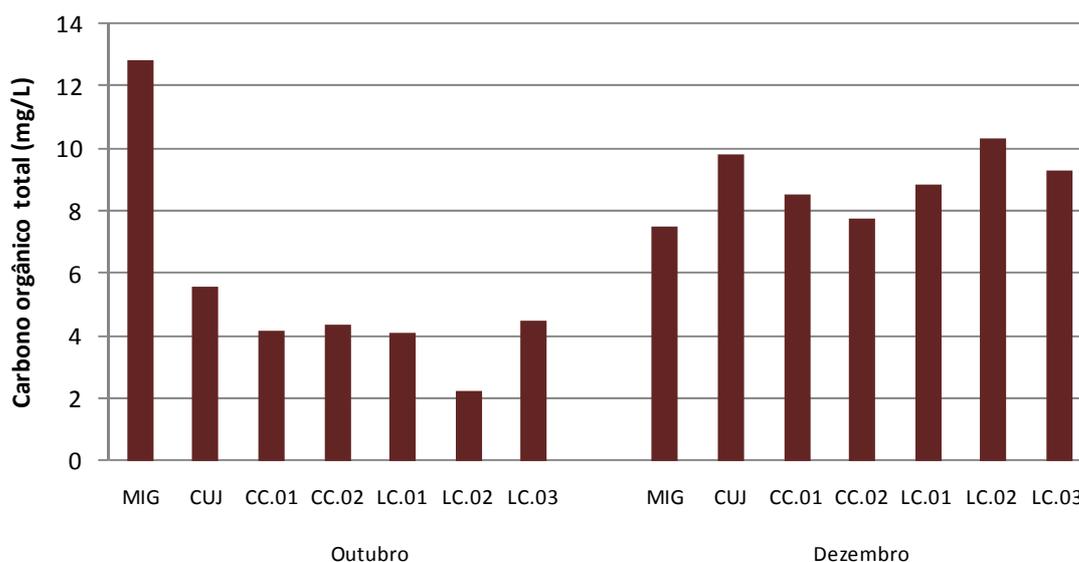


Figura 5.1-73 - Concentrações de carbono orgânico total (COT) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2012.

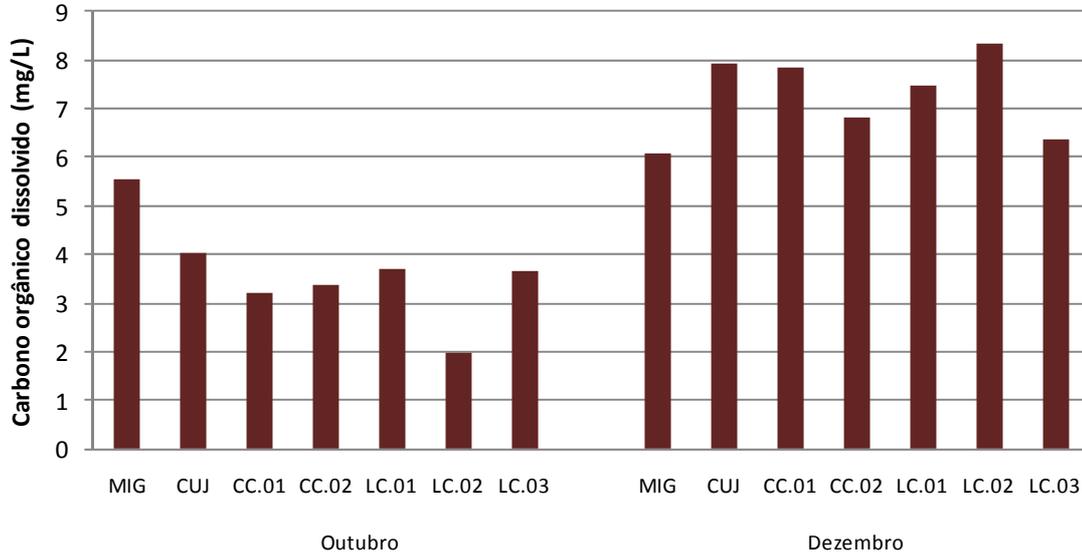


Figura 5.1-74 - Concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

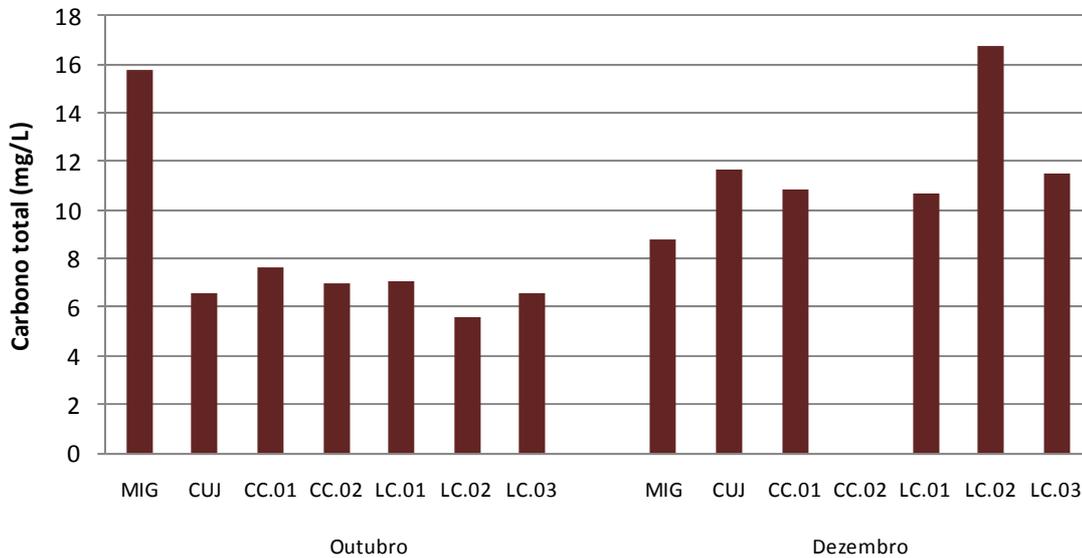


Figura 5.1-75 - Concentrações de carbono total (CT) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

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 médios de alcalinidade total oscilaram entre $22,6 \pm 1,2$ mg/L (média \pm DP) em janeiro de 2012 e $34,5 \pm 6,0$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de $25,3 \pm 4,6$ mg/L (média \pm DP) na superfície e $26,0 \pm 7,4$ mg/L (média \pm DP) no fundo (**Figura 5.1-76**). Para efeito de comparação, o Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira (janeiro de 2009 a agosto de 2011) relata média global de $24,6 \pm 8,2$ μ g/L (média \pm DP), valor próximo ao encontrado no presente estudo. 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, pode ser inferido que praticamente 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 foram quantificados nos meses de outubro e dezembro, com os valores oscilando entre $28 \pm 5,2$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 e 56 ± 28 mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de 39 ± 11 mg/L (média \pm DP) para a superfície e 45 ± 32 mg/L (média \pm DP) para o fundo (**Figura 5.1-77**). Os valores de dureza permitem classificar as águas do rio Madeira como “mole”. A maior parte da dureza foi conferida pelo cálcio (26 ± 17 mg/L, média \pm DP). Os valores oscilaram entre 16 ± 3 mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 e 36 ± 20 mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 (**Figura 5.1-78**). Já a dureza devido ao magnésio apresentou média de 16 mg/L \pm 7 mg/L (média \pm DP), com os valores oscilando entre $12 \pm 2,5$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $20 \pm 8,5$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 (**Figura 5.1-79**). No rio Madeira, a variação vertical foi mínima ou ausente para todas as variáveis do sistema tampão.

Mesmo com a criação do reservatório, os resultados obtidos não apontam para modificações na alcalinidade total, os valores variaram pouco temporalmente, verticalmente e horizontalmente nas diferentes estações amostradas no reservatório, no corpo central do rio Madeira. O mesmo se aplica para a dureza.

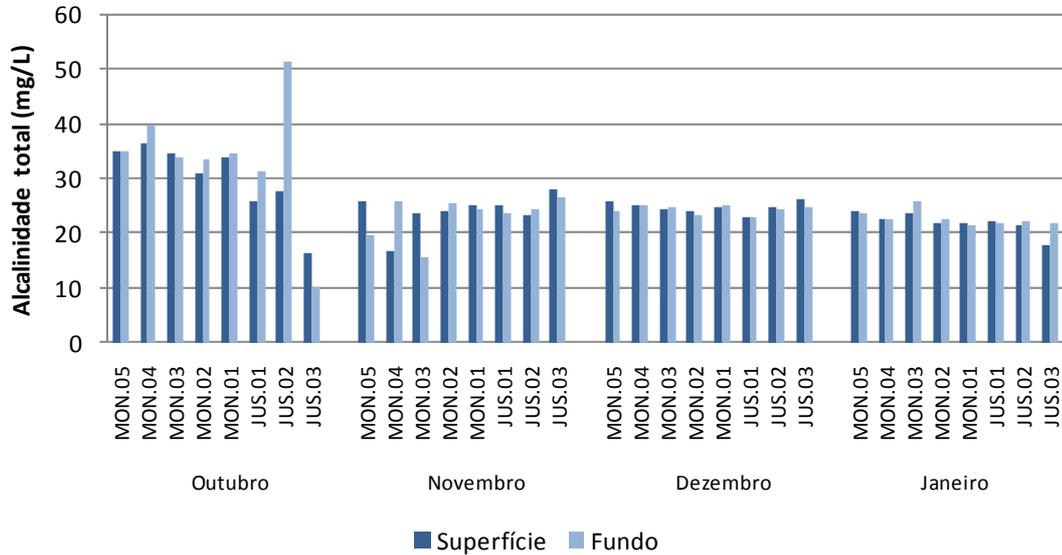


Figura 5.1-76 - Alcalinidade no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

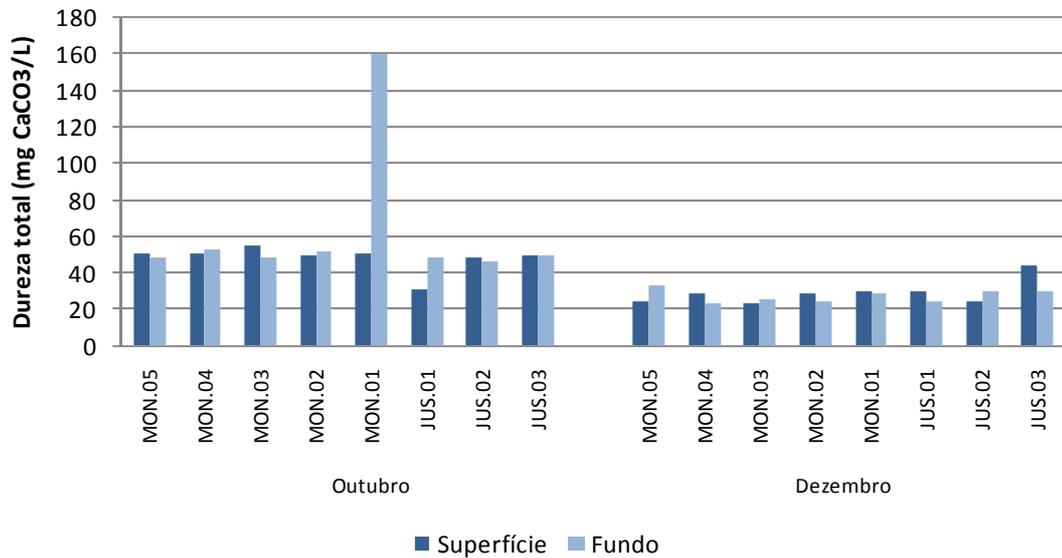


Figura 5.1-77 - Dureza total da água no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

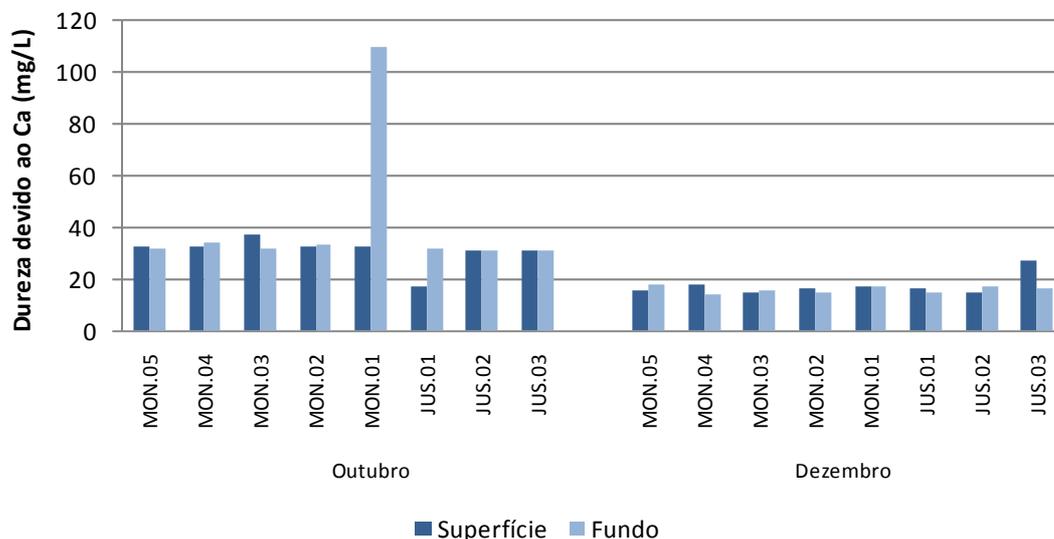


Figura 5.1-78 - Dureza devido ao cálcio no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

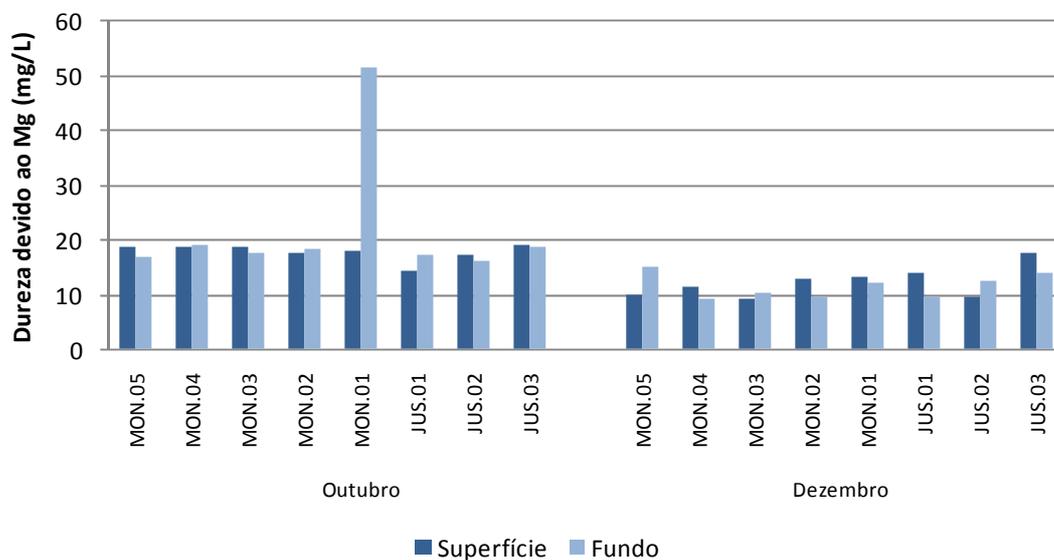


Figura 5.1-79 - Dureza devido ao magnésio no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

A alcalinidade média dos tributários apresentou concentrações que oscilaram entre $9,9 \pm 20,0$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 e $12,7 \pm 8,7$ mg/L (média \pm DP) em janeiro de 2011, com média global de $10 \pm 12,5$ mg/L (média \pm DP) (**Figura 5.1-80**). Como o pH situou-se sempre entre 4,4 e 8,3, toda a alcalinidade dos tributários foi devida ao bicarbonato. Para efeito de comparação, o Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira (janeiro de 2009 a agosto de 2011) relata média global de $6,7 \pm 8,2$ μ g/L (média \pm DP), valor um pouco abaixo ao encontrado no presente estudo. O aumento nas concentrações de outubro para dezembro é justificado por maiores concentrações encontradas nas estações JAT I, TEO e CEA, estações que estão situadas em braços do recém formado reservatório e boa parte da água que banha esses ambientes é oriunda do rio Madeira.

Os valores de dureza nos tributários oscilaram entre $5,2 \pm 3,2$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 e 14 ± 12 mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011, com média global de 10 ± 10 mg/L (média \pm DP) (**Figura 5.1-81**). A dureza dos tributários deveu-se principalmente ao cálcio, que teve média global de $6,1 \pm 5,8$ mg/L (média \pm DP). Os valores oscilaram entre $3,6 \pm 2,5$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 e $8,2 \pm 7,0$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 (**Figura 5.1-82**). Já a dureza devido ao magnésio apresentou média global de $4,0$ mg/L \pm $4,5$ mg/L (média \pm DP), com os valores oscilando entre $1,6 \pm 1,1$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 e $6,1 \pm 5,3$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 (**Figura 5.1-83**). O aumento nas concentrações de outubro para dezembro está provavelmente ligado às maiores concentrações encontradas nas estações JAT I, JAT I.01, TEO, TEO.01, CEA e CEA.01, estações que estão situadas em braços do recém formado reservatório e boa parte da água que banha esses ambientes é oriunda do rio Madeira.

UHE SANTO ANTONIO NO RIO MADEIRA

2382-00-MLM-RL-0011-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 11
(Relatório Consolidado do Enchimento)

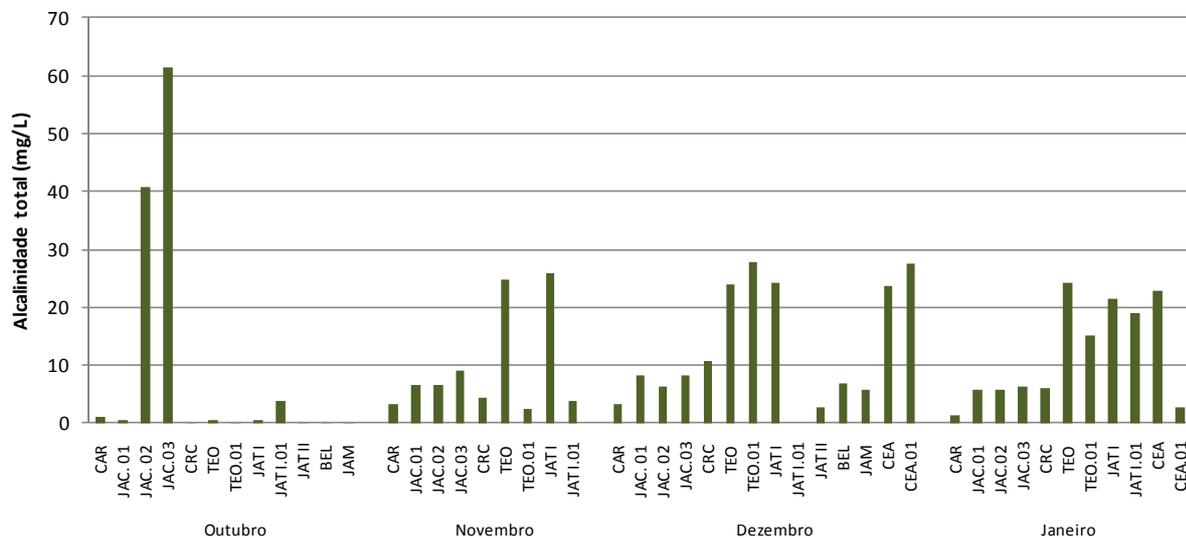


Figura 5.1-80 - Alcalinidade nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

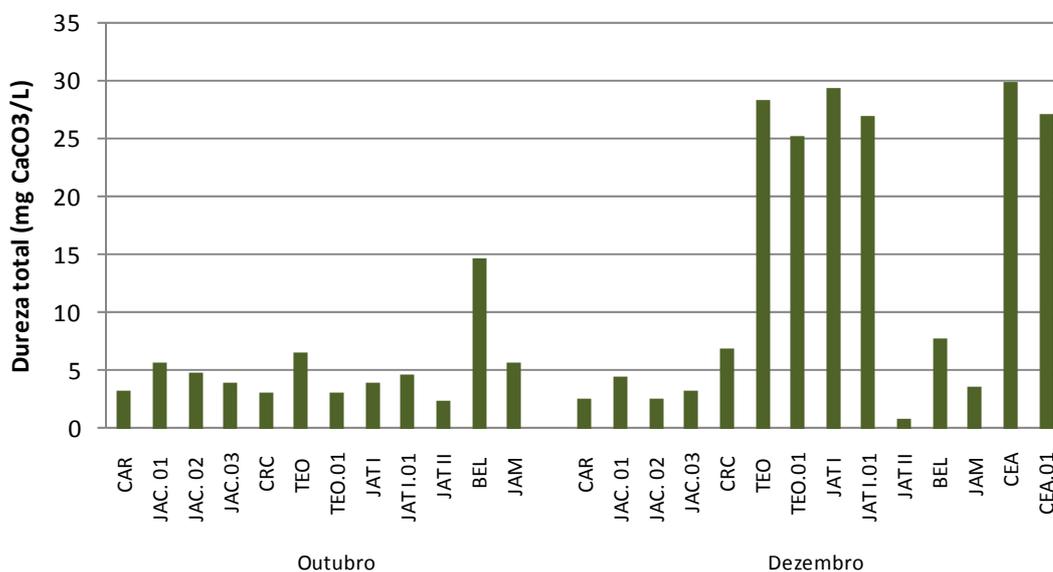


Figura 5.1-81 - Dureza total da água nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

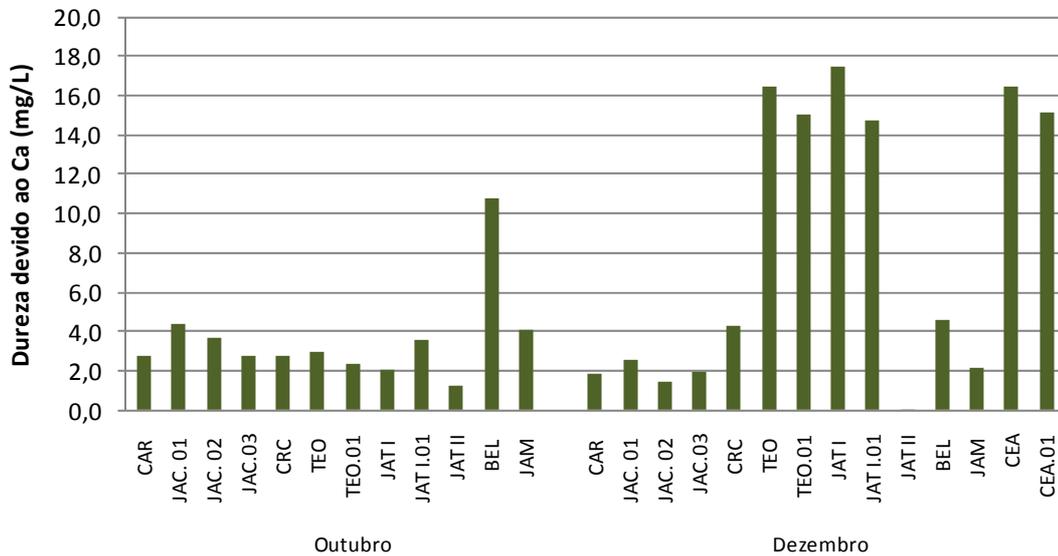


Figura 5.1-82 - Dureza devido ao cálcio nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

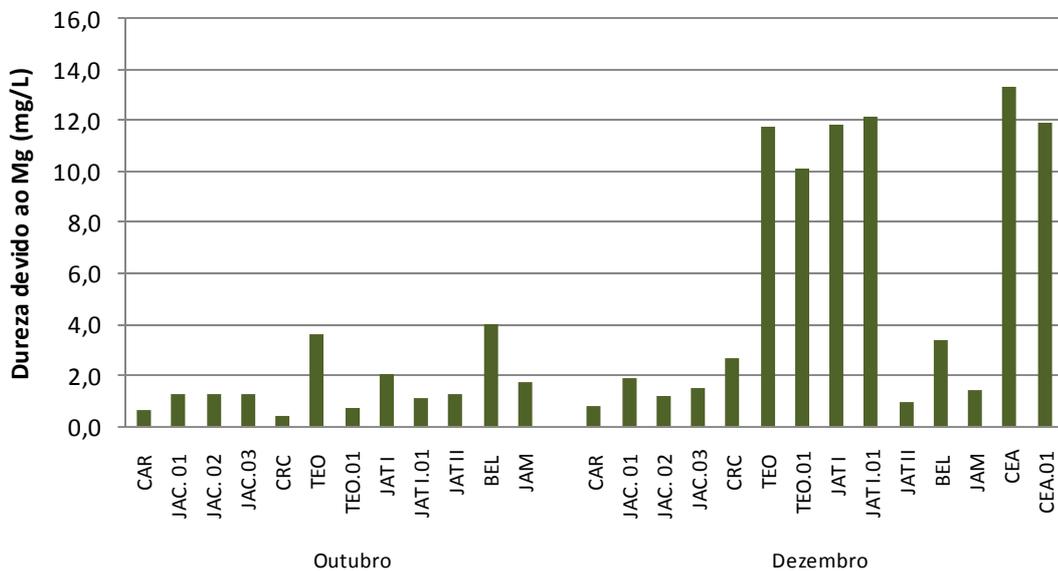


Figura 5.1-83 - Dureza devido ao magnésio nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

Dentre os três tipos de ambientes amostrados, os lagos e canais foram os que apresentaram os menores valores de alcalinidade. As concentrações oscilaram entre $0,9 \pm 1,8$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 e $3,4 \pm 2,5$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011, com média global de $2,2 \pm 2,5$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-84). Como o pH dos lagos e canais situou-se sempre entre 4,4 e 8,3, toda a alcalinidade foi devida ao bicarbonato. Cabe salientar que a alcalinidade total em dezembro de 2011 foi menor que outubro 2011, seguindo o mesmo padrão registrado nos anos anteriores pelo Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas (janeiro de 2009 a agosto de 2011), onde foi observado valores maiores de alcalinidade total na enchente em relação ao período de águas baixas.

Os valores de dureza nos lagos e canais oscilaram entre $3,6 \pm 2,3$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 e 15 ± 22 mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de 10 ± 17 mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-85). A dureza devido ao cálcio teve média global de $4,2 \pm 5,7$ mg/L (média \pm DP). Os valores oscilaram entre $1,5 \pm 1,1$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $6,0 \pm 7,1$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 (Figura 5.1-86). Diferentemente do observado no rio Madeira e nos tributários, a maior parte da dureza dos lagos e canais foi conferida pelo magnésio, que apresentou média global de $6,2$ mg/L \pm 11 mg/L (média \pm DP), com os valores oscilando entre $1,5 \pm 1,1$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $9,0 \pm 15$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 (Figura 5.1-87). O alto valor médio encontrado no mês de outubro de 2011, acompanhado de alto desvio padrão da média, é oriundo das altas concentrações encontradas na estação LC.02.

Mesmo com a criação do reservatório, os resultados de alcalinidade e durezas obtidos não apontam para modificações nos lagos e canais amostrados. Todos os lagos e canais estão situados cerca de 30 a 130km a jusante do reservatório da UHE Santo Antônio e, como o fluxo de água não foi alterado a jusante, não há nenhum efeito da usina nesses ambientes.

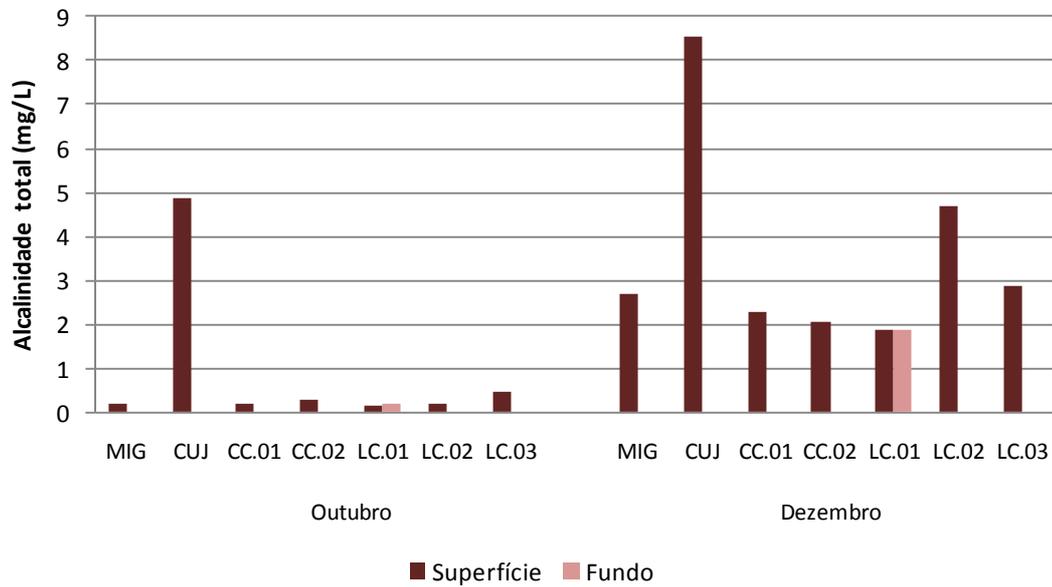


Figura 5.1-84 - Alcalinidade nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2012.

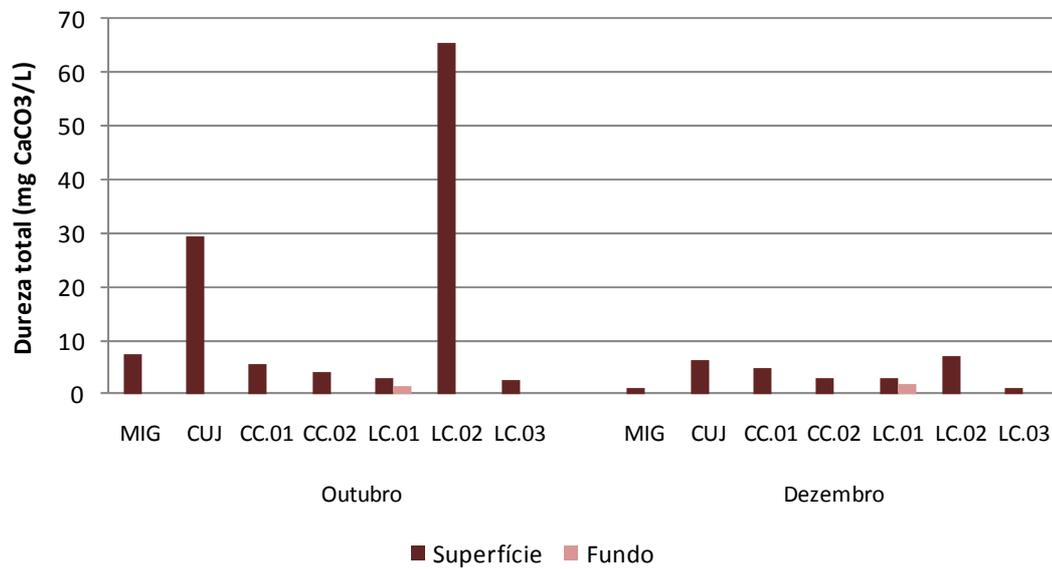


Figura 5.1-85 - Dureza total da água nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

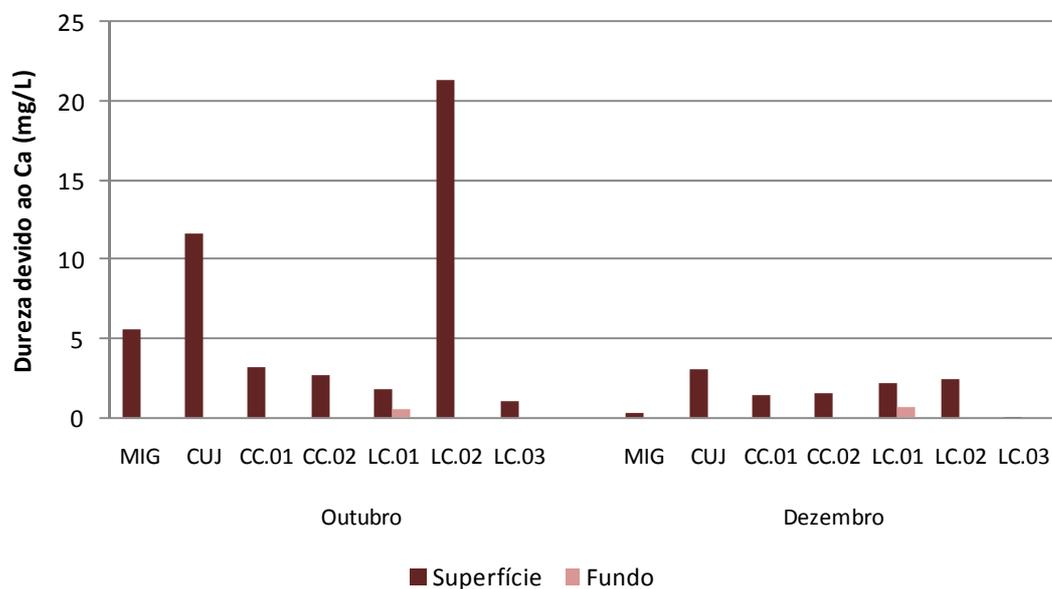


Figura 5.1-86 - Dureza devido ao cálcio nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

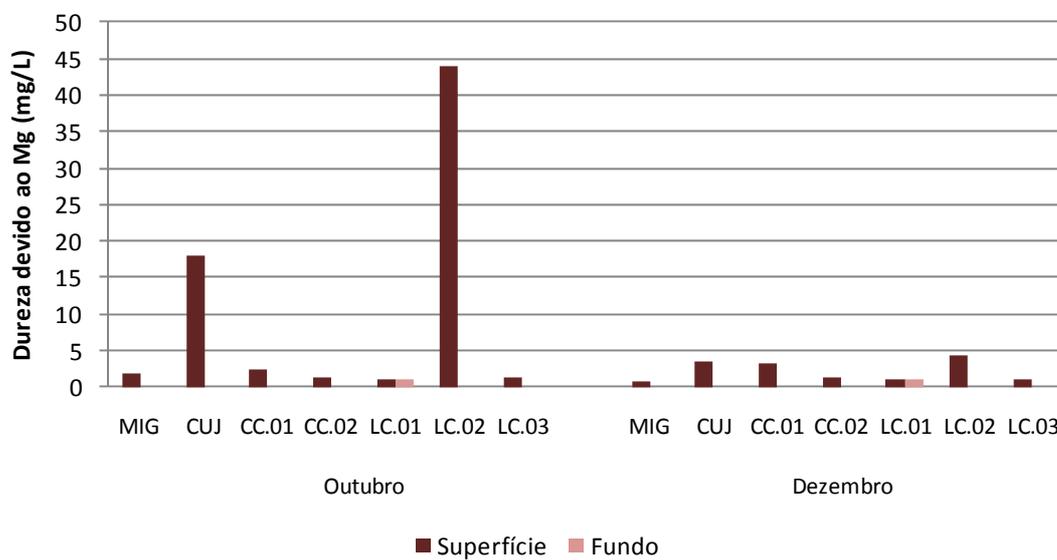


Figura 5.1-87 - Dureza devido ao magnésio nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

5.1.6 - Químicas III

5.1.6.1 - Íons principais (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , 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 sulfato, respectivamente (**Quadro 5.1-1**). Em média, os cátions mais abundantes foram o cálcio (51%), o sódio (20%), o magnésio (20%) e o potássio (10%), ao passo que os ânions foram o o sulfato (78%), bicarbonato (40%) e o cloreto (5%).

As concentrações médias de sódio (Na^+) decresceram ao longo do tempo. A concentração média global desse cátion foi de $3,6 \pm 1,2$ mg/L (média \pm DP) para superfície e $4,5 \pm 4,2$ mg/L (média \pm DP) para o fundo (**Figura 5.1-88**), oscilando entre $2,5 \pm 0,3$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $5,6 \pm 3,7$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011. Assim como o sódio, o potássio (K^+) decresceu ao longo do tempo (outubro de 2011 a dezembro de 2011). As maiores concentrações de potássio aconteceram em outubro de 2011 ($2,4 \pm 1,0$ mg/L, média \pm DP) e as menores em dezembro de 2011 ($1,5 \pm 0,4$ mg/L, média \pm DP) (**Figura 5.1-89**). Esse elemento apresentou média global de $1,8 \pm 0,6$ mg/L (média \pm DP) para a superfície e $2,1 \pm 1,1$ mg/L (média \pm DP) para o fundo.

As concentrações médias de cálcio oscilaram entre $6,7 \pm 14$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $14,4 \pm 8,0$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de $9,6 \pm 3,4$ mg/L (média \pm DP) na superfície e $11 \pm 9,2$ mg/L (média \pm DP) no fundo (**Figura 5.1-90**). O magnésio (Mg^{2+}) apresentou concentração média global de $3,7 \pm 0,9$ mg/L (média \pm DP) para a superfície, sendo que os valores médios dos períodos oscilaram entre $2,9 \pm 0,5$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $4,9 \pm 2,1$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 (**Figura 5.1-91**).

O cloreto (Cl^-) apresentou concentrações não detectáveis pelo método analítico em outubro de 2011 e na superfície das estações MON.03, MON.01, JUS.01 e JUS.02 em dezembro de 2011. O restante das estações apresentaram valores médios de $1,1 \pm 0,1$ mg/L (média \pm DP) para a superfície e $1,3 \pm 0,2$ mg/L (média \pm DP) para o fundo. (Figura 5.1-92). O sulfato (SO_4^{2-}) quase não variou verticalmente e temporalmente, registrando concentração média de $12 \pm 2,4$ mg/L (média \pm DP) para a superfície e $13 \pm 0,9$ mg/L (média \pm DP) para o fundo. Os valores oscilaram entre $12 \pm 2,0$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $13 \pm 1,4$ (média \pm DP) em outubro de 2011 (Figura 5.1-93).

O bicarbonato (HCO_3^-) não apresentou concentrações detectáveis pelo método analítico adotado em outubro de 2011 e na superfície das estações MON.03, MON.01, JUS.01 e JUS.02 em dezembro de 2011. O HCO_3^- registrou média global de $25 \pm 0,5$ mg/L (média \pm DP) para a superfície e $0,5 \pm 0$ mg/L (média \pm DP) para o fundo (Figura 5.1-94).

Quadro 5.1-1 - Composição iônica, em porcentagem, no rio Madeira, tributários e lagos e canais durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

| Rio Madeira | | | | Tributários | | | | Lagos | | | |
|-------------|-------------------------------|---------|----------|-------------|-------------------------------|---------|----------|---------|-------------------------------|---------|----------|
| Íons | | % | | Íons | | % | | Íons | | % | |
| | | Outubro | Dezembro | | | Outubro | Dezembro | | | Outubro | Dezembro |
| Cátions | Ca ²⁺ | 52 | 50 | Cátions | Ca ²⁺ | 32 | 23 | Cátions | Ca ²⁺ | 29 | 24 |
| | K ⁺ | 9 | 11 | | K ⁺ | 41 | 39 | | K ⁺ | 29 | 33 |
| | Na ⁺ | 21 | 19 | | Na ⁺ | 18 | 20 | | Na ⁺ | 26 | 22 |
| | Mg ²⁺ | 18 | 20 | | Mg ²⁺ | 9 | 18 | | Mg ²⁺ | 16 | 21 |
| | Total | 100 | 100 | | Total | 100 | 100 | | Total | 100 | 100 |
| Ânions | HCO ₃ ⁻ | - | 40 | Ânions | HCO ₃ ⁻ | - | 57 | Ânions | HCO ₃ ⁻ | - | - |
| | Cl ⁻ | - | 5 | | Cl ⁻ | - | 6 | | Cl ⁻ | - | - |
| | SO ₄ ²⁻ | 100 | 55 | | SO ₄ ²⁻ | - | 37 | | SO ₄ ²⁻ | - | - |
| | Total | 100 | 100 | | Total | - | 100 | | Total | - | - |

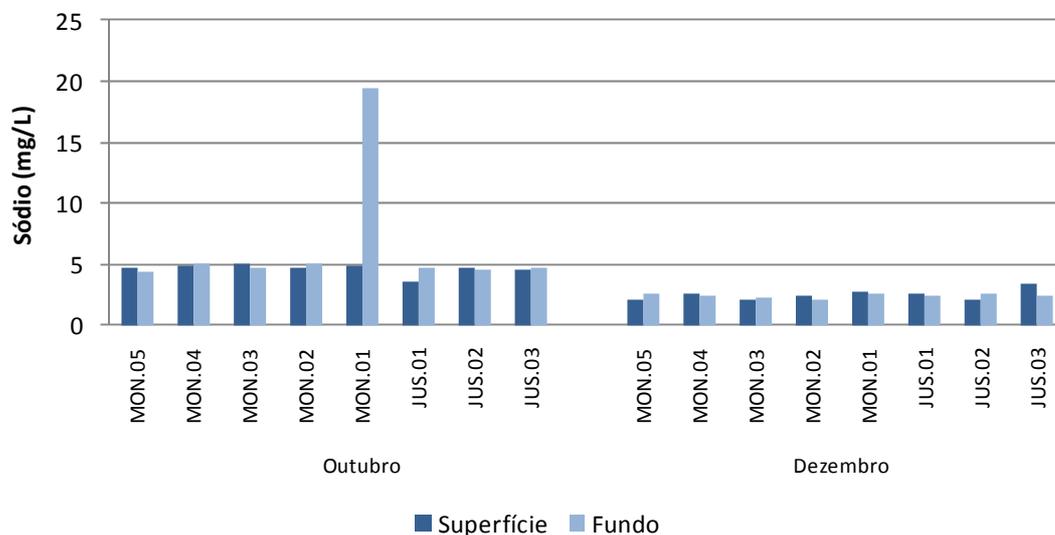


Figura 5.1-88 - Concentrações de sódio (Na^+) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

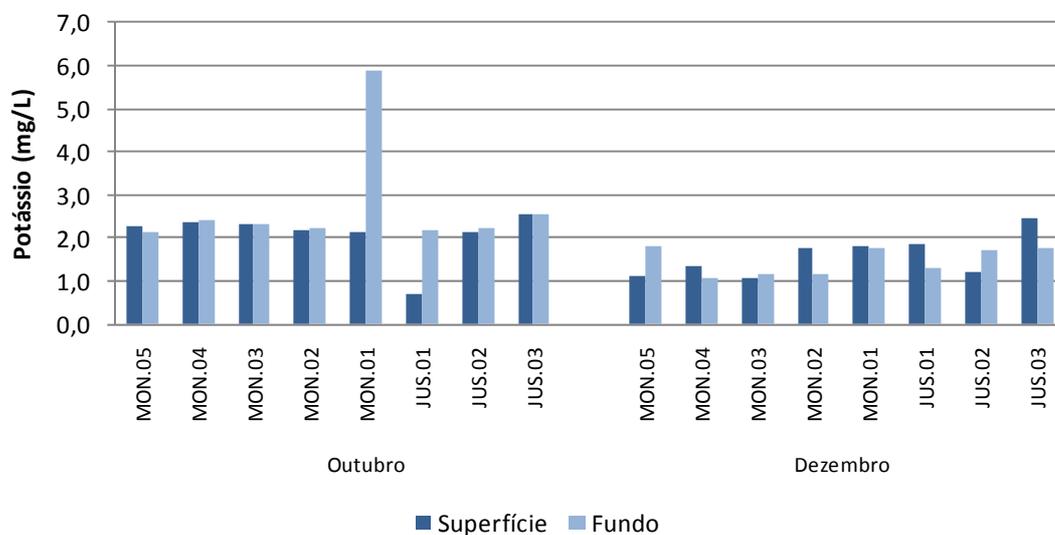


Figura 5.1-89 - Concentrações de potássio (K^+) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

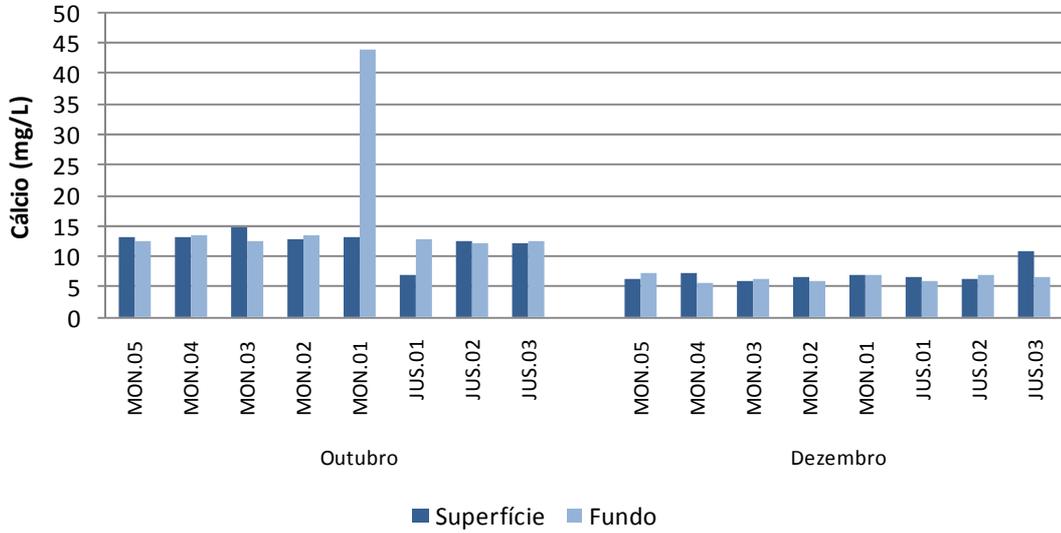


Figura 5.1-90 - Concentrações de cálcio (Ca²⁺) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

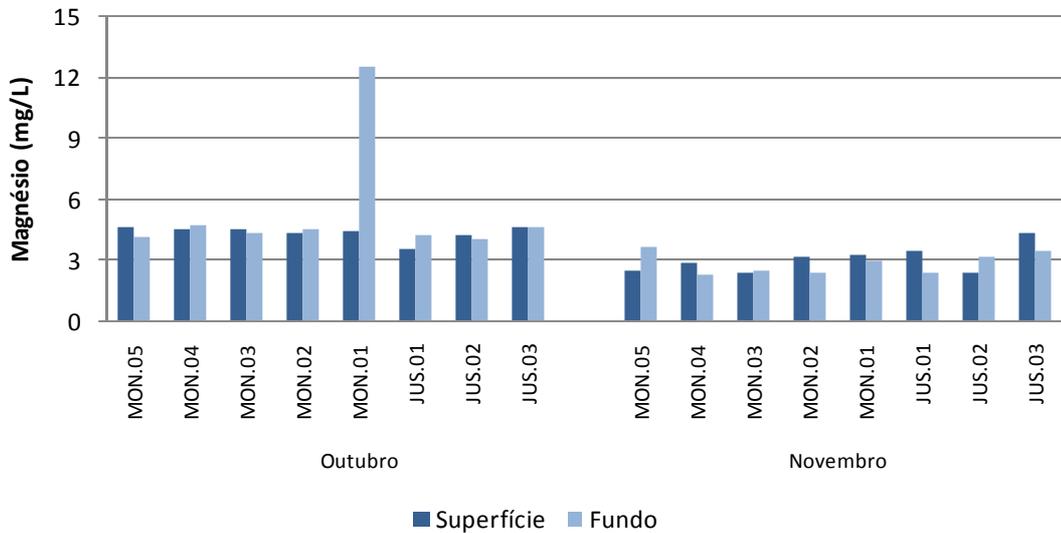


Figura 5.1-91 - Concentrações de magnésio (Mg²⁺) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

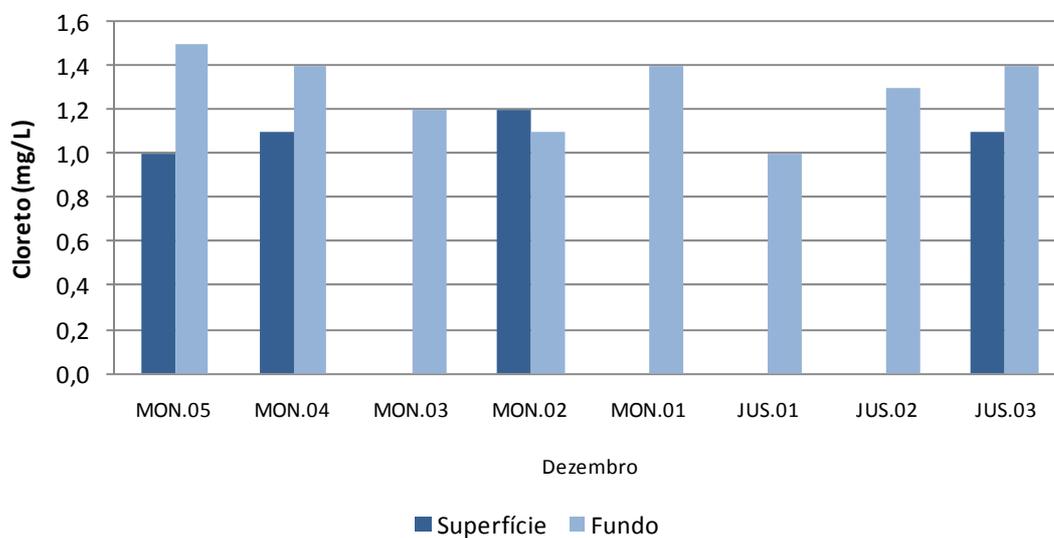


Figura 5.1-92 - Concentrações de cloreto (Cl^-) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, no mês de dezembro de 2011.

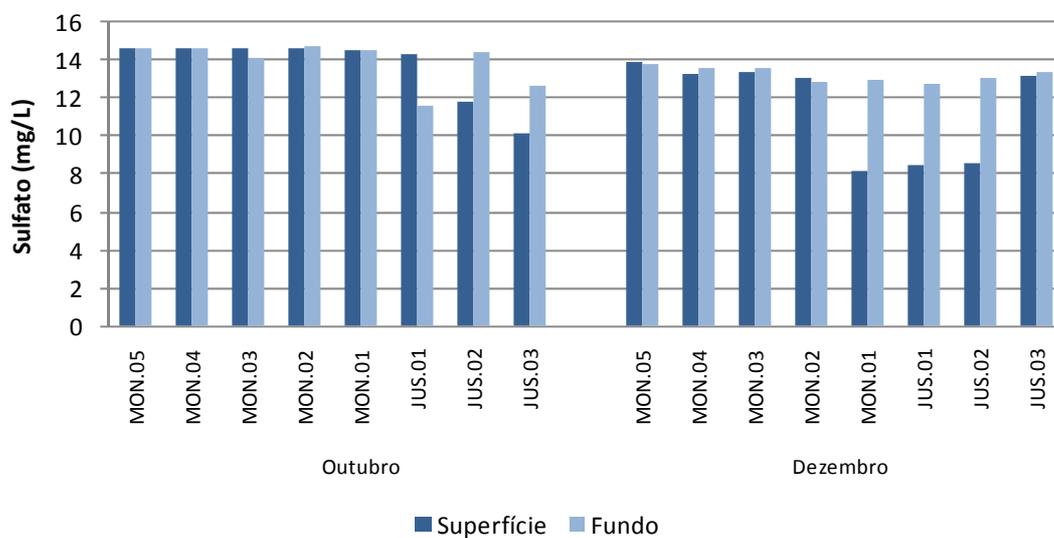


Figura 5.1-93 - Concentrações de sulfato (SO_4^{2-}) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

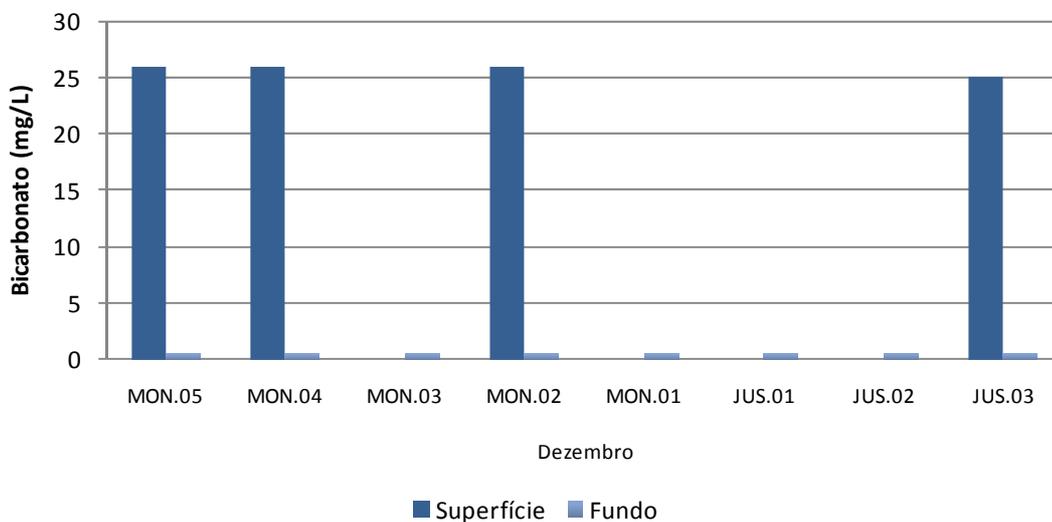


Figura 5.1-94 - Concentrações de bicarbonato (HCO_3^-) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, no mês de dezembro de 2011.

Nos tributários, o potássio foi o cátion com maior abundância média (40%), seguido do cálcio (28%), do sódio (19%) e do magnésio (14%). Em relação aos ânions, o mais abundante foi o bicarbonato (57%), seguido pelo sulfato (37%) e pelo cloreto (6%). A contribuição de cada um dos cátions e ânions em cada mês está apresentada no **Quadro 5.1-1**.

Os rios tributários apresentaram, em geral, baixas concentrações de sódio (Na^+). As concentrações médias variaram de $0,8 \pm 0,9$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 a $1,9 \pm 1,4$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2012, com média global de $1,4 \pm 1,3$ mg/L (média \pm DP) (**Figura 5.1-95**). O potássio (K^+) quase não variou ao longo do tempo. As concentrações médias desse cátion oscilaram entre $1,6 \pm 0,6$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $1,9 \pm 0,5$ em outubro de 2011. Esses valores médios produziram uma média global de $1,8 \pm 0,5$ mg/L (média \pm DP) (**Figura 5.1-96**).

A concentração média global de cálcio foi de $2,4 \pm 2,3$ mg/L (média \pm DP), sendo que os valores médios oscilaram entre $1,4 \pm 1,0$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 e $3,3 \pm 2,8$ mg/L (média \pm DP) dezembro de 2011 (**Figura 5.1-97**). As concentrações médias de magnésio (Mg^{2+}) oscilaram entre $0,4 \pm 0,3$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 e $1,5 \pm 1,3$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011, com média global de $1,0 \pm 1,1$ mg/L (média \pm DP) (**Figura 5.1-98**).

O íon cloreto (Cl^-) não foi detectado nos rios tributários em outubro de 2011. As concentrações desse ânion foram detectadas apenas nas estações JAT I.01, BEL, CEA e CEA.01 em dezembro de 2011 (Figura 5.1-99). O mesmo aconteceu com o íon sulfato (SO_4^{2-}), que apresentou concentrações detectáveis apenas nas estações TEO, TEO.01, JAT I, JAT I.01, CEA, CEA.01 e BEL em dezembro de 2011, registrando uma média global de $11 \pm 4,9$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-100). O bicarbonato (HCO_3^-), ânion mais abundante, apresentou concentração detectáveis apenas em dezembro de 2011. A média global desse mês foi de 18 ± 11 mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-101).

O aumento nas concentrações dos íons (exceto o potássio) ao longo dos meses está, provavelmente, ligado as altas concentrações encontradas nas estações TEO, TEO.01, JAT I, JAT I.01, CEA e CEA.01, que estão situadas em braços do recém formado reservatório e boa parte da água que banha esses ambientes é oriunda do rio Madeira.

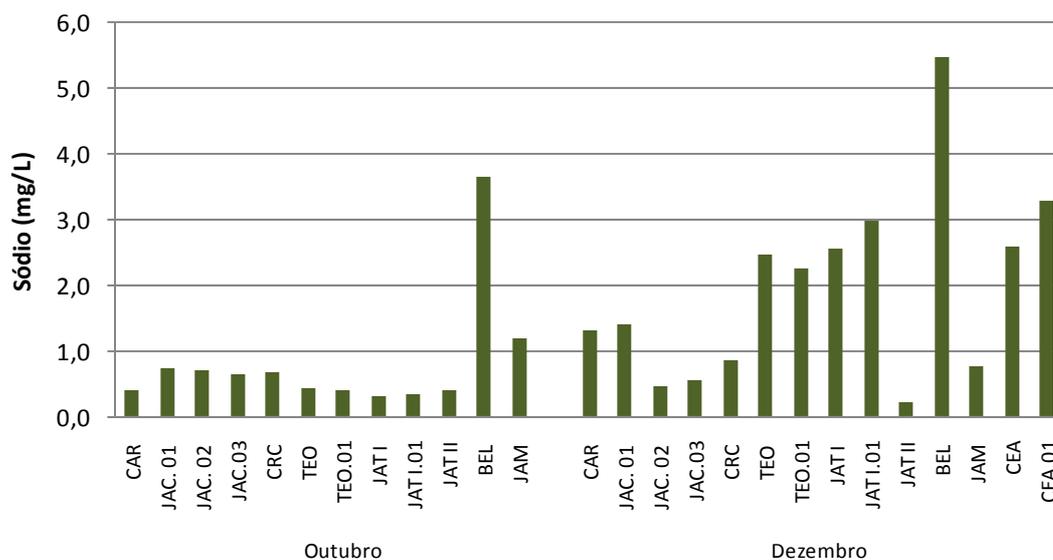


Figura 5.1-95 - Concentrações de sódio (Na^+) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

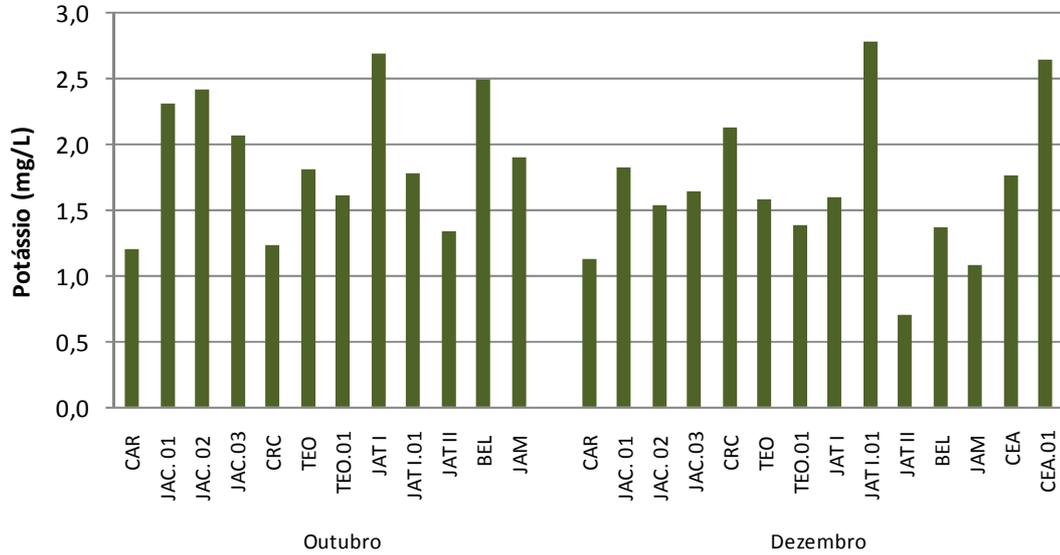


Figura 5.1-96 - Concentrações de potássio (K^+) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

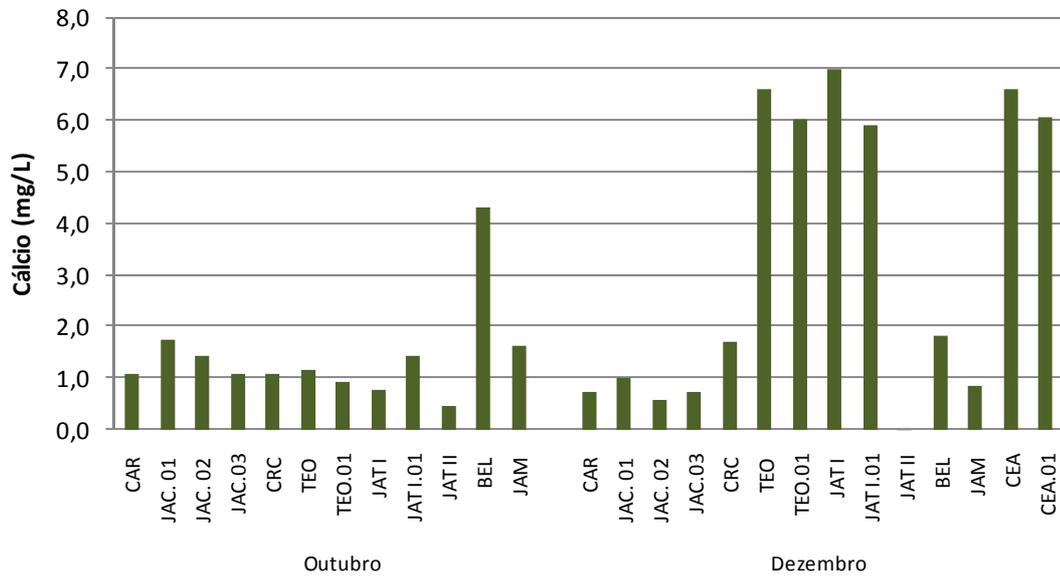


Figura 5.1-97 - Concentrações de cálcio (Ca^{2+}) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

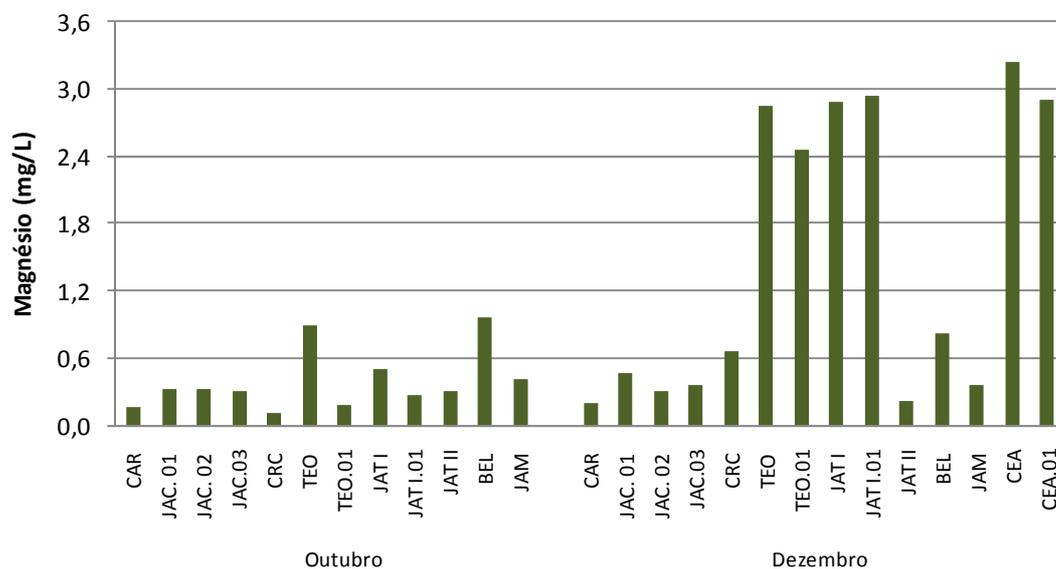


Figura 5.1-98 - Concentrações de magnésio (Mg^{2+}) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

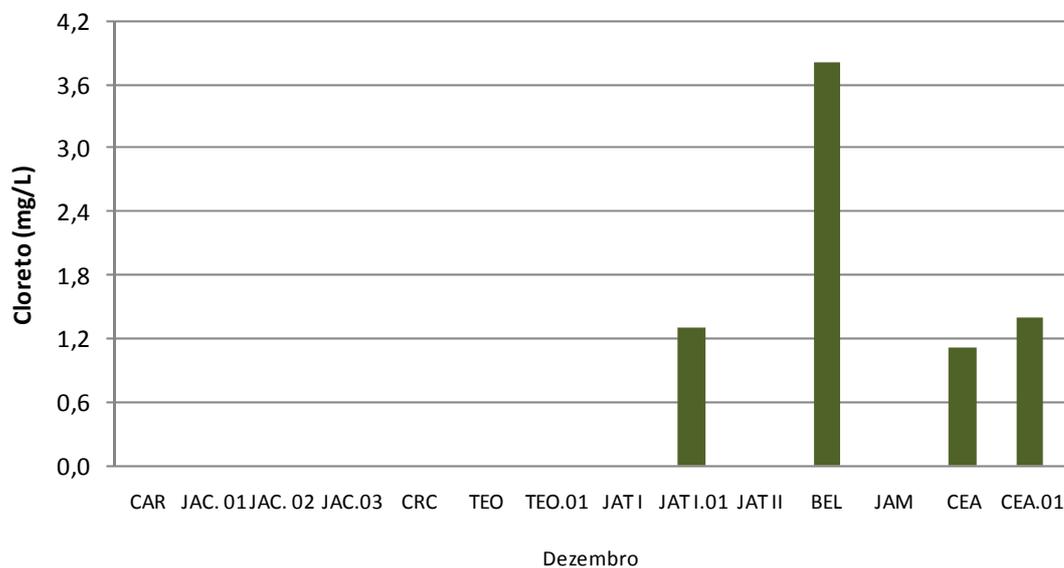


Figura 5.1-99 - Concentrações de cloreto (Cl^-) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, no mês de dezembro de 2011.

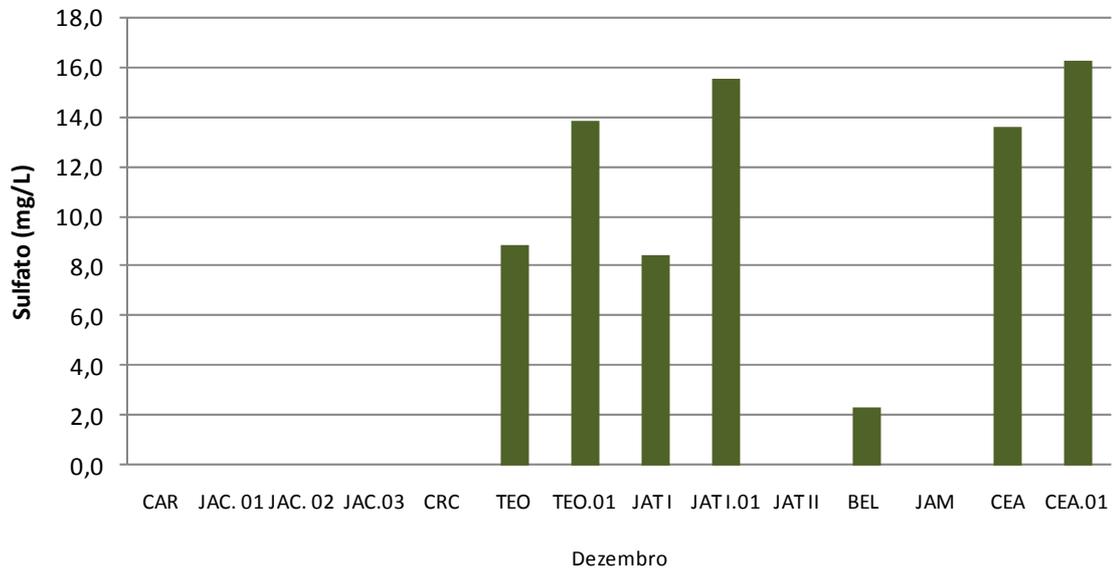


Figura 5.1-100 - Concentrações de sulfato (SO_4^{2-}) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, no mês de dezembro de 2011.

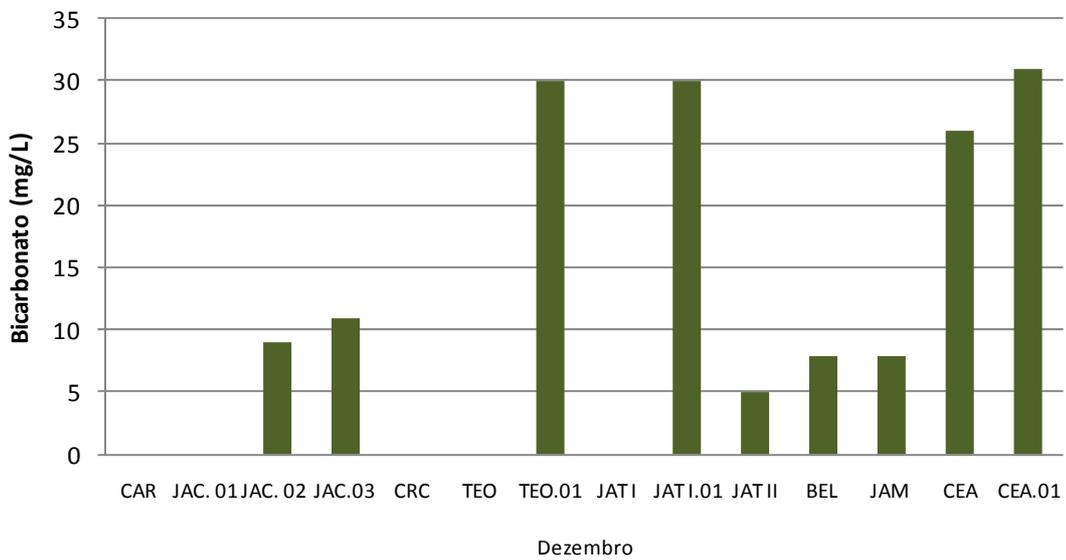


Figura 5.1-101 - Concentrações de bicarbonato (HCO_3^-) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, no mês de dezembro de 2011.

Nos lagos e canais, assim como no rio Madeira, em média o potássio foi o cátion com mais abundância média (31%), seguido do cálcio (27%), do sódio (24%) e do magnésio (19%) (**Quadro 5.1-1**).

As concentrações médias de sódio (Na^+) quase não variaram ao longo do tempo. A concentração média global desse cátion foi de $1,0 \pm 1,5$ mg/L (média \pm DP), oscilando entre $0,5 \pm 1,4$ mg/L (média \pm DP) em dezembro 2011 e $1,4 \pm 1,9$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 (**Figura 5.1-102**). Os valores foram semelhantes entre um período e outro, de modo que a diferença nas médias foi causada pelo valor mais alto encontrado na estação CUJ em outubro de 2011. O potássio (K^+) decresceu ao longo do tempo (outubro de 2011 à dezembro de 2011). As maiores concentrações de potássio aconteceram em outubro de 2011 ($2,5 \pm 2,2$ mg/L, média \pm DP) e as menores em dezembro de 2011 ($0,8 \pm 0,2$ mg/L, média \pm DP) (**Figura 5.1-103**). Esse elemento apresentou média global de $1,7 \pm 1,7$ mg/L (média \pm DP).

As concentrações médias de cálcio oscilaram entre $0,6 \pm 0,4$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $2,4 \pm 2,9$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de $1,7 \pm 2,3$ mg/L (média \pm DP) (**Figura 5.1-104**). O magnésio (Mg^{2+}) apresentou concentração média global de $1,5 \pm 2,9$ mg/L (média \pm DP), sendo que os valores médios dos períodos oscilaram entre $0,5 \pm 0,3$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $2,2 \pm 3,7$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 (**Figura 5.1-105**). Os ânions bicarbonato, o sulfato e o cloreto não foram detectados nos lagos e canais nos meses do enchimento.

Considerando que os resultados obtidos não apontam para modificações e que 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 nenhum efeito da usina nesses ambientes.

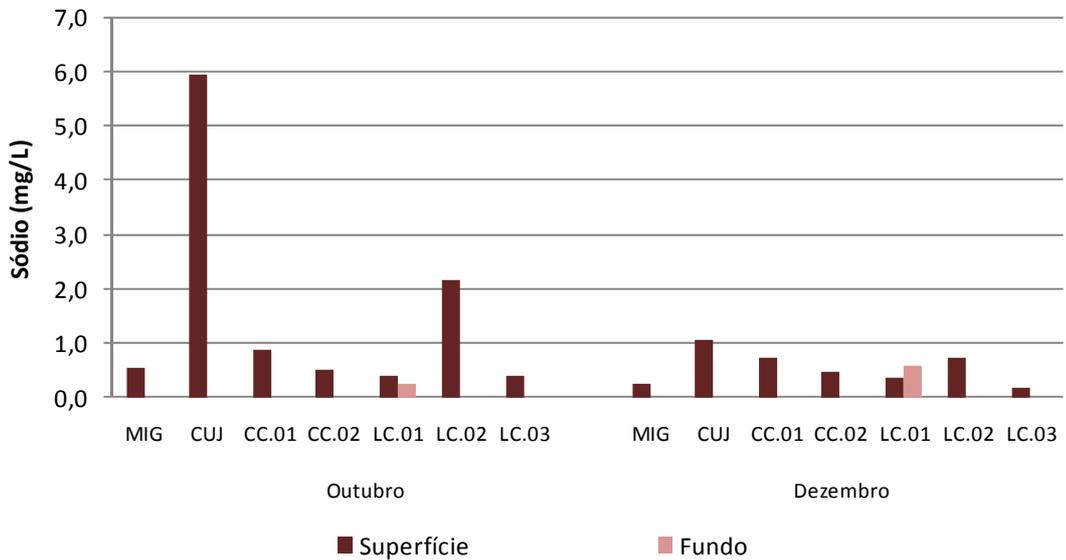


Figura 5.1-102 - Concentrações de sódio (Na⁺) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

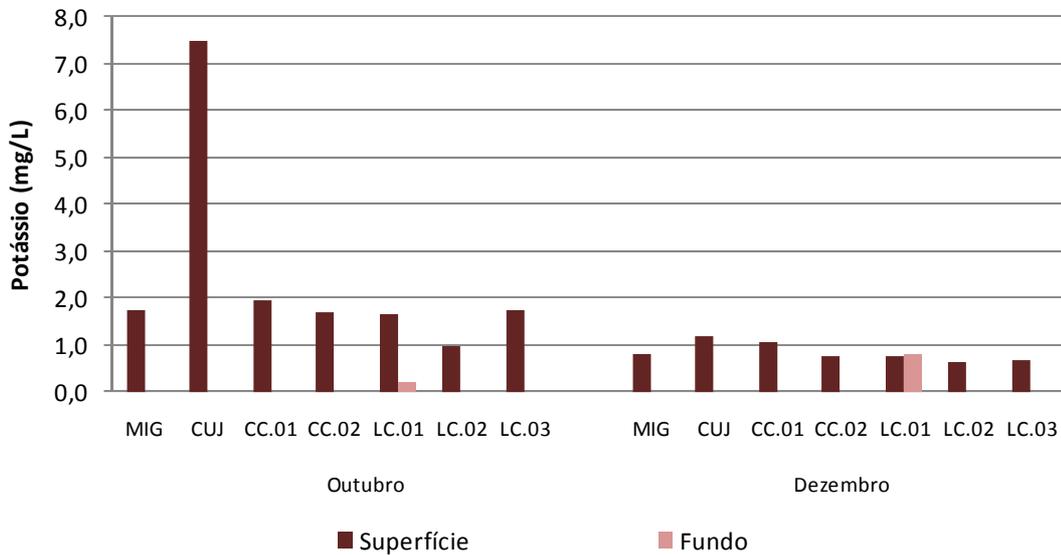


Figura 5.1-103 - Concentrações de potássio (K⁺) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

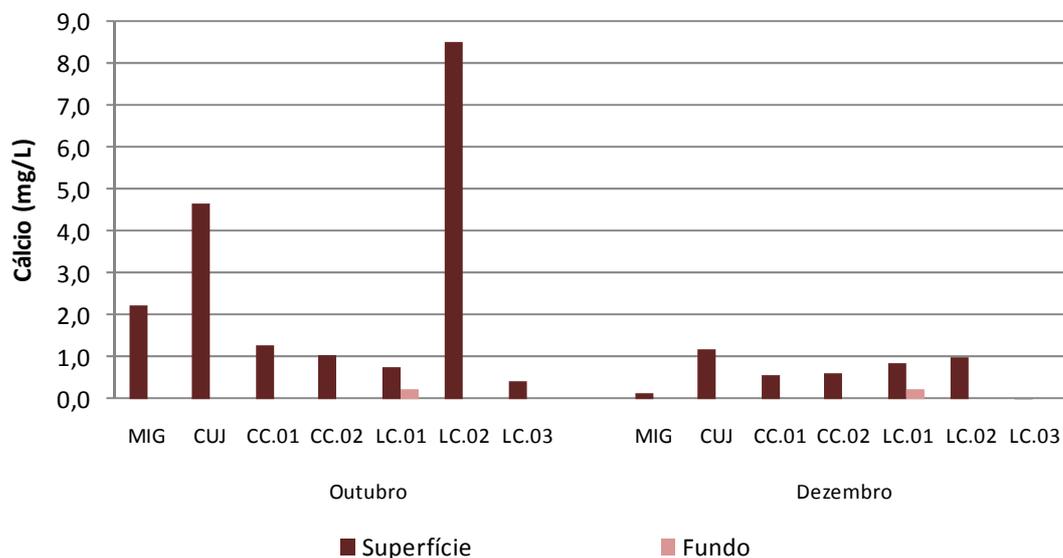


Figura 5.1-104 - Concentrações de cálcio (Ca²⁺) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

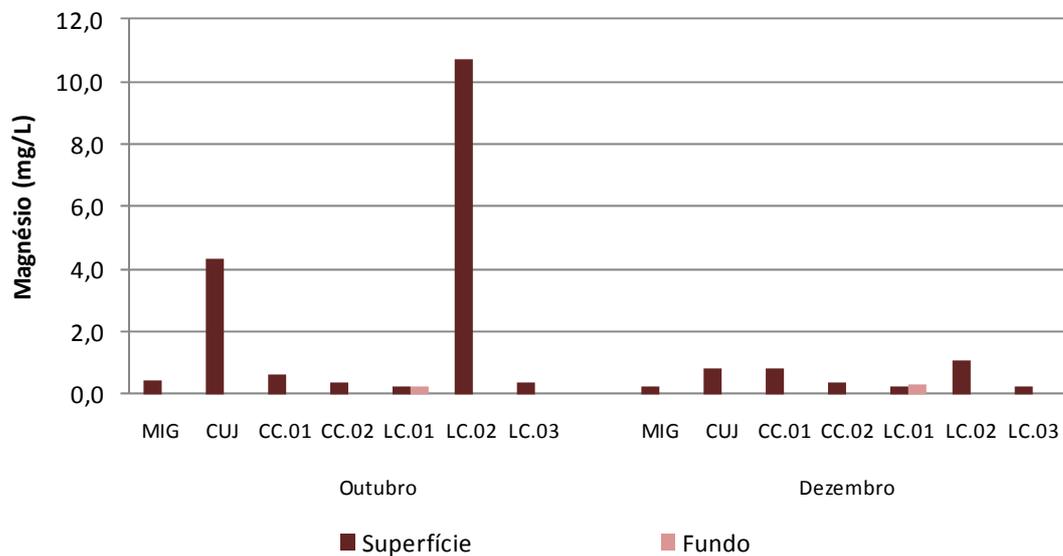


Figura 5.1-105 - Concentrações de magnésio (Mg²⁺) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

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 92% dessa fração. As concentrações de nitrato variaram de $91 \pm 72 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 a $697 \pm 124 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro de 2012, com uma média global de $492 \pm 244 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para superfície e $475 \pm 244 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para o fundo. Estes valores foram bastante semelhantes àqueles registrados no EIA - $470 \pm 210 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-106). O rio Madeira, mesmo com a criação do reservatório, não apresentou variação vertical nos valores de nitrato.

O nitrogênio amoniacal foi a segunda fração que mais contribuiu para o nitrogênio inorgânico. As concentrações médias dessa fração variaram pouco ao longo dos meses avaliados. Os valores variaram de $28 \pm 8 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 a $44 \pm 25 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de $36 \pm 15 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície e $35 \pm 15 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para o fundo (Figura 5.1-107), evidenciando ausência de variação vertical. Os valores encontrados no presente estudo foram semelhantes aos registrados no Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira entre janeiro de 2009 e agosto de 2011 (47 ± 64 , média \pm DP).

O nitrito apresentou concentrações baixas ao longo de todo o período de estudo, com valores médios oscilando entre $1,5 \pm 0,3 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em novembro de 2011 e $2,0 \pm 0,3 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro de 2012, com média global de $1,7 \pm 0,4 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP), tanto para a superfície como para o fundo (Figura 5.1-108). O nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), que é a soma das concentrações de nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrito, apresentou concentração

média global de $530 \pm 239 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície e $512 \pm 248 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para o fundo, com as médias oscilando entre $137 \pm 76 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 e $730 \pm 121 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro 2012 (**Figura 5.1-109**).

As concentrações médias de nitrogênio orgânico dissolvido variaram de $207 \pm 96 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro de 2012 a $436 \pm 177 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011, com média global de $340 \pm 149 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície e $376 \pm 152 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para o fundo (**Figura 5.1-110**). Assim como o observado para o nitrogênio orgânico dissolvido, as concentrações de nitrogênio orgânico total (NOT) na superfície e no fundo das estações amostradas no rio Madeira foram similares, apresentando concentrações de $894 \pm 567 \mu\text{g/L}$ e $891 \pm 447 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP), respectivamente (**Figura 5.1-111**). As concentrações médias oscilaram entre $388 \pm 173 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro de 2012 e $1367 \pm 547 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011. Para efeito de comparação, o Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira (janeiro de 2009 a agosto de 2011) relata média global de $614 \pm 397 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP), valor próximo ao encontrado no presente estudo.

O nitrogênio particulado (NP) apresentou média global de $554 \pm 520 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície e $487 \pm 520 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para o fundo, com as concentrações médias variando entre $180 \pm 126 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro de 2012 e $941 \pm 561 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 (**Figura 5.1-112**). A fração particulada foi em média 38% do nitrogênio total, estando o restante na fração dissolvida. O nitrogênio total dissolvido (NTD) apresentou média global de $869 \pm 219 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície e $888 \pm 237 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para o fundo, com as médias variando entre $553 \pm 71 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 e $1076 \pm 165 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 (**Figura 5.1-113**). Em relação ao nitrogênio total (NT), as concentrações variaram de $1118 \pm 84 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro de 2012 a $1727 \pm 290 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em novembro 2011, com média global de $1424 \pm 431 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) na superfície e $1403 \pm 317 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) no fundo (**Figura 5.1-114**). Houve pouca variação espaço-temporal, isso corrobora o fato de que a criação do reservatório não aumentou as concentrações de nitrogênio total.

As diferentes formas de nitrogênio oscilaram pouco temporalmente, verticalmente e horizontalmente nas diferentes estações amostradas no reservatório, no corpo central do rio Madeira. Quando encontradas, as variações podem ser atribuídas à variações naturais desse ambiente aquático, cujo nível d'água varia bastante anualmente em função do pulso de

inundação. Esses resultados indicam que a formação do reservatório não influenciou, até o presente momento, a dinâmica do nitrogênio nas estações do rio Madeira.

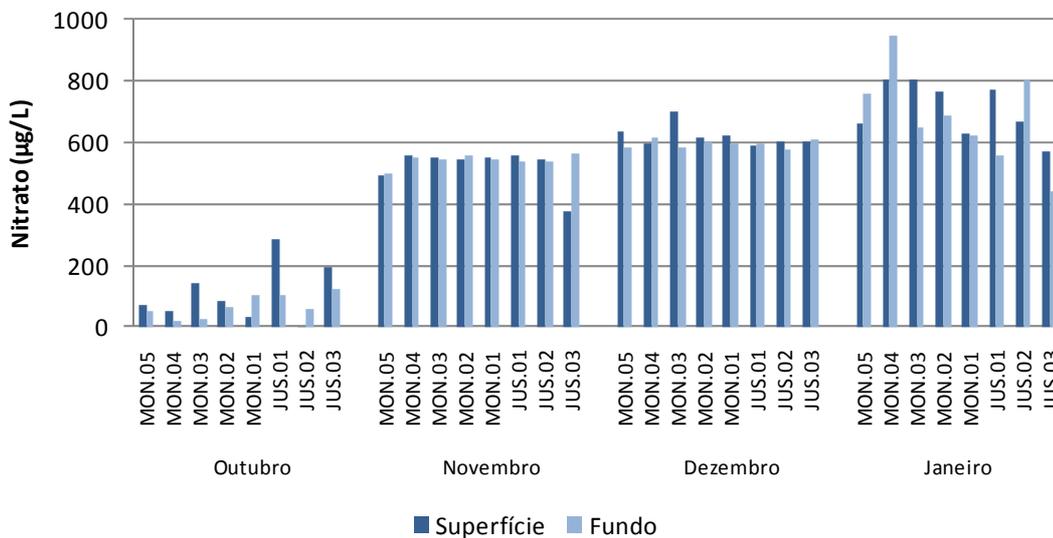


Figura 5.1-106 - Concentrações de nitrato no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

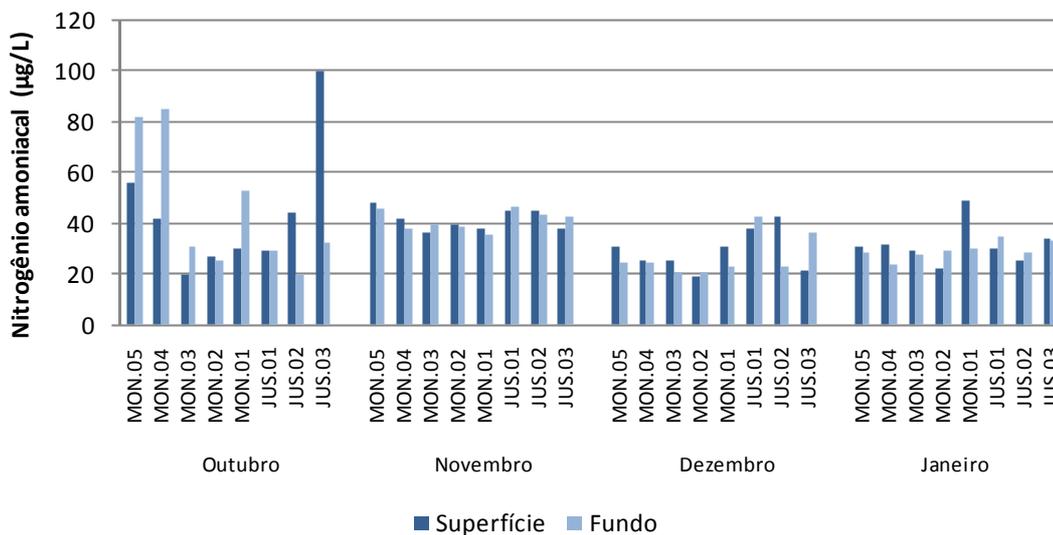


Figura 5.1-107 - Concentrações de nitrogênio amoniacoal no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

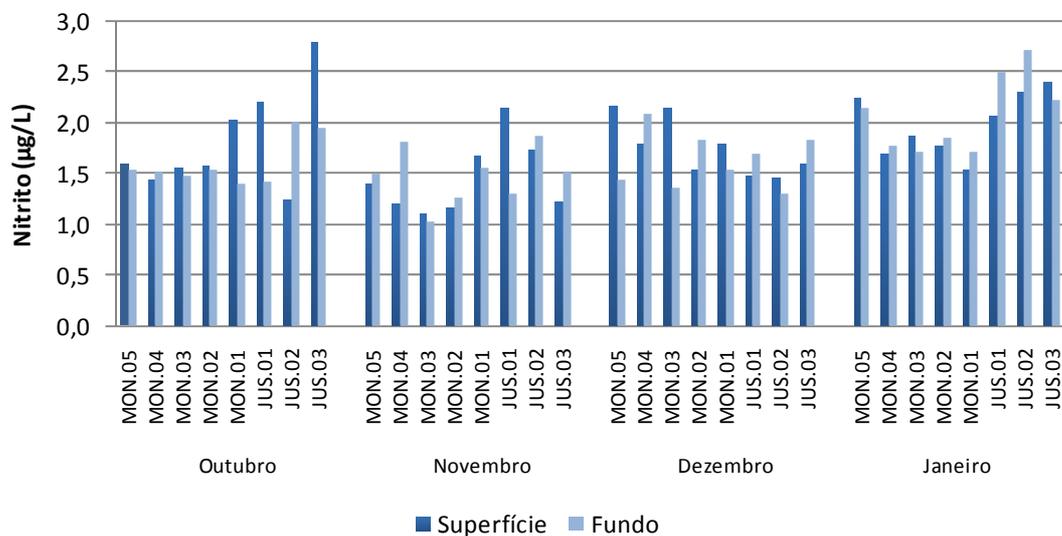


Figura 5.1-108 - Concentrações de nitrito no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

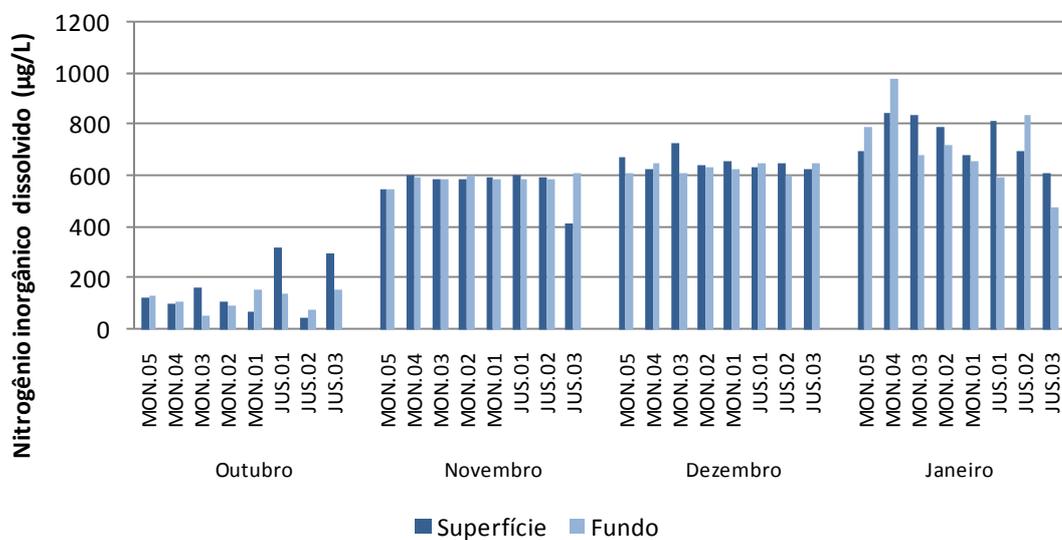


Figura 5.1-109 - Concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

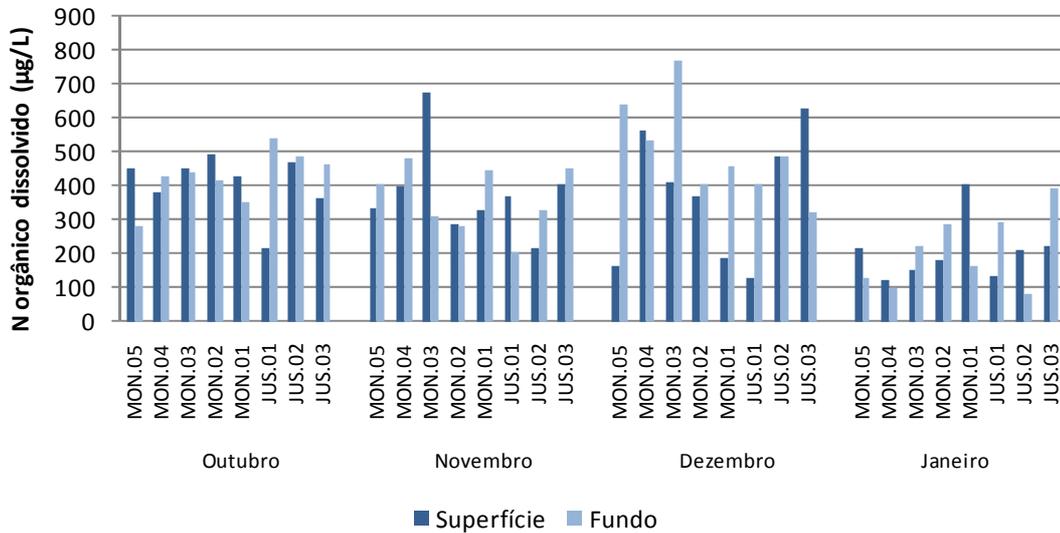


Figura 5.1-110 - Concentrações de nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

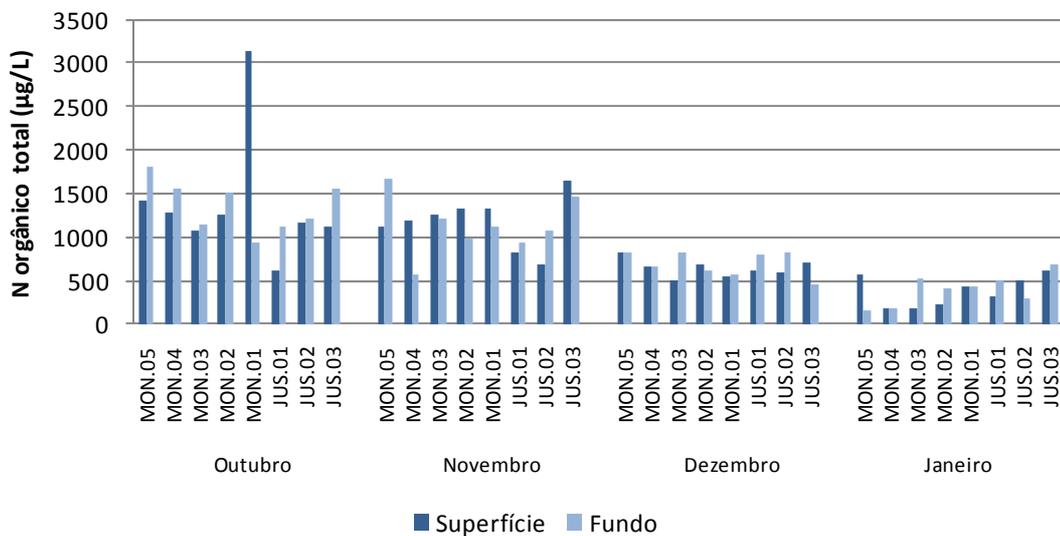


Figura 5.1-111 - Concentrações de nitrogênio orgânico total (NOT) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

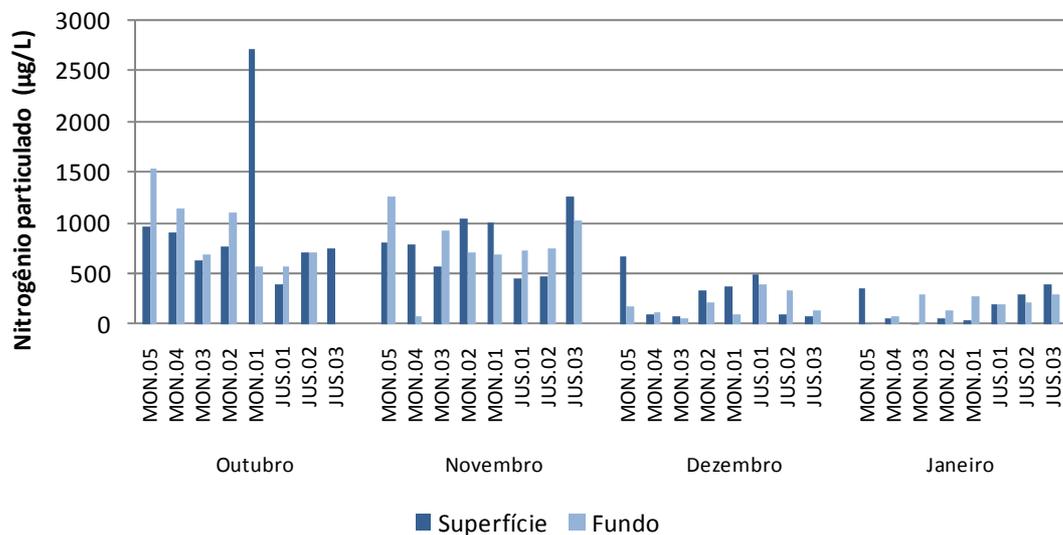


Figura 5.1-112 - Concentrações de nitrogênio particulado (NP) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

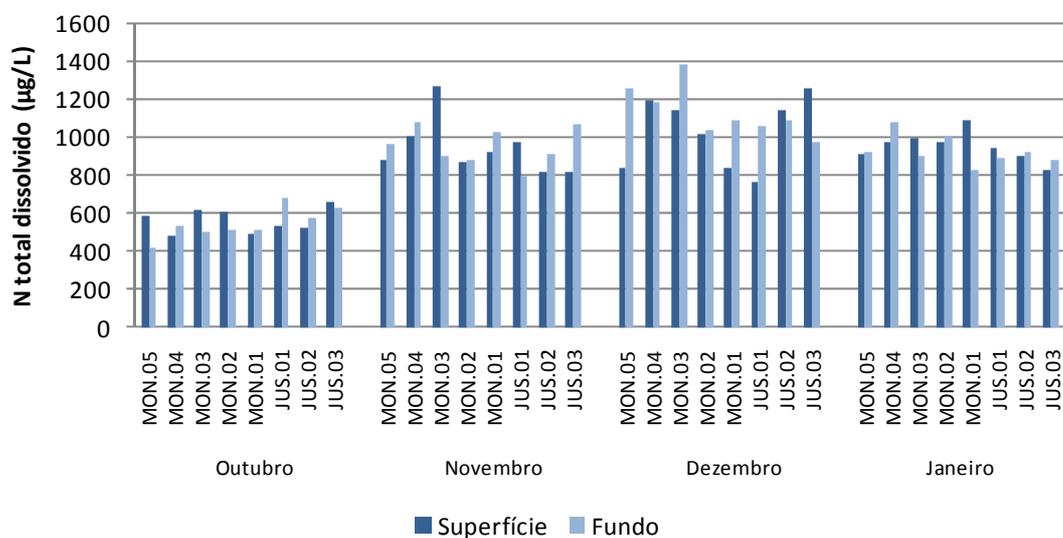


Figura 5.1-113 - Concentrações de nitrogênio total dissolvido (NTD) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

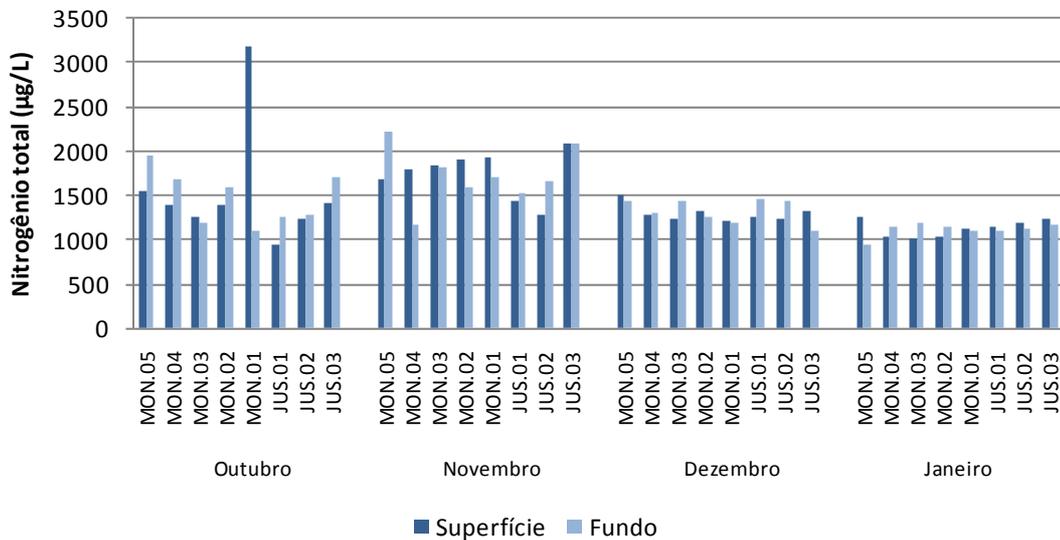


Figura 5.1-114 - Concentrações de nitrogênio total (NT) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos tributários, o nitrato foi a fração mais importante do nitrogênio inorgânico dissolvido, tendo sido em média 92% dessa fração, mesma porcentagem encontrada para o rio Madeira. As concentrações médias variaram entre $422 \pm 181 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro de 2012 e $770 \pm 206 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011. As concentrações foram maiores no meio ($677 \pm 264 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) e menores na superfície ($549 \pm 296 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) (Figura 5.1-115). Não há indicativos de que o enchimento do reservatório tenha aumentado as concentrações de nitrato, pois não foi verificado nenhum padrão de variação nos dados.

O nitrogênio amoniacal foi a segunda fração mais importante do nitrogênio inorgânico. As concentrações médias oscilaram entre $35 \pm 11 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro de 2012 e $61 \pm 42 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011. As concentrações foram maiores no fundo ($56 \pm 36 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) e menores na superfície ($45 \pm 22 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) (Figura 5.1-116). O nitrito apresentou concentrações modestas nos períodos estudados, com as médias oscilando entre $2,1 \pm 0,6 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em novembro de 2011 e $3,3 \pm 2,3 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro 2011, gerando média global de $2,7 \pm 1,3 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície e $3,1 \pm 2,0 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para o fundo (Figura 5.1-117).

As concentrações médias de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) oscilaram entre $459 \pm 183 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro de 2012 e $834 \pm 233 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011, tendo

concentrações maiores no meio ($734 \pm 292 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) e menores na superfície ($597 \pm 305 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) (**Figura 5.1-118**).

As concentrações de nitrogênio orgânico dissolvido foram maiores no fundo ($175 \pm 144 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) e menores na superfície ($306 \pm 197 \mu\text{g/L}$, média \pm DP). Os valores oscilaram entre $194 \pm 139 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $447 \pm 165 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro de 2012 (**Figura 5.1-119**). Em relação às concentrações de nitrogênio orgânico total (NOT), a maior média foi registrada na superfície ($524 \pm 304 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) e a menor no meio ($463 \pm 244 \mu\text{g/L}$, média \pm DP). As concentrações médias de NOT oscilaram entre $355 \pm 283 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) dezembro de 2011 e $643 \pm 165 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro de 2012 (**Figura 5.1-120**).

O nitrogênio particulado (NP) apresentou concentrações maiores no meio ($154 \pm 93 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) e menores no fundo ($168 \pm 131 \mu\text{g/L}$, média \pm DP). Essa fração foi a menos abundante em dezembro de 2011 (**Figura 5.1-121**), com concentração média de $160 \pm 182 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP). A mais alta concentração média de NP foi de $263 \pm 163 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP), em novembro de 2011. Os valores médios de nitrogênio total dissolvido (NTD) variaram de $785 \pm 226 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em novembro de 2011 a $1029 \pm 200 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 (**Figura 5.1-122**). As maiores concentrações de NTD foram registradas no meio ($1044 \pm 132 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) e as menores na superfície ($887 \pm 298 \mu\text{g/L}$, média \pm DP). Esses resultados evidenciam que, em relação ao tamanho, a principal fração do nitrogênio total foi a dissolvida.

As maiores concentrações de nitrogênio total (NT) ocorreram no meio ($1198 \pm 136 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) e as menores no fundo ($1170 \pm 227 \mu\text{g/L}$, média \pm DP). As concentrações médias variaram de $1048 \pm 343 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em novembro de 2011 a $1225 \pm 367 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 (**Figura 5.1-123**).

Mesmo com a criação do reservatório houve pouca variabilidade temporal nas concentrações de nitrogênio nos tributários amostrados. Além disso, não houve grande variação nos valores registrados na superfície, no meio e no fundo. Nos tributários, a variação espacial foi mais marcante que a variação temporal, uma vez que, ao contrário das estações do rio Madeira, trata-se de ambientes diferentes e desconectados.

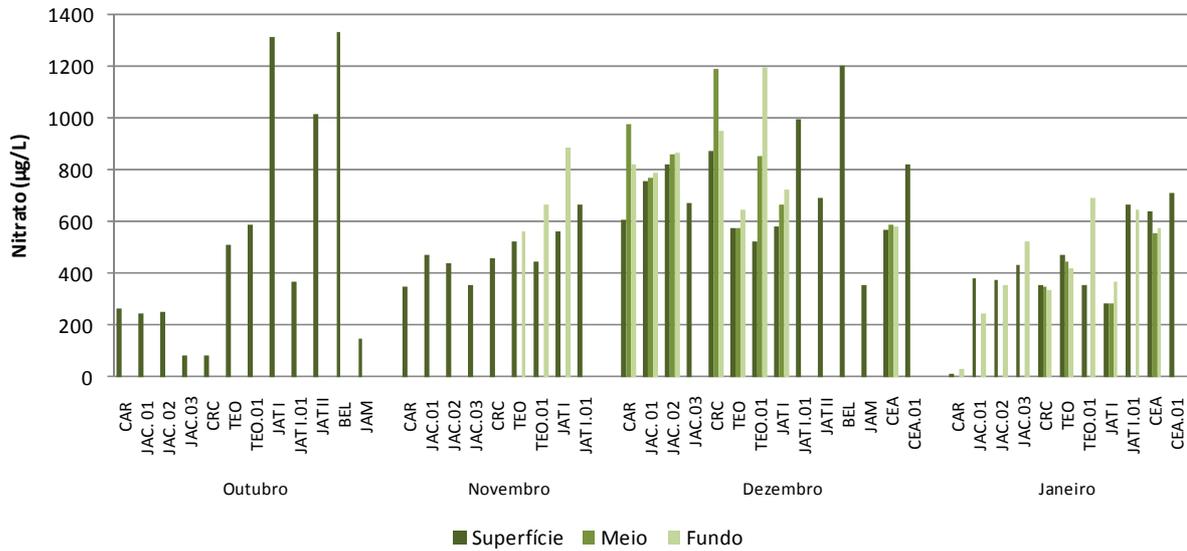


Figura 5.1-115 - Concentrações de nitrato nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

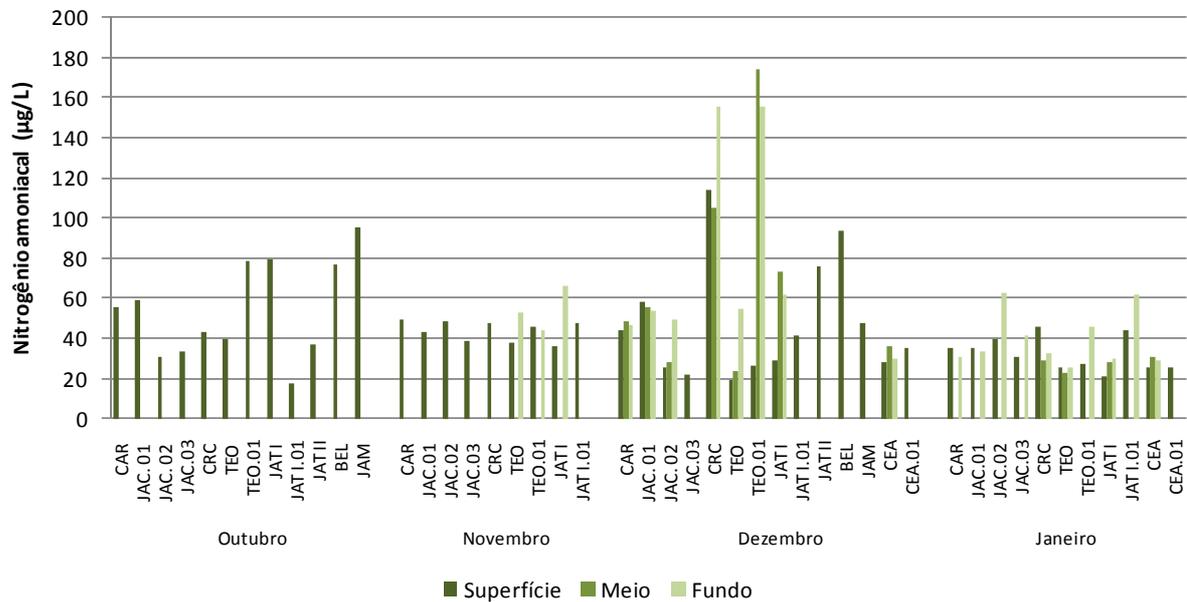


Figura 5.1-116 - Concentrações de nitrogênio amoniacal nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

UHE SANTO ANTONIO NO RIO MADEIRA

2382-00-MLM-RL-0011-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 11
(Relatório Consolidado do Enchimento)

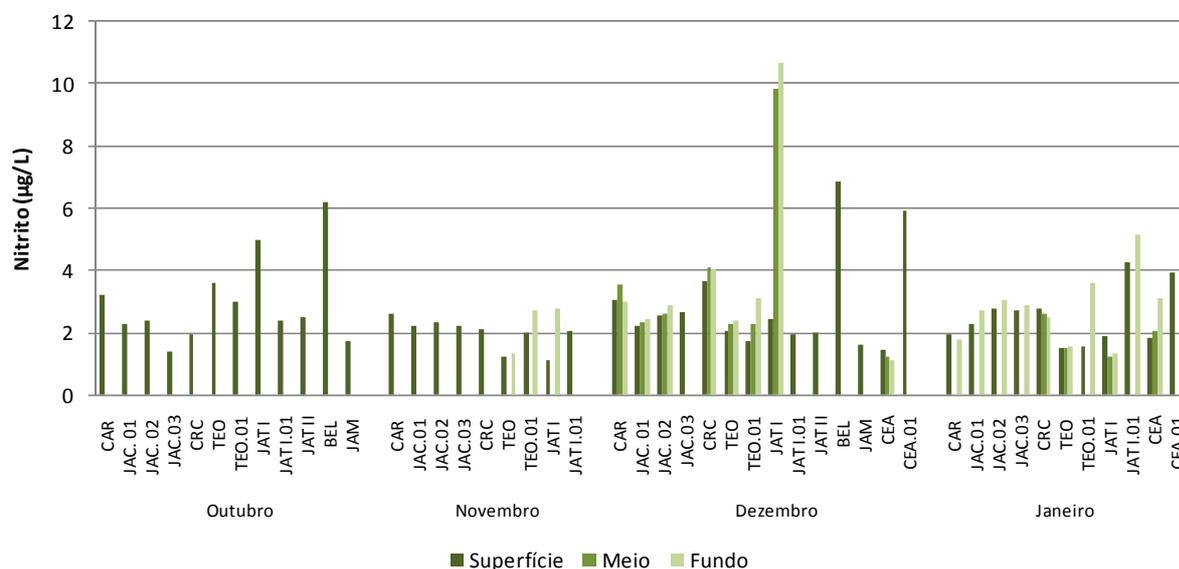


Figura 5.1-117 - Concentrações de nitrito nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

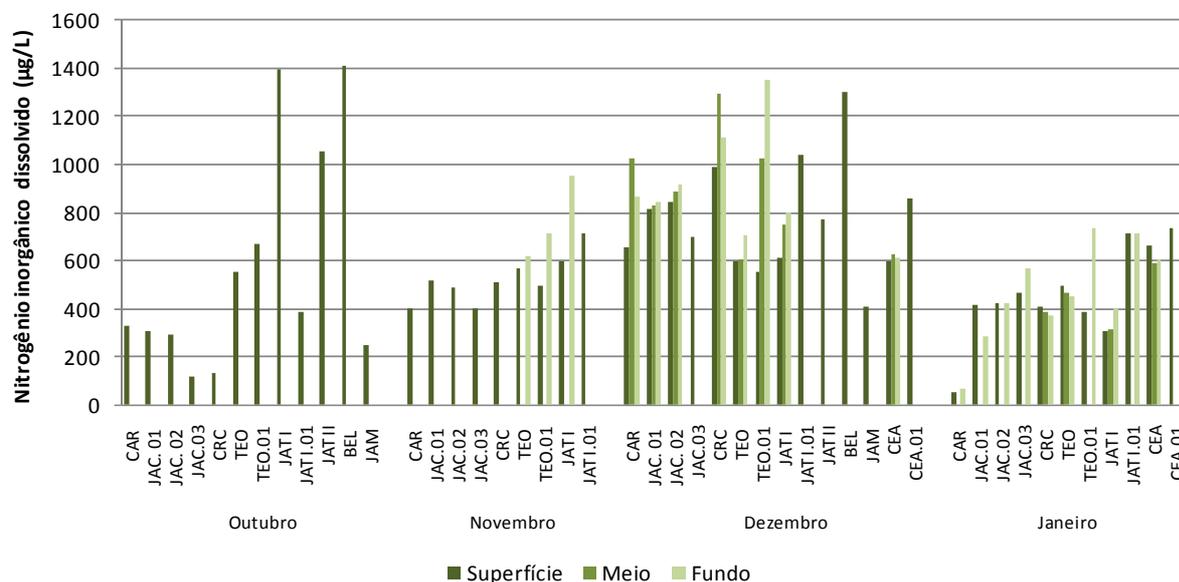


Figura 5.1-118 - Concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

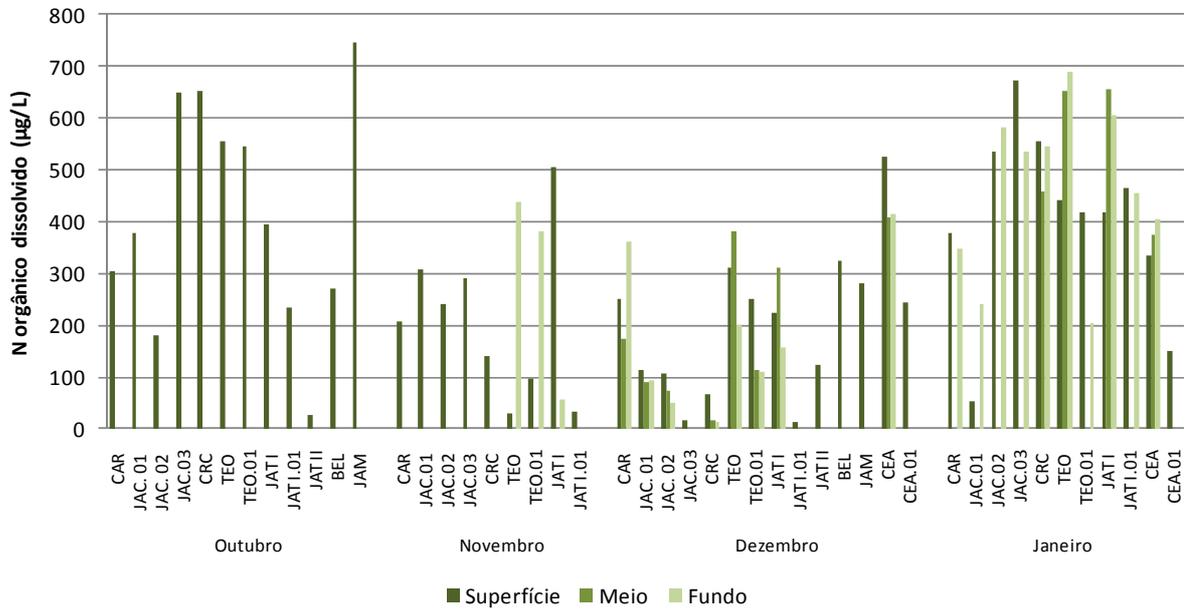


Figura 5.1-119 - Concentrações de nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

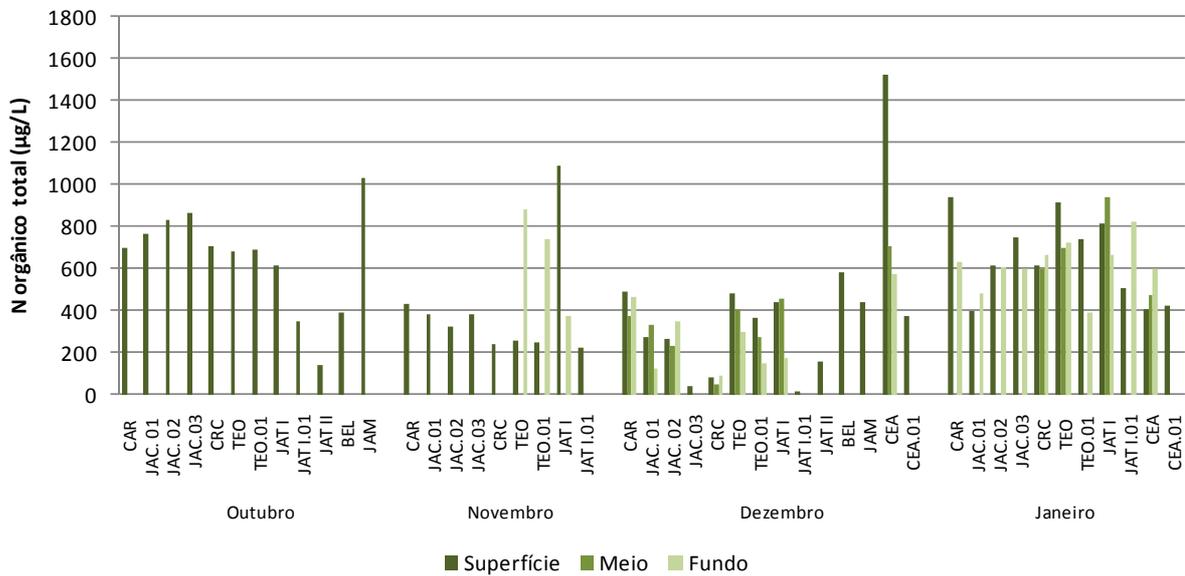


Figura 5.1-120 - Concentrações de nitrogênio orgânico total (NOT) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

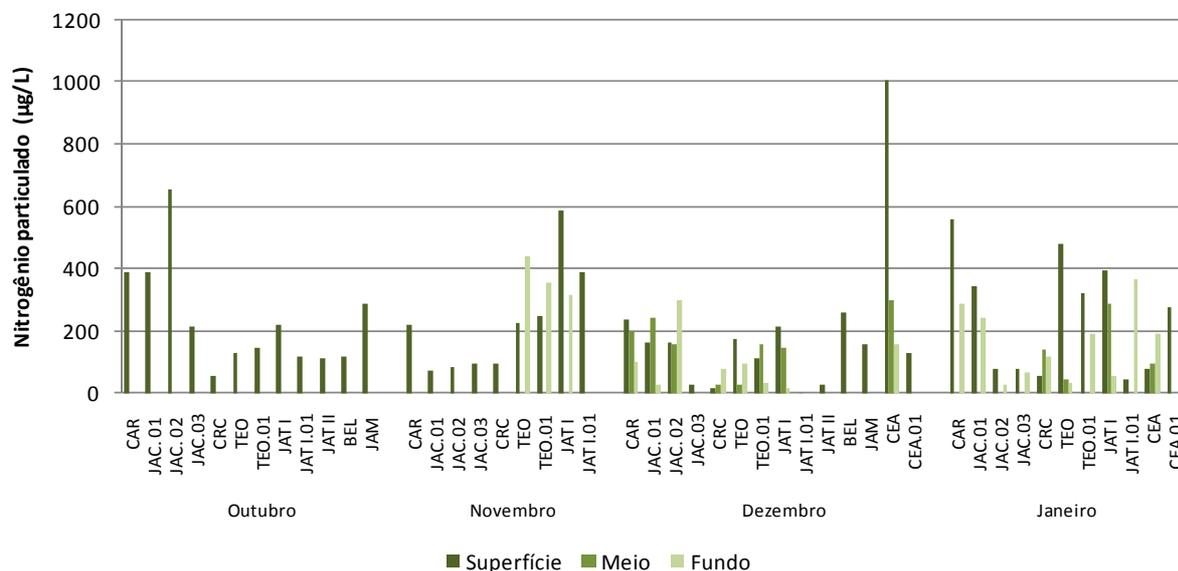


Figura 5.1-121 - Concentrações de nitrogênio particulado (NP) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

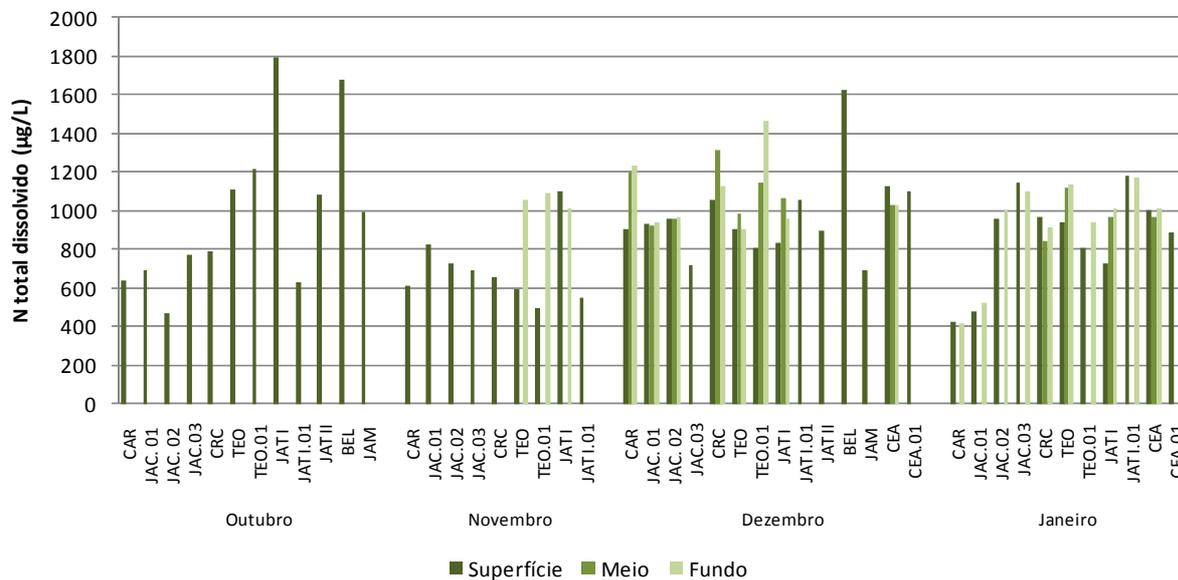


Figura 5.1-122 - Concentrações de nitrogênio total dissolvido (NTD) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

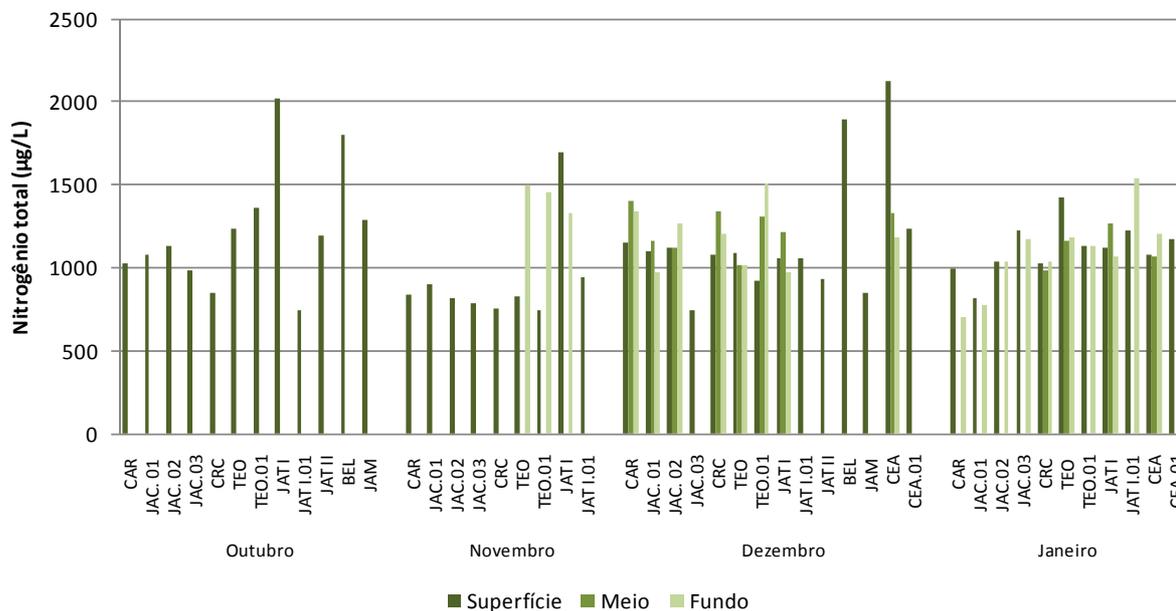


Figura 5.1-123 - Concentrações de nitrogênio total (NT) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Semelhante ao que foi observado no rio Madeira e nos rios tributários, o nitrato foi a fração que mais contribuiu para o nitrogênio inorgânico dissolvido, tendo sido em média 85% dessa fração. As concentrações médias de nitrato oscilaram entre $242 \pm 193 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 e $750 \pm 186 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011, com média global de $524 \pm 326 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície (Figura 5.1-124). O aumento nas concentrações de outubro para dezembro está provavelmente ligado a fatores naturais desses ambientes, uma vez que o nível da água oscila intensamente ao longo do ano em função do pulso de inundação.

As médias do nitrogênio amoniacal variaram entre $64 \pm 29 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $94 \pm 120 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de $84 \pm 91 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície (Figura 5.1-125). Os valores foram semelhantes entre um período e outro, de modo que a diferença nas médias foi causada pelo valor mais alto encontrado na estação LC.02 em outubro de 2011. Em relação ao nitrito, as concentrações apresentadas no período do estudo foram baixas, com média global de $2,8 \pm 1,3 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície (Figura 5.1-126). Não houve variação temporal nos valores, com média de $3 \pm 0,8 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 e $2,6 \pm 1,7 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011.

As concentrações médias de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) variaram entre $339 \pm 203 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 e $817 \pm 186 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011, com média global de $611 \pm 311 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície (**Figura 5.1-127**). A variação temporal dessa variável foi regulada pela variação do nitrato, principal constituinte do NID nos ambientes amostrados. O nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) dos lagos e canais foi maior em outubro de 2011 (**Figura 5.1-128**). Essa fração apresentou média global de $339 \pm 217 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP). Também para o nitrogênio orgânico total (NOT), as concentrações foram maiores em outubro de 2011 ($1187 \pm 848 \mu\text{g/L}$, média \pm DP), sendo importante a contribuição da estação CC.01 (**Figura 5.1-129**). A média global de NOT foi de $882 \pm 712 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície. Cabe salientar que as concentrações de NOT em dezembro de 2011 foram menores do que em outubro 2011, seguindo o mesmo padrão registrado no ano anterior pelo Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas, onde foi observado que as concentrações de NOT foram menores na enchente em relação ao período de águas baixas.

A média global de nitrogênio particulado (NP) foi de $523 \pm 664 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP), tendo variado entre $909 \pm 936 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 e $343 \pm 315 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 (**Figura 5.1-130**). Cabe ressaltar, ainda, a contribuição das estações CC.01 e LC.01 fundo para o NP no mês de outubro. Já em relação ao nitrogênio total dissolvido (NTD), as concentrações foram menores em outubro de 2011 ($778 \pm 338 \mu\text{g/L}$, média \pm DP), com média global de $951 \pm 634 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície. Desta forma, é possível concluir que nos lagos e canais a maior parte do nitrogênio está na forma dissolvida (**Figura 5.1-131**). O nitrogênio total (NT) foi bastante semelhante nos meses de outubro (águas baixas) de 2011 e dezembro (enchente) de 2011. As concentrações médias de NT variaram entre $1397 \pm 387 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $1686 \pm 856 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de $1473 \pm 634 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície (**Figura 5.1-132**).

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 nenhum efeito da usina nesses ambientes.

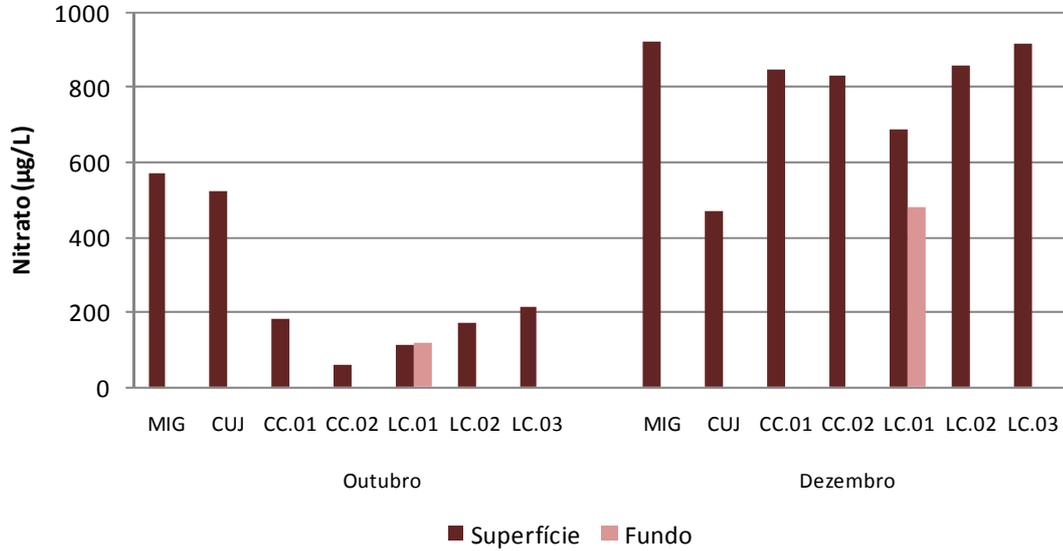


Figura 5.1-124 - Concentrações de nitrato nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

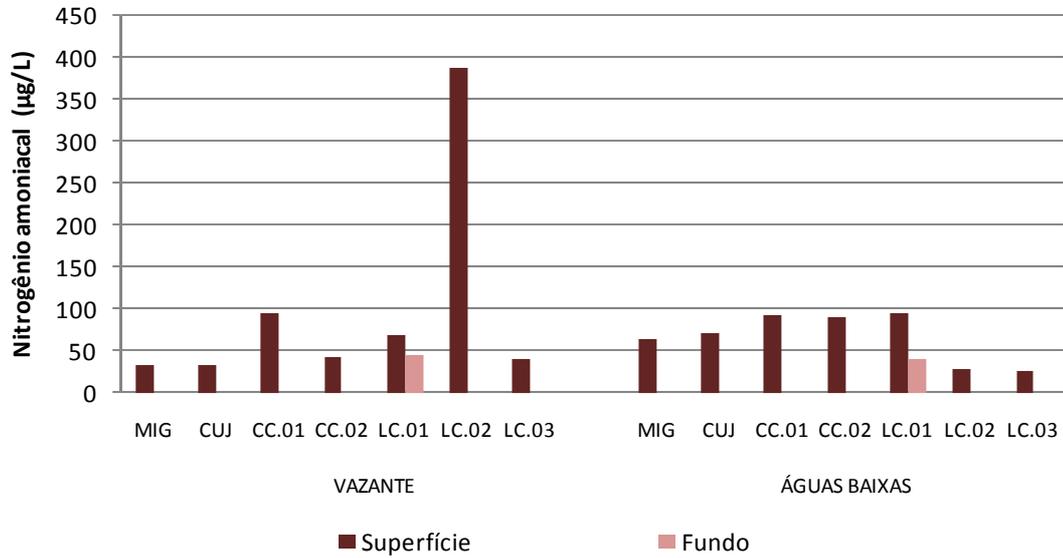


Figura 5.1-125 - Concentrações de nitrogênio amoniacoal nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

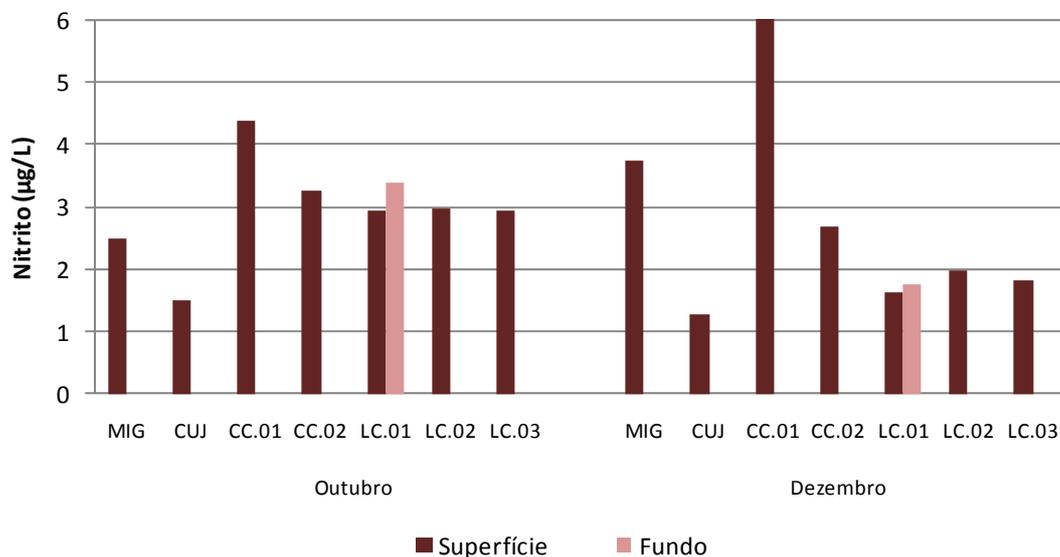


Figura 5.1-126 - Concentrações de nitrito nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

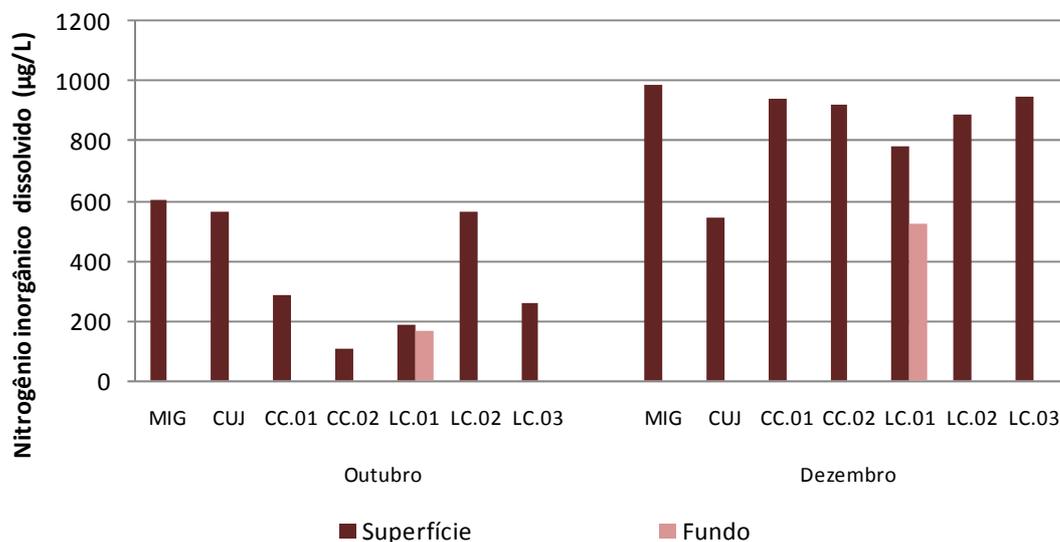


Figura 5.1-127 - Concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

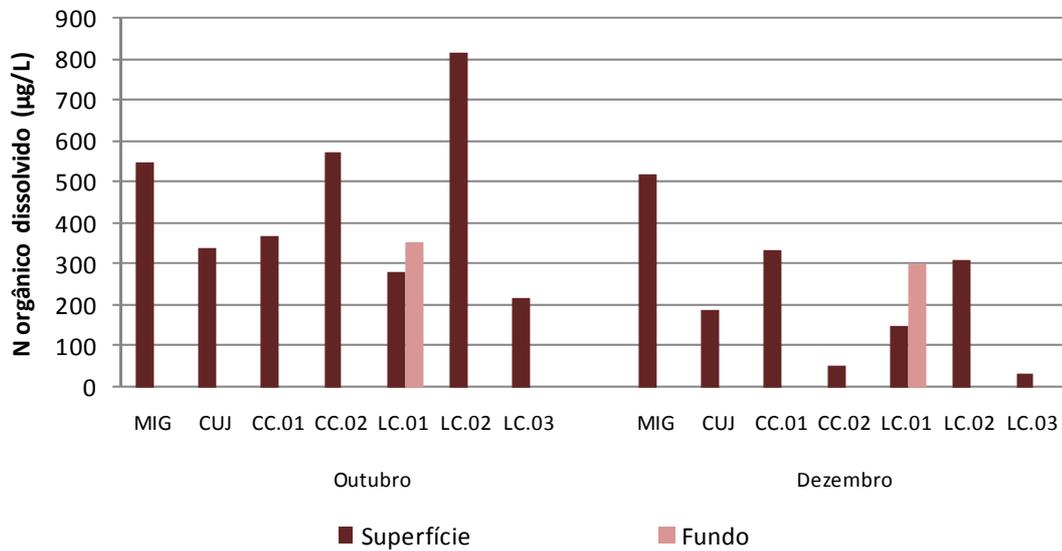


Figura 5.1-128 - Concentrações de nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

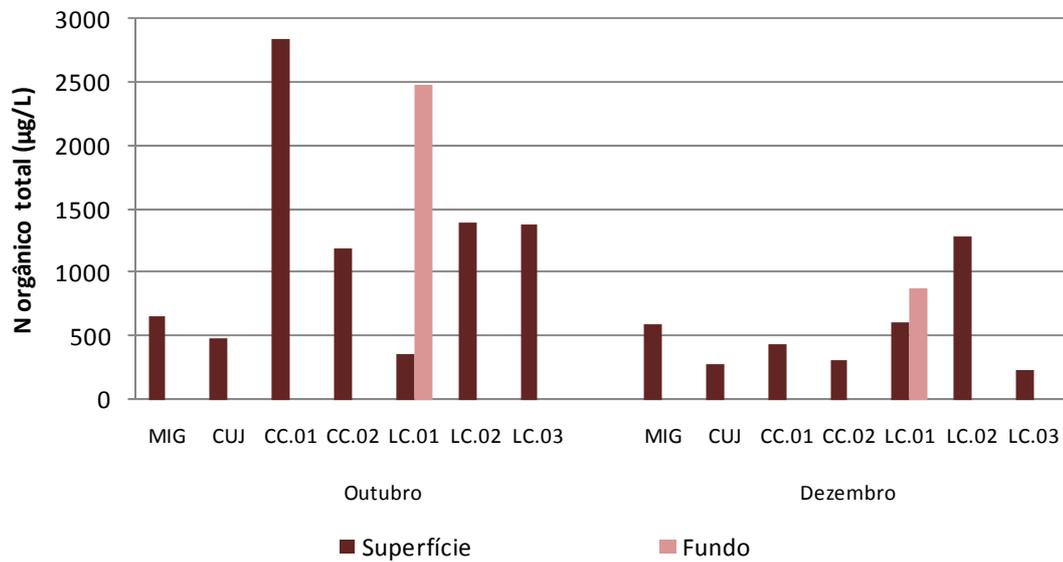


Figura 5.1-129 - Concentrações de nitrogênio orgânico total (NOT) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

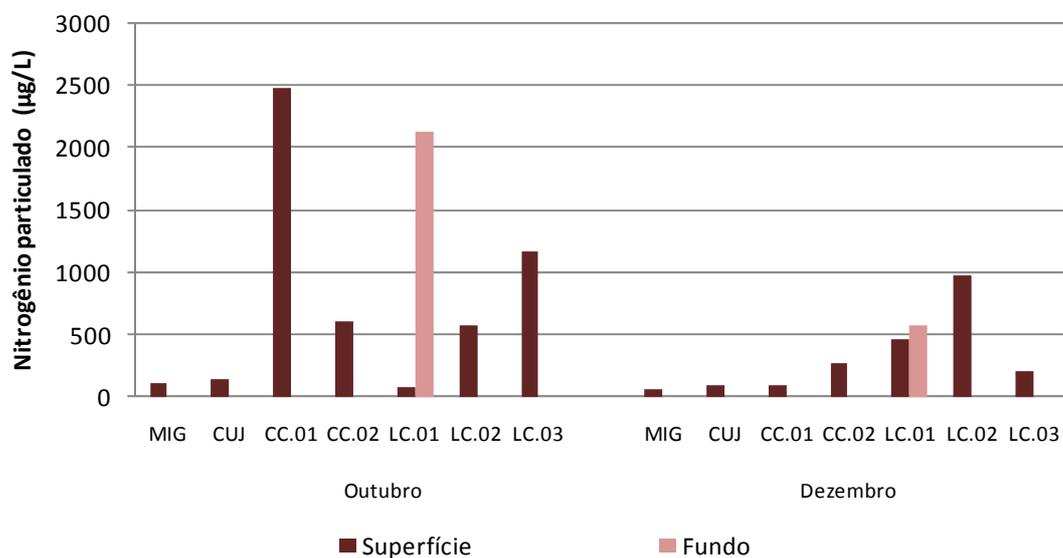


Figura 5.1-130 - Concentrações de nitrogênio particulado (NP) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

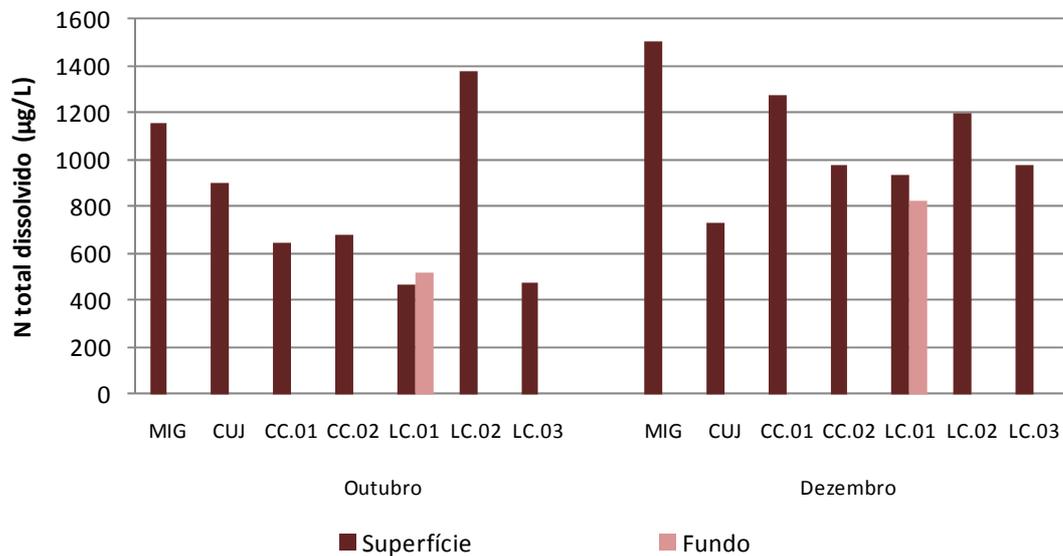


Figura 5.1-131 - Concentrações de nitrogênio total dissolvido (NTD) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

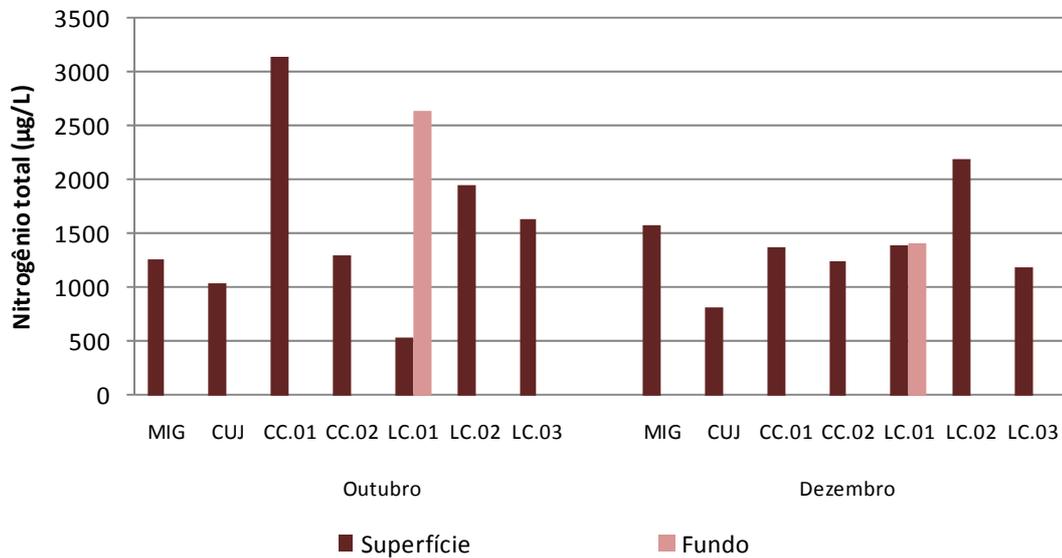


Figura 5.1-132 - Concentrações de nitrogênio total (NT) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

As concentrações das diferentes formas de nitrogênio registraram, em geral, pouca variação temporal e vertical, isso corrobora o fato de que mesmo com a criação do reservatório não houve 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 rio Madeira apresentou teores de fósforo total bem maiores do que os rios tributários e os lagos e canais, o que é consequência dos flancos altamente erosíveis das cabeceiras dos seus rios formadores, que drenam a região andina.

O ortofosfato, fração mais importante do ponto de vista biológico, apresentou concentrações menores em dezembro de 2011 e mais elevadas em outubro de 2011, com $8,1 \pm 5,1 \mu\text{g/L}$ e $23,8 \pm 3,4 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP), respectivamente (Figura 5.1-133). As concentrações na superfície e no fundo foram semelhantes, com média de $14,3 \pm 7,1$ e $13,3 \pm 6,7 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP), respectivamente. No EIA os teores de ortofosfato foram semelhantes aos registrados neste monitoramento, com média global de $3 \pm 2 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP). 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 $18,6 \mu\text{g/L}$, valor condizente com o encontrado no presente estudo.

Em relação ao fósforo total dissolvido (PTD), essa fração registrou concentrações que variaram pouco ao longo dos meses avaliados. Foi menor no mês de novembro de 2011 ($18,1 \pm 1,7 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) e maior em dezembro de 2011 ($32,1 \pm 22,1 \mu\text{g/L}$, média \pm DP), com média global de $27,3 \pm 16,3 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície e $23,1 \pm 9,2 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para o fundo (Figura 5.1-134). Assim como o observado para o fósforo total dissolvido, as concentrações de fósforo total (PT) na superfície e no fundo das estações amostradas no rio Madeira foram similares, apresentando concentrações de $289 \pm 193,5$ e $311 \pm 218,2 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP), respectivamente (Figura 5.1-135). As concentrações médias oscilaram entre $136 \pm 23 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em novembro de 2011 e $633 \pm 94 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011. O aumento nas concentrações de novembro para dezembro está provavelmente ligado a fatores naturais desses ambientes, uma vez que o nível da água oscila intensamente ao longo do ano em função do pulso de inundação.

O fósforo particulado (PP) apresentou concentrações médias variando de $118 \pm 23,5 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em novembro de 2011 a $613 \pm 94 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro de 2012. A fração particulada do fósforo respondeu por 91% do fósforo total. Ainda em relação ao fósforo particulado, a média global foi de $261 \pm 196 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície e $287 \pm 220 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para o fundo (**Figura 5.1-136**), evidenciando ausência de variação vertical dessa variável.

Em relação à parcela orgânica, o fósforo orgânico dissolvido (POD), apresentou média global de $13,0 \pm 16,9 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície e $9,9 \pm 8,1 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para o fundo. O POD registrou baixa variação temporal nos valores, que variaram de $6,1 \pm 1,6 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em novembro de 2011 a $24 \pm 20 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 (**Figura 5.1-137**). Os valores foram semelhantes entre um período e outro, de modo que a diferença nas médias foi causada pelo valor mais alto encontrado na estação JUS.02 em dezembro de 2011.

O fósforo orgânico total (POT) foi menor em novembro de 2011, quando apresentou média de $124 \pm 24 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) e maior em janeiro de 2012, quando apresentou média de $622 \pm 94 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) (**Figura 5.1-138**). A média global do POT foi de $275 \pm 195 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície e $297 \pm 219 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para o fundo. Para efeito de comparação, o Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira (janeiro de 2009 a agosto de 2011) relata média global de $239 \pm 160 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP), valor bem próximo ao encontrado pelo presente estudo.

As concentrações, das diferentes formas de fósforo registraram, em geral, pouca variação vertical e espacial. Foi observada uma certa variabilidade temporal, que provavelmente está ligada ao pulso de inundação que atinge o rio Madeira anualmente.

UHE SANTO ANTONIO NO RIO MADEIRA

2382-00-MLM-RL-0011-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 11
(Relatório Consolidado do Enchimento)

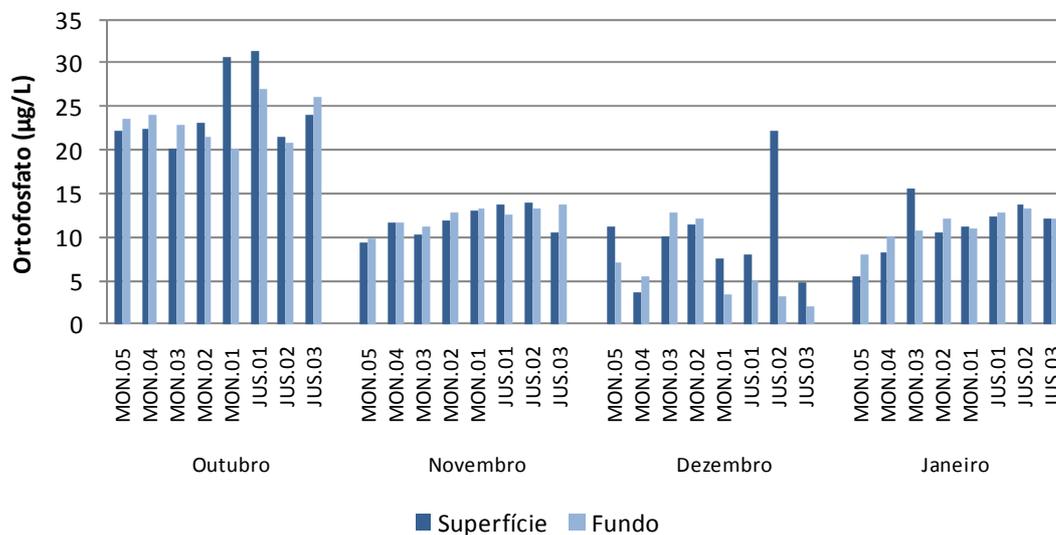


Figura 5.1-133 - Concentrações de ortofosfato no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

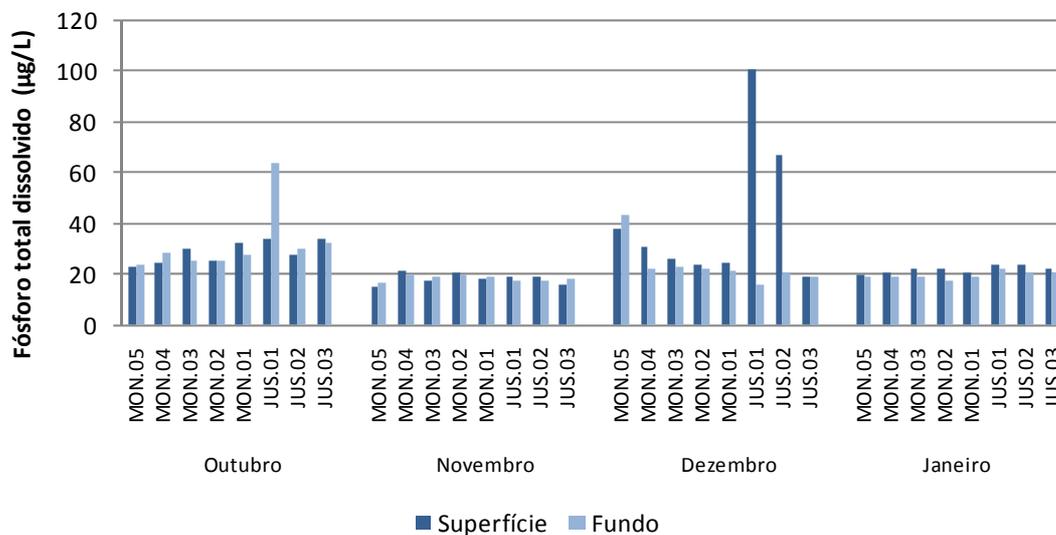


Figura 5.1-134 - Concentrações de fósforo total dissolvido (PTD) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

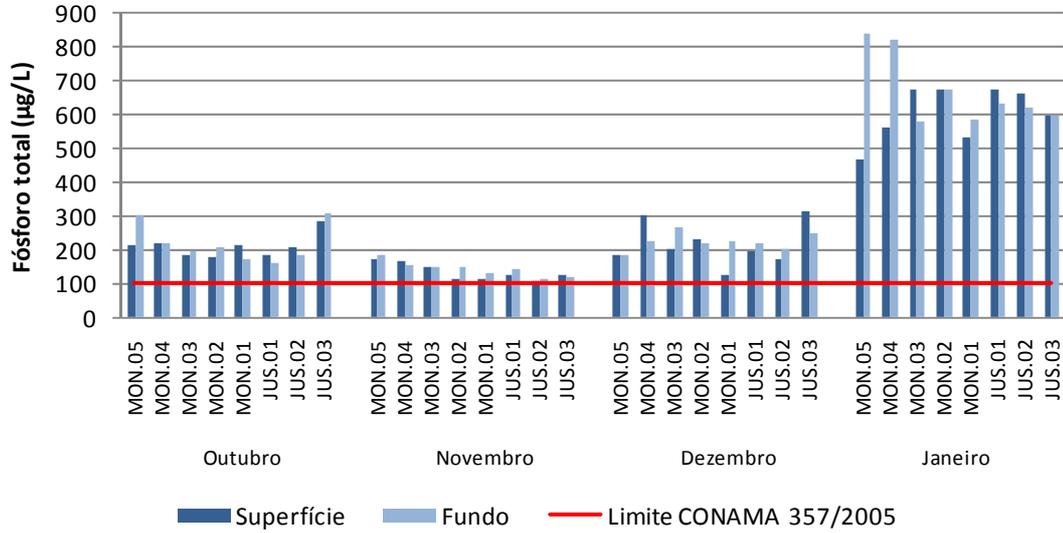


Figura 5.1-135 - Concentrações de fósforo total (PT) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

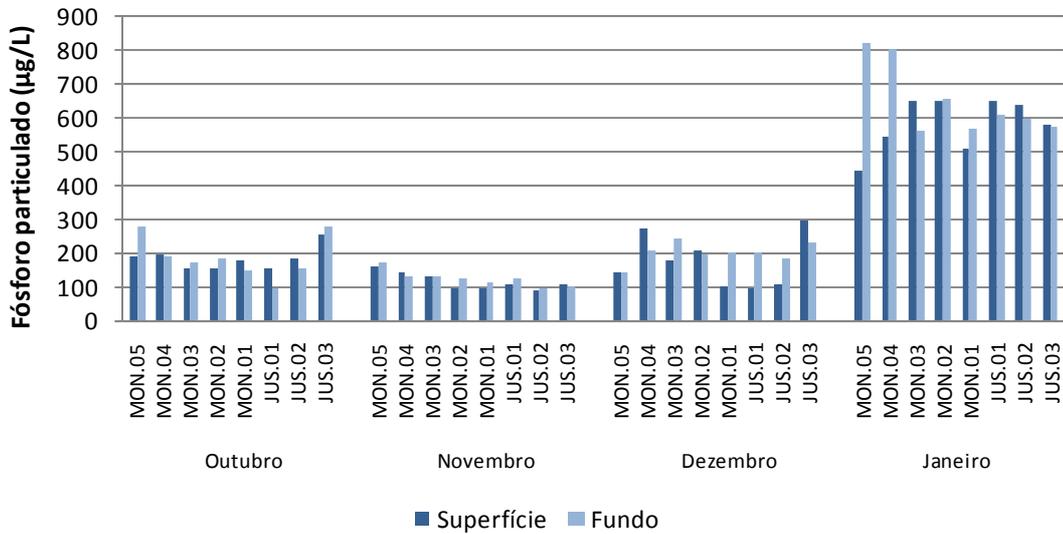


Figura 5.1-136 - Concentrações de fósforo particulado (PP) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

UHE SANTO ANTONIO NO RIO MADEIRA

2382-00-MLM-RL-0011-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 11
(Relatório Consolidado do Enchimento)

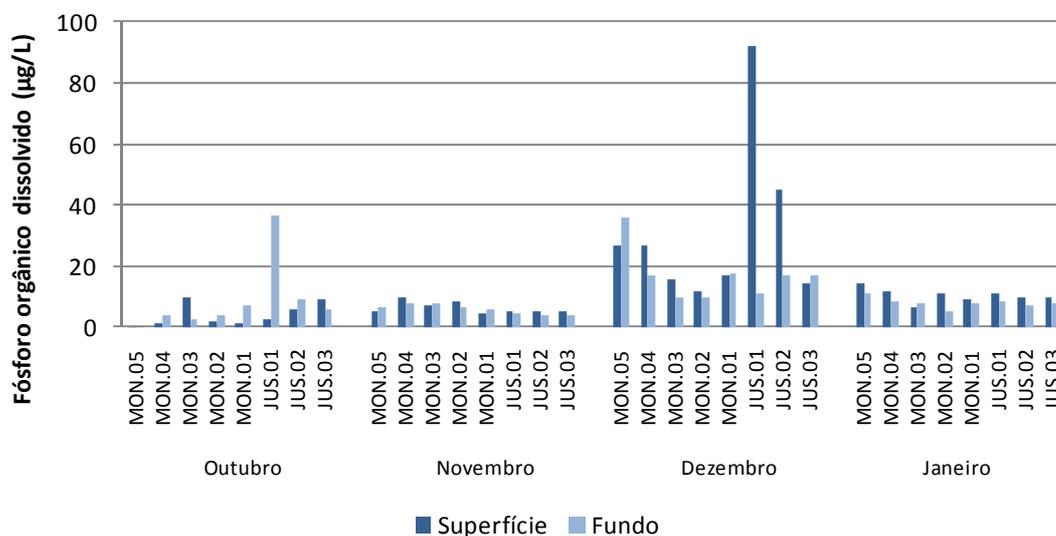


Figura 5.1-137 - Concentrações de fósforo orgânico dissolvido (POD) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

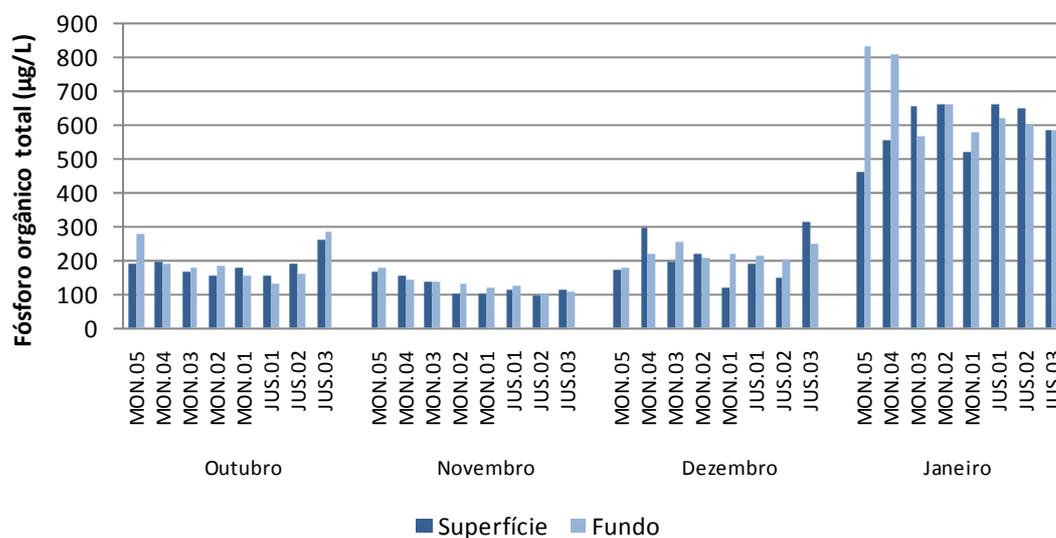


Figura 5.1-138 - Concentrações de fósforo orgânico total (POT) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos rios tributários, o ortofosfato variou de $4,3 \pm 6,0 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 a $18,3 \pm 7,3 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011, com concentrações maiores na superfície ($10,4 \pm 14 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) e menores no meio ($4,9 \pm 4,5 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) (**Figura 5.1-139**).

O fósforo total dissolvido (PTD), mesmo com a criação do reservatório, não variou muito ao longo dos meses de estudo. Foi menor no mês de janeiro de 2012 ($18,3 \pm 7,2 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) e maior em outubro de 2011 ($22,9 \pm 8,2 \mu\text{g/L}$, média \pm DP). As concentrações foram semelhantes na superfície, meio e fundo, com médias de $19,3 \pm 12,7 \mu\text{g/L}$, $20,0 \pm 7,4 \mu\text{g/L}$ e $18,9 \pm 9,0 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP), respectivamente, evidenciando ausência de variação vertical (**Figura 5.1-140**). O fósforo total (PT) nos rios tributários apresentou concentrações maiores no meio ($153 \pm 170 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) e menores na superfície ($85 \pm 116 \mu\text{g/L}$, média \pm DP), concentrações que variaram de $56,8 \pm 42,7 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 a $200 \pm 219 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro de 2012 (**Figura 5.1-141**). O alto valor médio encontrado no mês de janeiro de 2012, acompanhado de alto desvio padrão da média, é oriundo das altas concentrações encontradas nas estações JAT I, TEO e CEA, que apresentaram características da água semelhantes às do rio Madeira, que é rico em fósforo. Na verdade, essas estações estão situadas em braços do recém formado reservatório e boa parte da água que banha esses ambientes é oriunda do rio Madeira.

O fósforo particulado (PP) apresentou sua concentração mínima em dezembro de 2011, com média de $38,2 \pm 38,5 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) e máxima em janeiro de 2012, com média de $182 \pm 217 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP). Os valores foram semelhantes entre um período e outro, de modo que a diferença nas médias, acompanhada de alto desvio padrão, foi causada pelo valor mais alto encontrado nas estações JAT I, TEO e CEA em janeiro de 2012. As concentrações foram maiores no meio ($133 \pm 170 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) e menores na superfície ($65 \pm 115 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) (**Figura 5.1-142**), no entanto amostragens no meio só foram realizadas em janeiro de 2012, quando a concentração média foi bem maior. Semelhante ao que foi observado no rio Madeira, a maior parte do fósforo total (PT) dos rios tributários esteve na forma de partículas, que respondeu por 84% do fósforo total.

O fósforo orgânico dissolvido (POD) variou de $4,4 \pm 2,1 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em novembro de 2011 a $14,4 \pm 6,0 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2012. As concentrações foram maiores no meio ($15,2 \pm 5,2 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) e menores na superfície ($8,9 \pm 6,3 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) (**Figura 5.1-143**). O aumento nas concentrações ao longo dos meses está provavelmente ligado a fatores naturais desses ambientes, que apresentam grande influência do rio Madeira. O rio Madeira oscila intensamente o nível da água ao longo do ano em função do pulso de inundação e faz com que

alguns períodos tenham concentrações de POD maiores do que em outros. Já o fósforo orgânico total (POT) oscilou entre $52,3 \pm 43,8 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 e $193 \pm 216,7 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro de 2012. As concentrações foram maiores no meio ($148 \pm 168 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) e menores na superfície ($74 \pm 115 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) (Figura 5.1-144).

Os tributários, em geral, nas diferentes formas de fósforo, não apresentaram alta variabilidade temporal. Os valores mais elevados encontrados em janeiro de 2012 em algumas frações foram causados por valores mais altos registrados nas estações JAT I, TEO e CEA, estações que apresentaram características da água semelhantes às do rio Madeira, que é rico em fósforo. Essas estações estão situadas em braços do recém formado reservatório e boa parte da água que banha esses ambientes é oriunda do rio Madeira. Cabe ressaltar ainda, que a variação espacial nos tributários foi mais marcante do que as estações do rio Madeira, uma vez que trata-se de ambientes diferentes e desconectados.

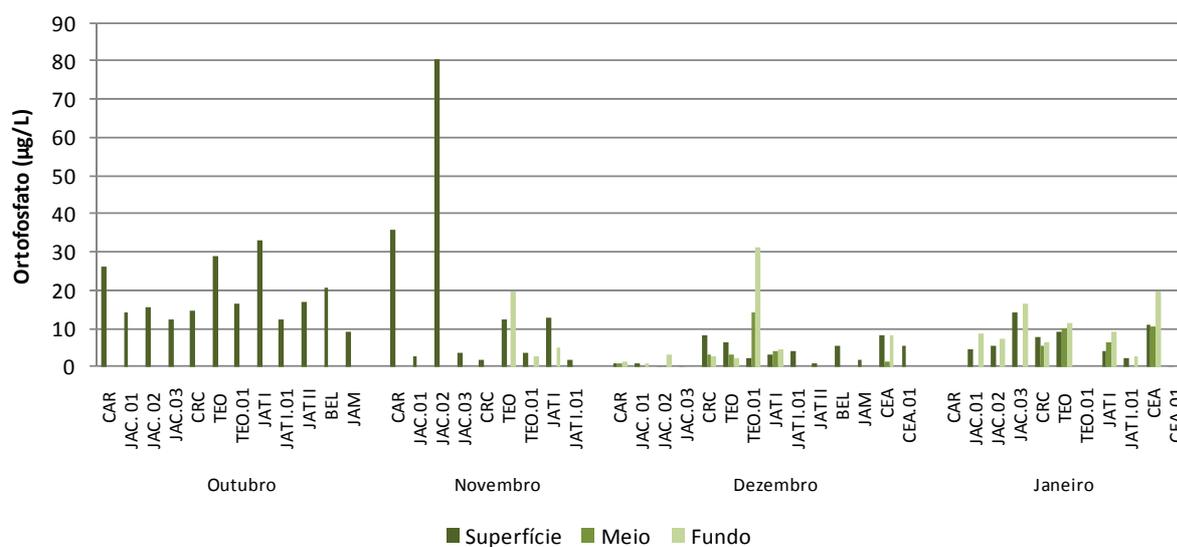


Figura 5.1-139 - Concentrações de ortofosfato nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

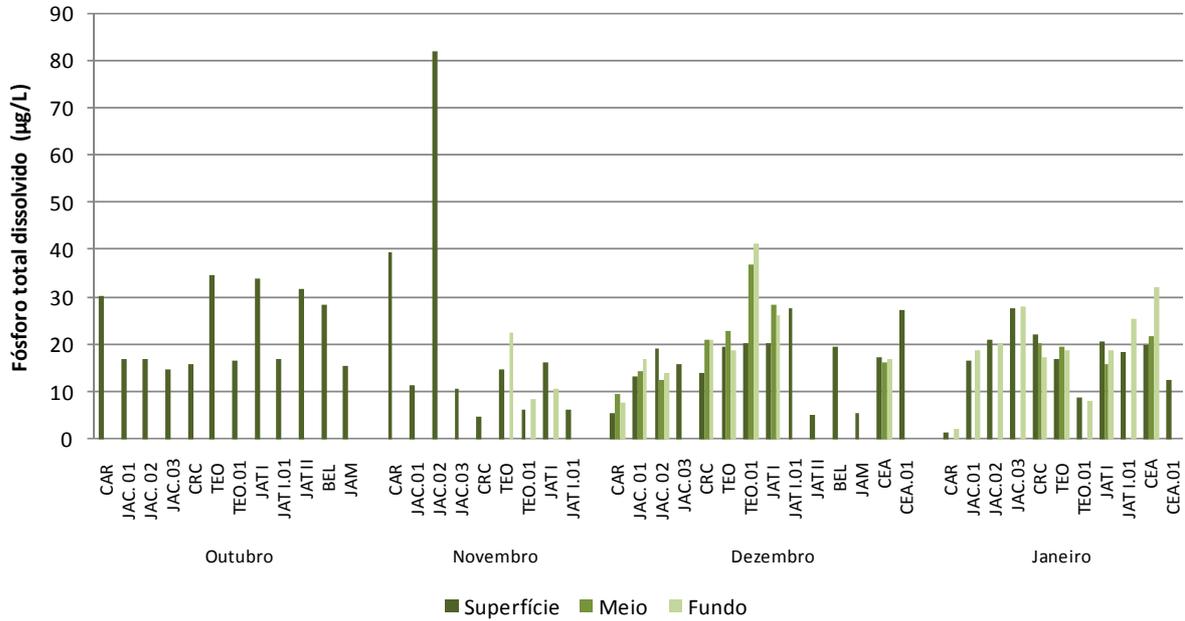


Figura 5.1-140 - Concentrações de fósforo total dissolvido (PTD) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

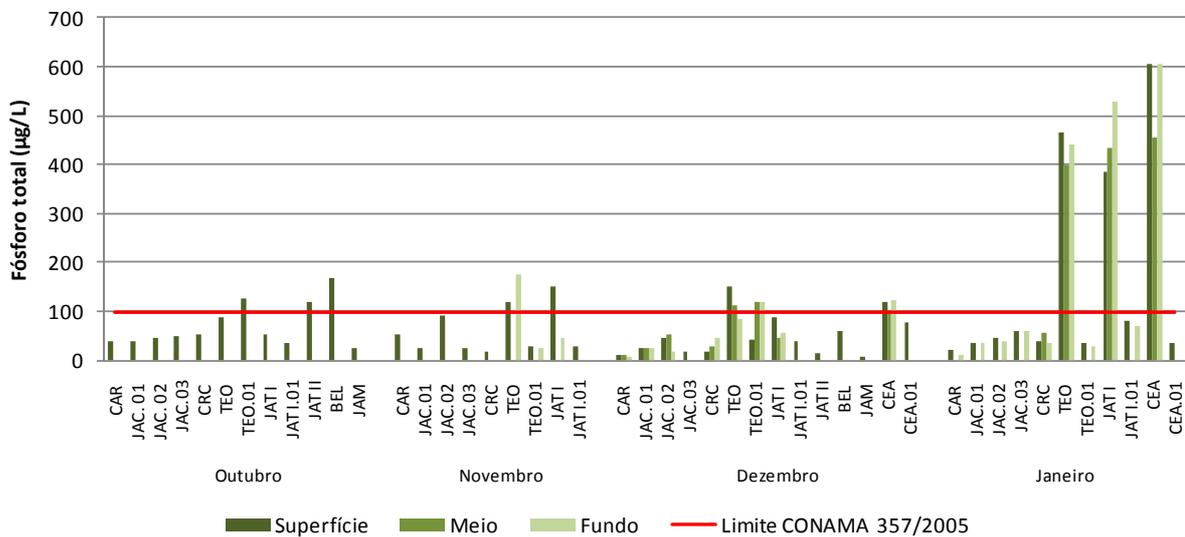


Figura 5.1-141 - Concentrações de fósforo total (PT) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

UHE SANTO ANTONIO NO RIO MADEIRA

2382-00-MLM-RL-0011-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 11
(Relatório Consolidado do Enchimento)

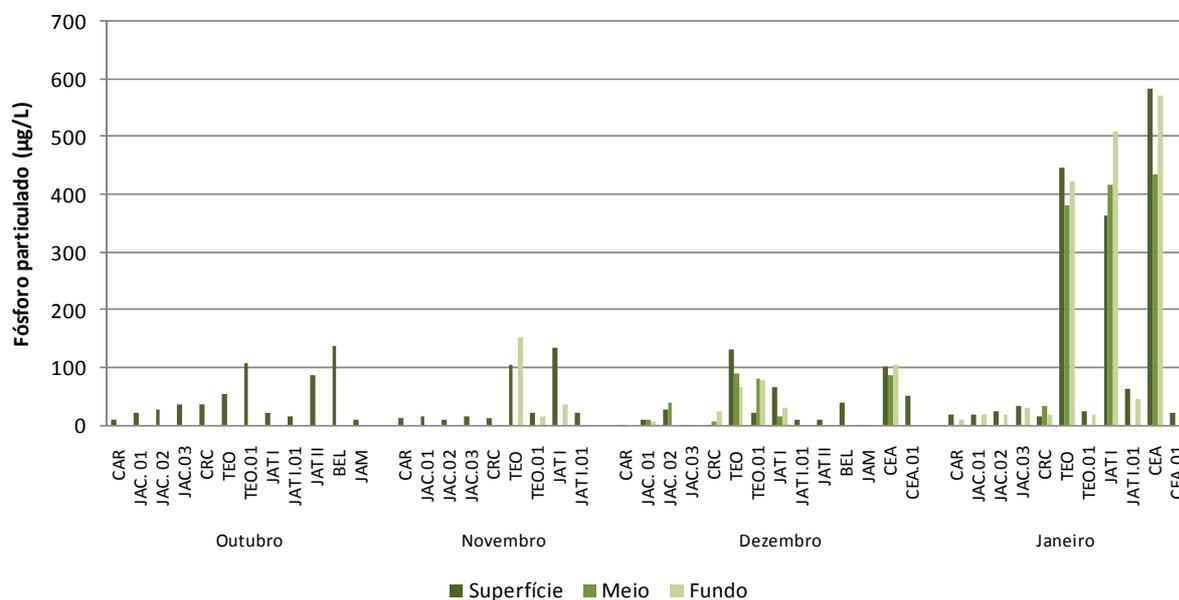


Figura 5.1-142 - Concentrações de fósforo particulado (PP) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

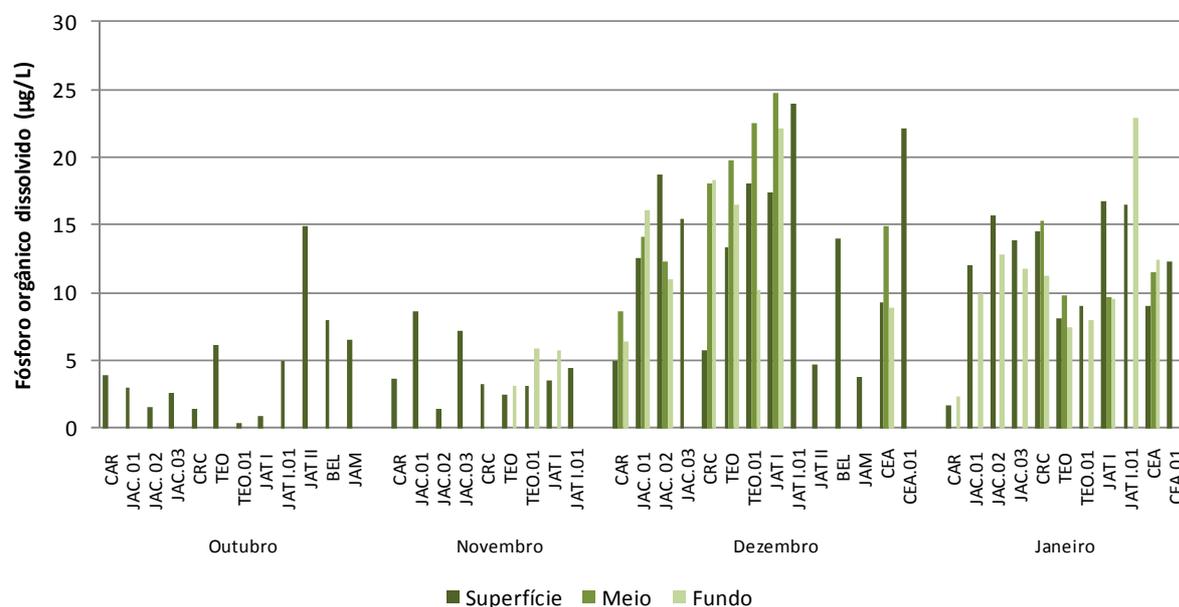


Figura 5.1-143 - Concentrações de fósforo orgânico dissolvido (POD) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

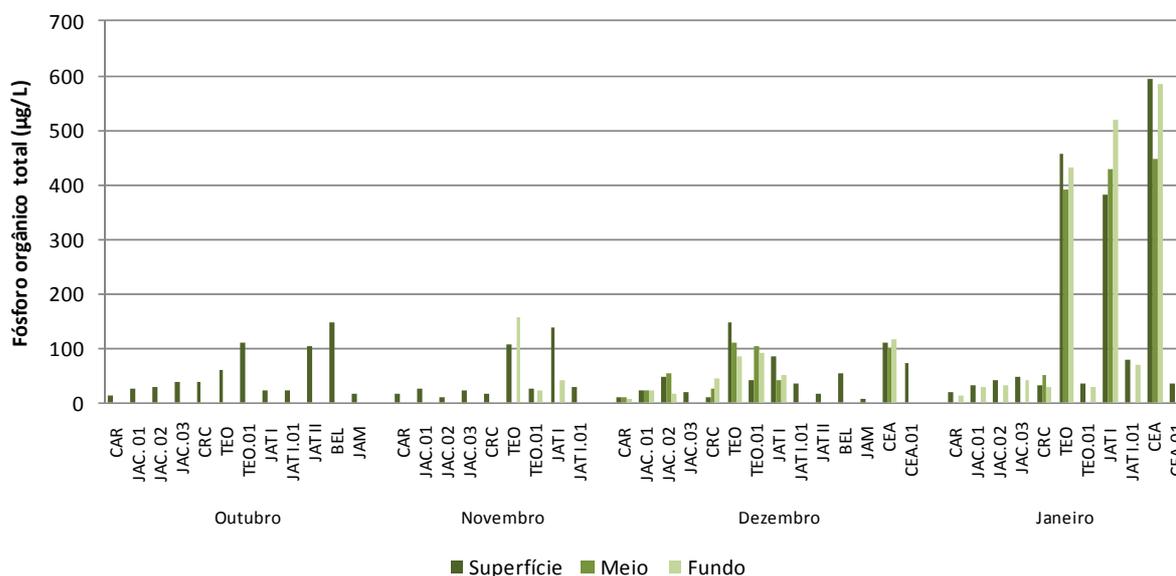


Figura 5.1-144 - Concentrações de fósforo orgânico total (POT) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Semelhante ao ocorrido no rio Madeira e nos tributários, o ortofosfato nos lagos e canais decresceu ao longo do tempo. As concentrações variaram entre $20,9 \pm 12,6 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 e $3,2 \pm 4,8 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011, sendo que a média global foi de $12,9 \pm 13,6 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície (Figura 5.1-145).

O fósforo total dissolvido (PTD) variou pouco ao longo do período de estudo, tendo apresentado seu maior valor ($28,3 \pm 20 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) em outubro de 2011 e menor ($10,8 \pm 7,1 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) em dezembro de 2011. Os valores foram semelhantes entre um período e outro, de modo que a diferença nas médias foi causada pelo valor mais alto encontrado na estação MIG em outubro de 2011. O PTD registrou média global de $20,6 \pm 17,9 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para superfície (Figura 5.1-146). O fósforo total (PT) variou de $45,2 \pm 29,9 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 a $73,7 \pm 35,9 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro, com média global de $64,1 \pm 34,8 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-147). O alto valor médio encontrado em outubro de 2011 deveu-se à alta concentração encontrada nas estações MIG e CC.01 nesse período.

O fósforo particulado (PP) nos lagos e canais apresentou baixa variação ao longo dos meses de enchimento do reservatório, com média de $34,4 \pm 26,4 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $45,3 \pm 22,9 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011, apresentando média global de $43,5 \pm 24,0$

$\mu\text{g/L}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-148). Da mesma forma que no rio Madeira e nos tributários, a fração particulada foi a forma predominante do fósforo total (PT) nos lagos e canais (67%).

Em relação à parcela orgânica, o fósforo orgânico dissolvido (POD) quase não variou ao longo dos meses, com média de $7,4 \pm 8,5 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 e $7,6 \pm 3,2 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP), o alto desvio padrão registrado em outubro deveu-se à alta concentração encontrada nas estações MIG nesse período (Figura 5.1-149). A média global dessa fração foi de $7,6 \pm 5,6 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície e $6,6 \pm 4,6 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para o fundo. Já o fósforo orgânico total (POT) variou de $42 \pm 28 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 a $52 \pm 25 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011, produzindo uma média global de $51 \pm 26 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-150).

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, no trecho de 33 a 130 Km e, como o fluxo de água não foi alterado nessa região, não há nenhum efeito do enchimento do reservatório nesses ambientes.

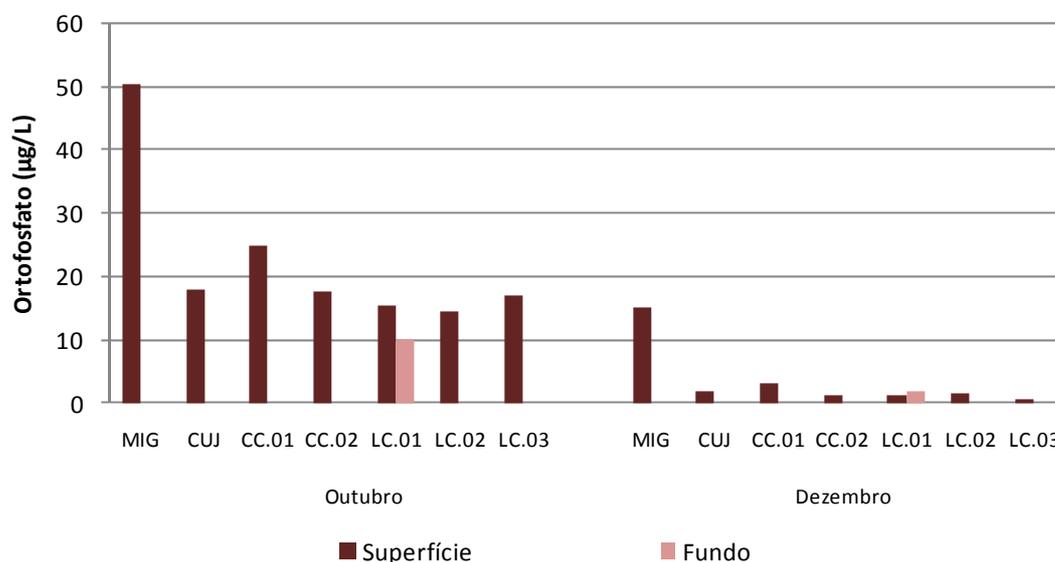


Figura 5.1-145 - Concentrações de ortofosfato nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

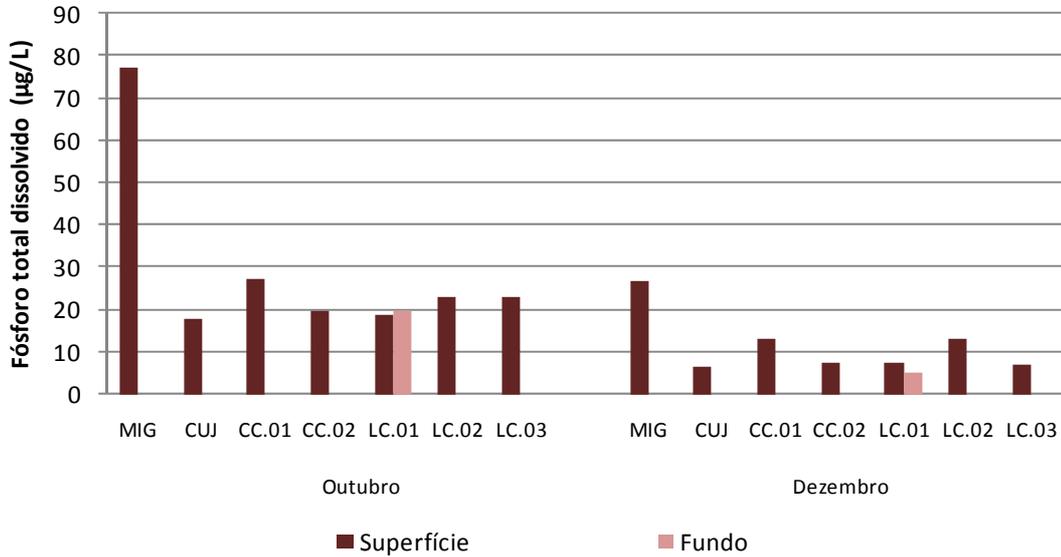


Figura 5.1-146 - Concentrações de fósforo total dissolvido (PTD) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

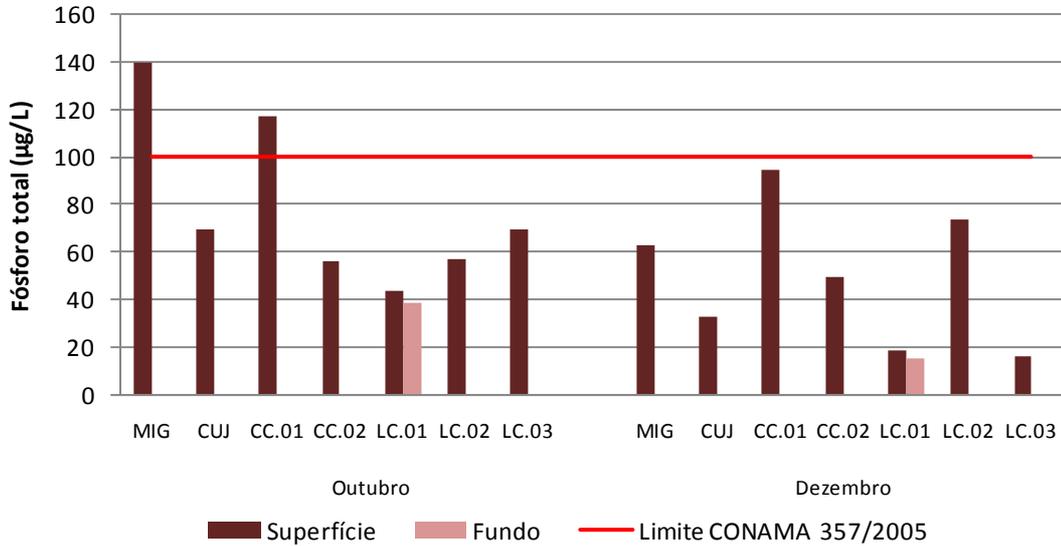


Figura 5.1-147 - Concentrações de fósforo total (PT) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

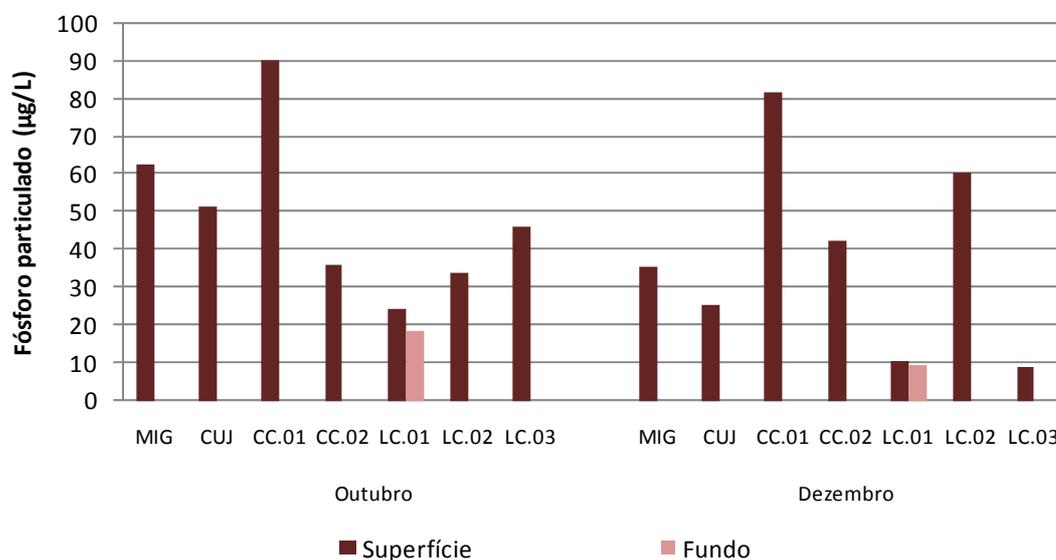


Figura 5.1-148 - Concentrações de fósforo particulado (PP) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

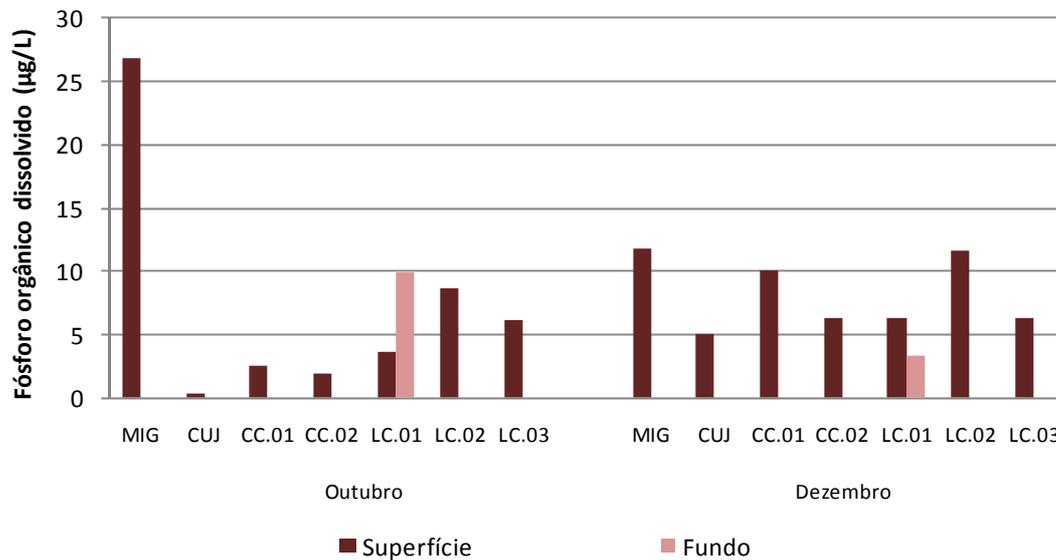


Figura 5.1-149 - Concentrações de fósforo orgânico dissolvido (POD) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

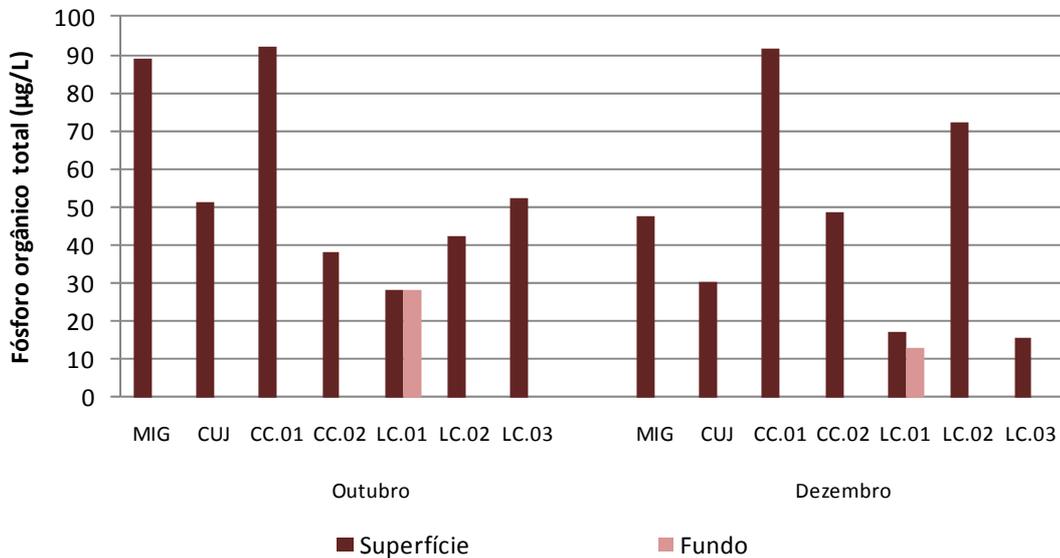


Figura 5.1-150 - Concentrações de fósforo orgânico total (POT) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

No rio Madeira, todas as estações amostradas apresentaram concentrações de fósforo total superiores ao limite de 100 µg/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). Alguns tributários (JAT I, TEO, BEL e CEA) e alguns lagos e canais (MIG e CC.01) também não respeitaram o limite supracitado. Apesar disso, as diferentes formas de fósforo variaram pouco temporalmente e verticalmente. Quando encontradas, as variações podem ser atribuídas à variações naturais desses ambientes aquático, cujo nível d'água varia bastante anualmente em função do pulso de inundação. Esses resultados indicam que a formação do reservatório não influenciou, até o presente momento, a dinâmica do fósforo nas estações amostradas.

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, as concentrações de silicatos variaram entre $10,6 \pm 1,4$ mg/L (média \pm DP) em novembro de 2011 e $12,3 \pm 1,0$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de $11,5 \pm 1,6$ mg/L (média \pm DP) para superfície e $11,5 \pm 1,3$ mg/L (média \pm DP) para o fundo (Figura 5.1-151).

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

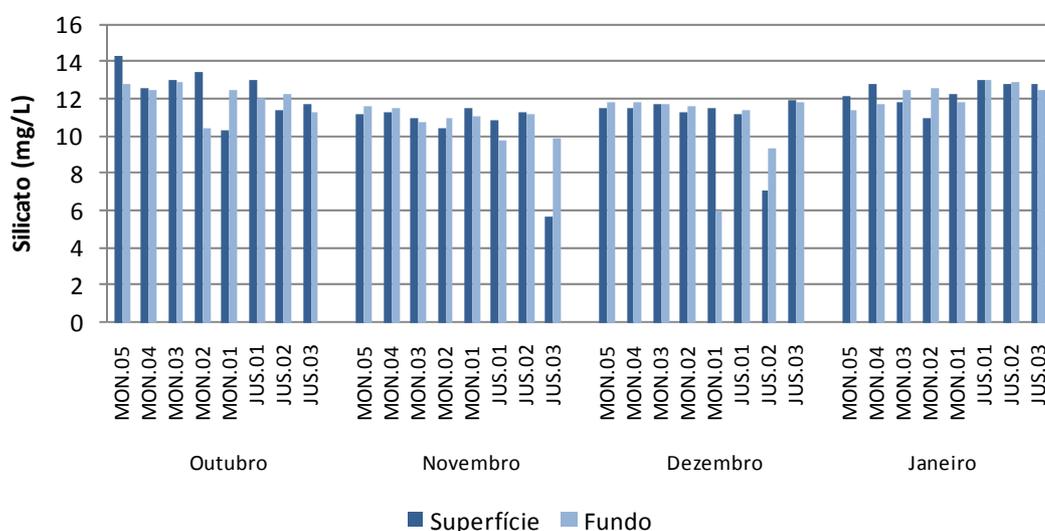


Figura 5.1-151 - Concentrações de silicatos reativos no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos tributários, as concentrações de silicatos variaram entre $3,2 \pm 5,5$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 e $6,3 \pm 4,5$ mg/L (média \pm DP) em dezembro e 2011, com concentrações maiores no meio ($7,5 \pm 4,8$ mg/L, média \pm DP) e menores para superfície ($4,7 \pm 4,5$ mg/L, média \pm DP) (Figura 5.1-152).

O pequeno aumento nas concentrações de novembro para dezembro está provavelmente ligado a fatores naturais desses ambientes, que apresentam grande influência do rio Madeira. O rio Madeira tem seu nível da água intensamente oscilado ao longo do ano em função do pulso de inundação que faz com que alguns períodos tenham concentrações maiores do que outros.

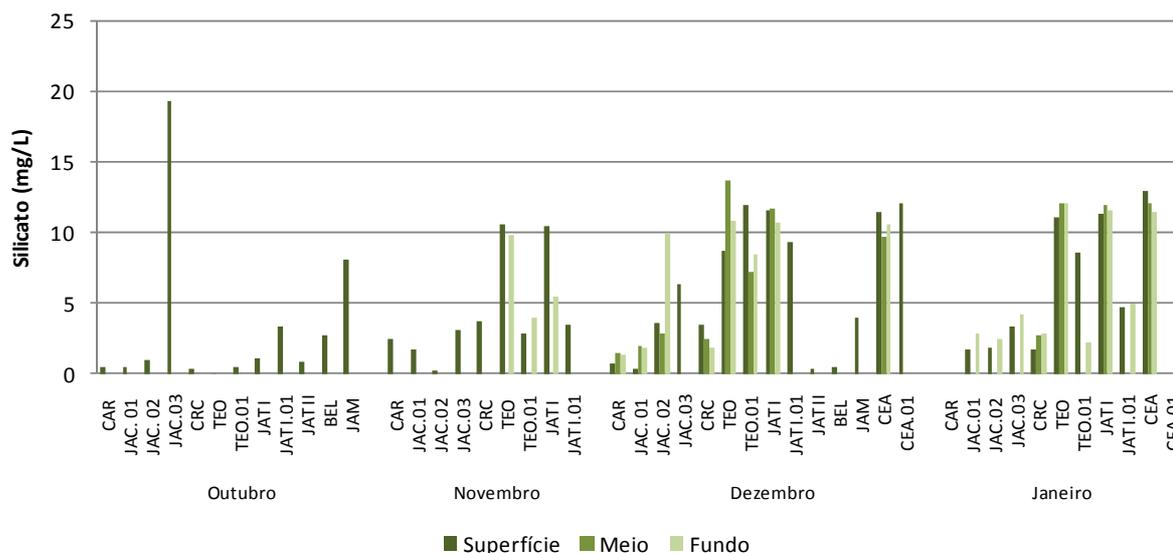


Figura 5.1-152 - Concentrações de silicatos reativos nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos lagos e canais, as concentrações de silicatos variaram entre $5,0 \pm 2,8$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 e $1,5 \pm 1,7$ mg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011, com média global de $3,1 \pm 2,0$ mg/L (média \pm DP) para a superfície (Figura 5.1-153).

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 nenhum efeito do enchimento do reservatório nesses ambientes. Consequentemente, os valores de silicatos reativos mantiveram-se dentro do padrão observado para estes ambientes.

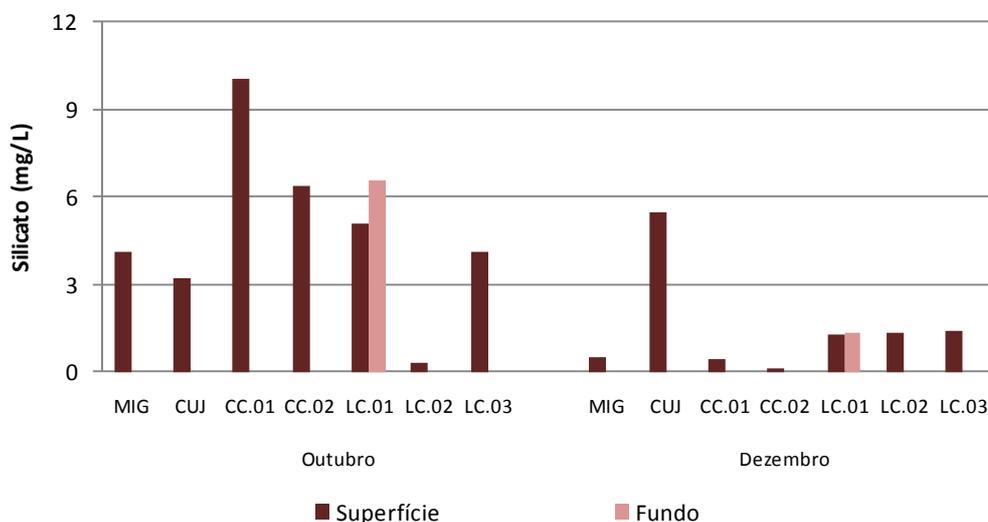


Figura 5.1-153 - Concentrações de silicatos reativos nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

5.1.8 - Químicas V

5.1.8.1 - Óleos e graxas

Os resultados de óleos e graxas no rio Madeira, nos tributários e nos 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 (Fe) total foi quantificado nos meses de outubro e dezembro de 2011. O Fe total apresentou média global de 5813 ± 2912 µg/L (média ± DP) para a superfície e 4636 ± 2654 µg/L (média ± DP) para o fundo, com as menores concentrações médias (3801 ± 3237 µg/L, média ± DP) no mês de dezembro de 2011 e maiores (5647 ± 1802 µg/L, média ± DP) no mês de outubro de 2011 (Figura 5.1-154). Para efeito de comparação, o Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no rio Madeira (janeiro de 2009 a agosto de 2011) relata média global de 6609 ± 6545 µg/L (média ± DP), valor próximo ao encontrado no presente estudo. Em relação à fração dissolvida, os valores médios dos períodos variaram entre 92 ± 18 µg/L (média ± DP) em novembro de 2011 e 315 ± 25 µg/L (média ± DP) em

dezembro de 2011, com média global de $163 \pm 97 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície e $161 \pm 103 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para o fundo (Figura 5.1-155), evidenciando baixa variação vertical. Os elevados teores de ferro dissolvido em janeiro de 2012 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).

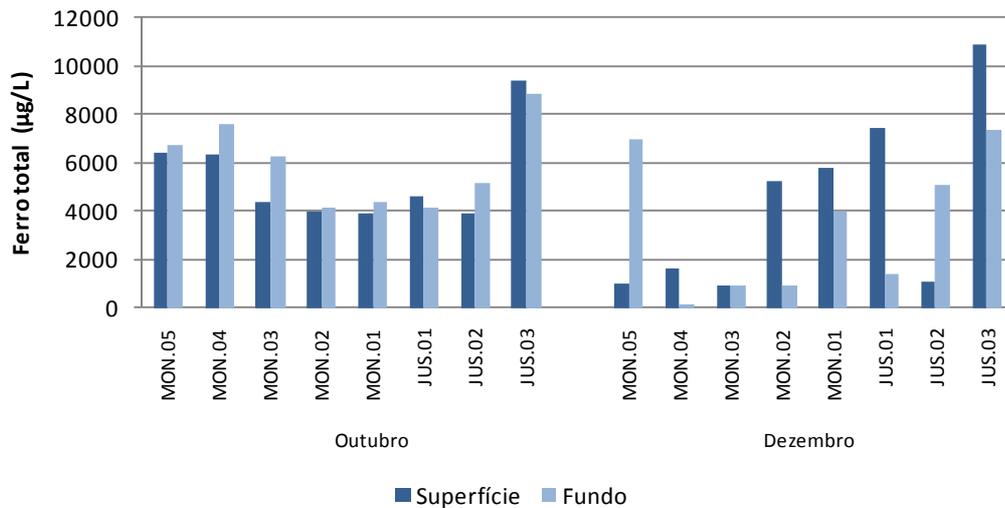


Figura 5.1-154 - Concentrações de ferro total no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

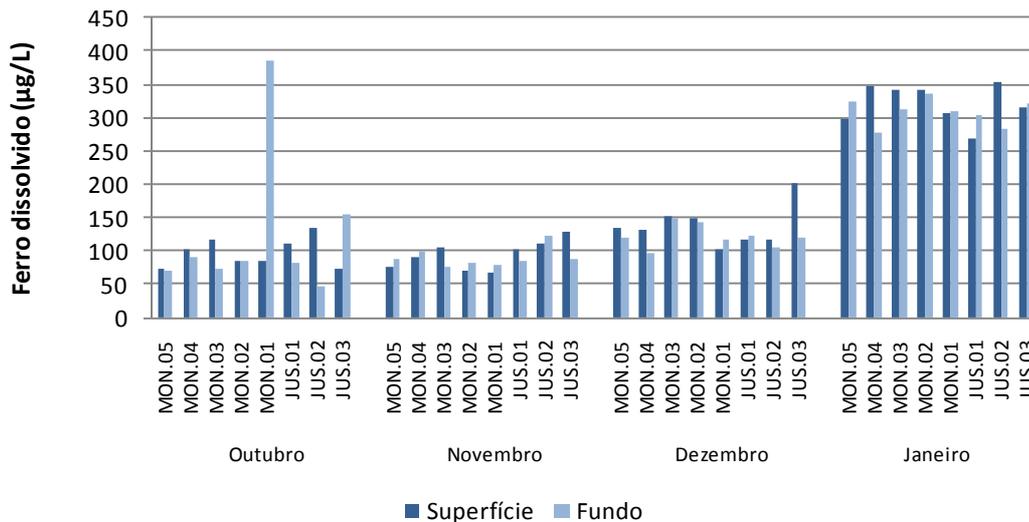


Figura 5.1-155 - Concentrações de ferro dissolvido no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

O ferro total foi mais baixo nos tributários, que tiveram média global de $1892 \pm 1667 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP). As concentrações médias dessa fração variaram de $1677 \pm 1515 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 a $2143 \pm 1864 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 (Figura 5.1-156). As concentrações médias de ferro dissolvido oscilaram entre $297 \pm 168 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em novembro de 2011 e $616 \pm 323 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro de 2012, com valor médio global de $395 \pm 234 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-157).

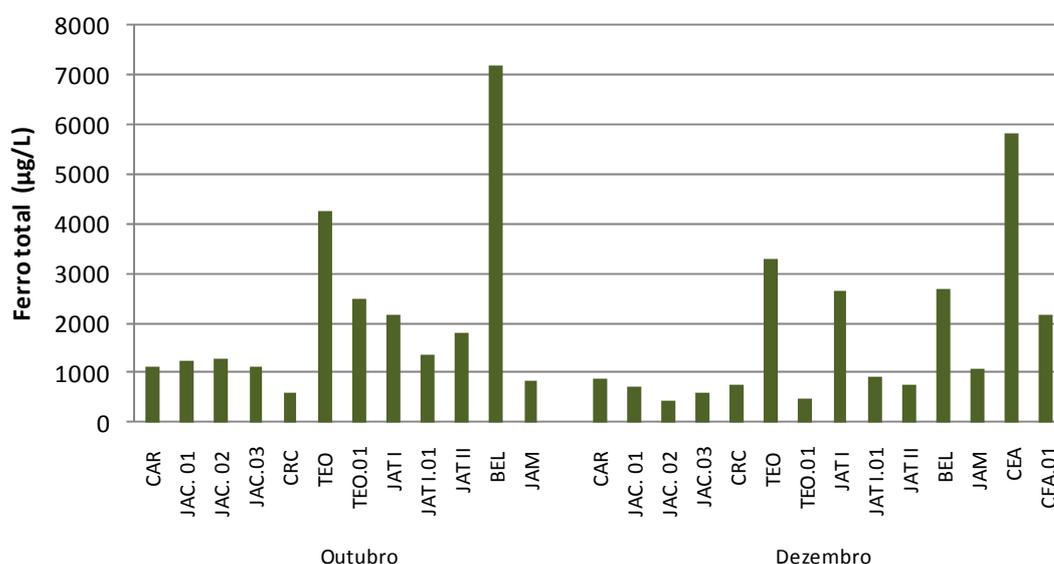


Figura 5.1-156 - Concentrações de ferro total nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

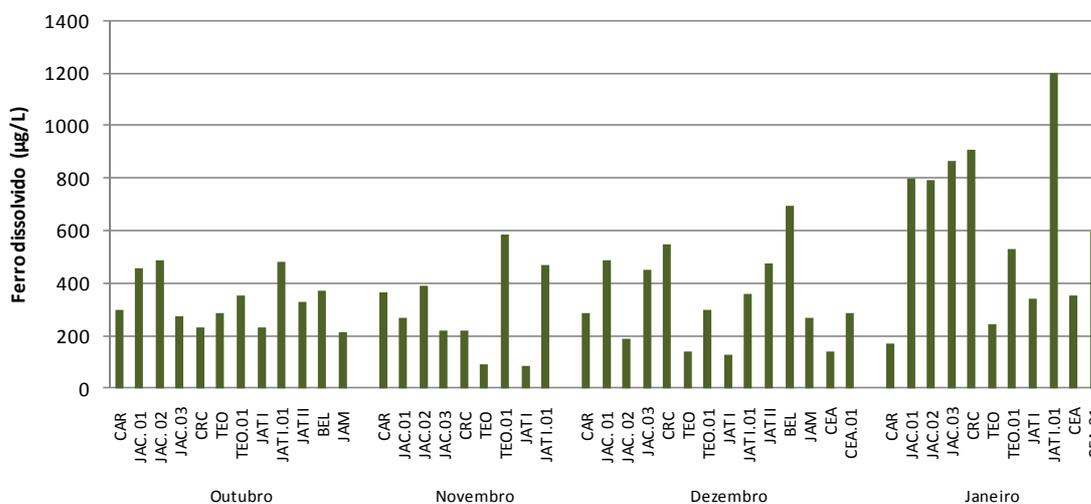


Figura 5.1-157 - Concentrações de ferro total nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos lagos e canais, as concentrações médias de ferro total variaram entre $1283 \pm 1222 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $1620 \pm 1483 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de $1573 \pm 1377 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-158). A variação espacial foi elevada, de modo que nenhum padrão de distribuição do ferro pode ser traçado. Em relação ao ferro dissolvido, a variação temporal foi baixa. As concentrações médias dos períodos oscilaram entre $223 \pm 245 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 e $321 \pm 182 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011, com valor médio global de $280 \pm 228 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-159).

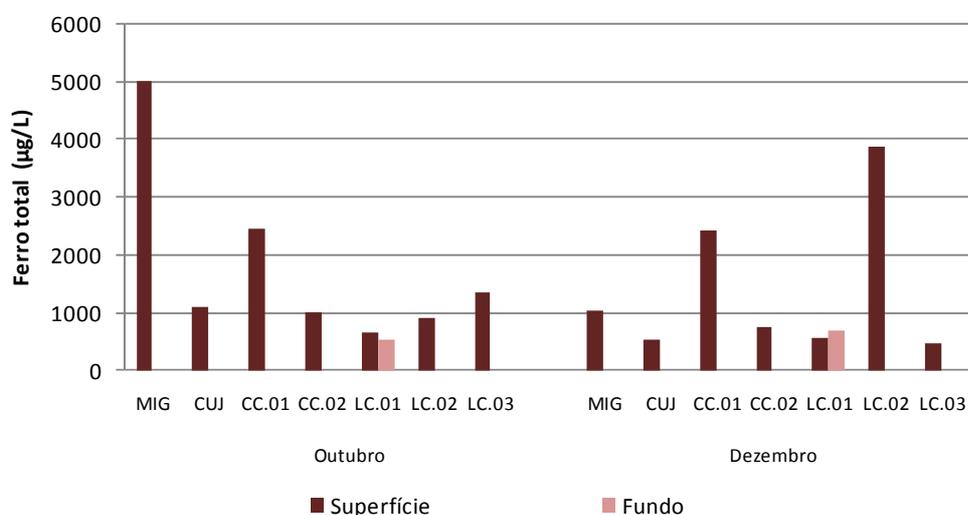


Figura 5.1-158 - Concentrações de ferro total nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011

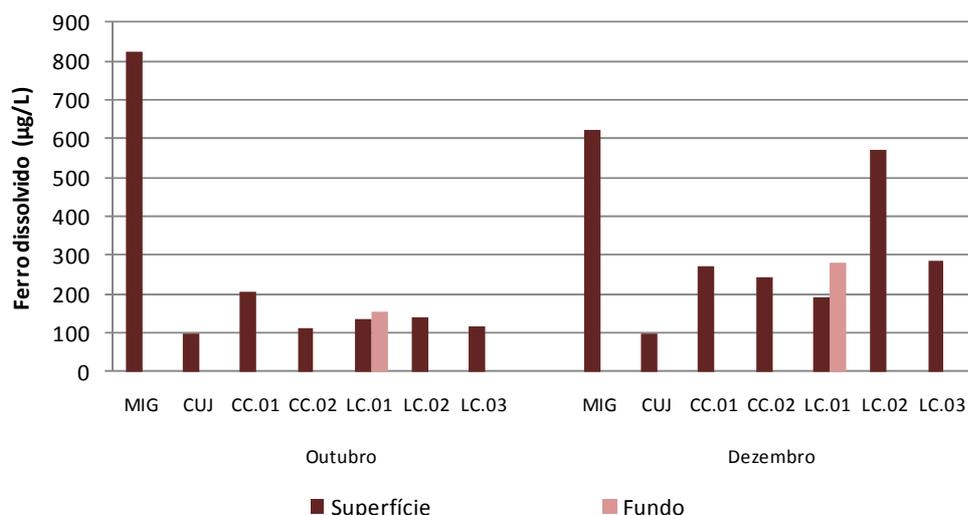


Figura 5.1-159 - Concentrações de ferro dissolvido nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Todas as estações no rio Madeira registraram valores de ferro dissolvido compatíveis, em geral, ao limite de 300 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05, exceto no mês de janeiro de 2012. Nos tributários, lagos e canais, a maior parte dos valores de ferro dissolvido esteve acima do limite previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05. Contudo, trata-se de uma condição natural desses ambientes. Entretanto, não há indicativos de que o enchimento do reservatório tenha aumentado as concentrações de ferro dissolvido, pois não foi verificado nenhum padrão de variação nos dados.

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, entretanto são 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. Os elementos-traços foram quantificados nos meses de outubro (águas baixas) e dezembro (enchente) de 2011. Suas concentrações 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) quase não variou ao longo do tempo, apresentou concentrações médias que variaram de 53 ± 20 µg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 a 55 ± 13 µg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011, com média global de 55 ± 12 µg/L (média \pm DP) para a superfície e 53 ± 20 µg/L (média \pm DP) para o fundo (**Figura 5.1-160**). Todas as estações apresentaram concentrações de Al inferiores ao limite de 100 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2.

As concentrações médias de bário (Ba) variaram de 63 ± 16 µg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 a 69 ± 26 µg/L (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de 63 ± 10 µg/L (média \pm DP) para a superfície e 69 ± 28 µg/L (média \pm DP) para o fundo (**Figura 5.1-161**). Os resultados

obtidos evidenciam pouca variabilidade temporal e vertical nas concentrações de Ba. Além disso, cabe salientar que todas as estações amostradas foram compatíveis com o Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2.

O cobalto (Co) apresentou concentrações abaixo do limite de detecção na maior parte das estações ($<0,1 \mu\text{g/L}$), com exceção à estação JUS.03 que apresentou valores de $1,0 \mu\text{g/L}$ para a superfície e $0,1 \mu\text{g/L}$ para o fundo em outubro de 2011. Já o cromo (Cr) apresentou concentrações médias que variaram de $2,2 \pm 1,0 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 a $2,4 \pm 1,3 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011, com média global de $2,2 \pm 1,2 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície e $2,4 \pm 0,9 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para o fundo. O Cr não foi detectável pelo método analítico nas estações MON.01 (fundo) e JUS.02 (superfície) em outubro 2011. Já em dezembro de 2011 estiveram abaixo do limite de detecção as estações MON.04, MON.03, MON.02 (fundo), MON.01 (fundo), JUS.01 (fundo) e JUS.02 (**Figura 5.1-162**). Todos os valores foram compatíveis com o Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2 que estabelece um limite de $50 \mu\text{g/L}$ tanto para o Co, como para o Cr.

As concentrações de cobre (Cu) apresentaram valores baixos ao longo do período de estudo. Em outubro de 2011, o cobre foi detectável somente na estação MON.04 fundo ($0,2 \mu\text{g/L}$). Já em dezembro de 2011 estiveram abaixo do limite de detecção as estações MON.05 (fundo), MON.04 (superfície), MON.03, MON.01 (superfície) e JUS.01 (**Figura 5.1-163**). Todas as estações onde o cobre foi detectado foram compatíveis ao limite de $9 \mu\text{g/L}$ previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2.

Já o níquel (Ni) apresentou concentrações médias que variaram de $1,4 \pm 1,4 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 a $3,2 \pm 1,0 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011, com média global de $2,3 \pm 1,5 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície e $2,3 \pm 1,4 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para o fundo. O Ni não foi detectável pelo método analítico nas estações MON.01 e JUS.02 (superfície) em outubro 2011. Já em dezembro de 2011 esteve abaixo do limite de detecção nas estações MON.04, MON.03, MON.02 (fundo), MON.01 (fundo), JUS.01 (fundo) e JUS.02 (superfície) (**Figura 5.1-164**). Todos os valores de Ni foram compatíveis com o Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2. O chumbo (Pb) apresentou média global de $1,4 \pm 1,4 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para a superfície e $2,2 \pm 3,1 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) para o fundo, com concentrações médias que variaram de $3,3 \pm 1,7 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 a $5,4 \pm 4,5 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 (**Figura 5.1-165**). O Pb não foi detectável pelo método analítico nas estações MON.05, MON.04 (superfície), MON.03, MON.02 (superfície), MON.01, JUS.01

(fundo), JUS.02 (fundo) e JUS.03 (superfície) em outubro 2011. Já em dezembro de 2011 estiveram abaixo do limite de detecção as estações MON.04 (fundo), MON.03 (fundo), MON.02 (fundo), JUS.01 (fundo) e JUS.02 (superfície). Todas as estações onde o chumbo foi detectado foram compatíveis ao limite de 10 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2, exceto MON.04 fundo (13,4 µg/L).

As concentrações médias de silício (Si) oscilaram entre 4200 ± 1917 µg/L (média ± DP) em outubro de 2011 e 5881 ± 1946 µg/L (média ± DP) em dezembro de 2011, com média global de 5177 ± 2191 µg/L (média ± DP) para a superfície e 4904 ± 2032 µg/L (média ± DP) para o fundo (**Figura 5.1-166**). O zinco (Zn) apresentou média global de 41 ± 30 µg/L (média ± DP) para a superfície e 45 ± 30 µg/L (média ± DP) para o fundo, com os valores médios oscilando entre 29 ± 22 µg/L (média ± DP) em dezembro de 2011 e 59 ± 29 µg/L (média ± DP) em outubro de 2011 (**Figura 5.1-167**). Todos os valores foram compatíveis com o limite de 180 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2.

As concentrações médias de manganês (Mn) oscilaram entre 92 ± 47 µg/L (média ± DP) em dezembro de 2011 e 133 ± 58 µg/L (média ± DP) em outubro de 2011, com média global de 118 ± 50 µg/L (média ± DP) para a superfície e 106 ± 62 µg/L (média ± DP) para o fundo (**Figura 5.1-168**). A maior parte dos valores de Mn não foram compatíveis com o limite de 100 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2. Mas, para efeito de comparação, os valores encontrados foram inferiores aos registrados 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 valor médio de 165 ± 142 mg/L (média ± DP).

As concentrações de estanho, cádmio e mercúrio tiveram abaixo do limite de detecção do método analítico durante o período estudado. As concentrações dos elementos-traços registraram, em geral, pouca variação temporal e isso corrobora o fato de que mesmo com a criação do reservatório não houve modificações nas concentrações desses elementos.

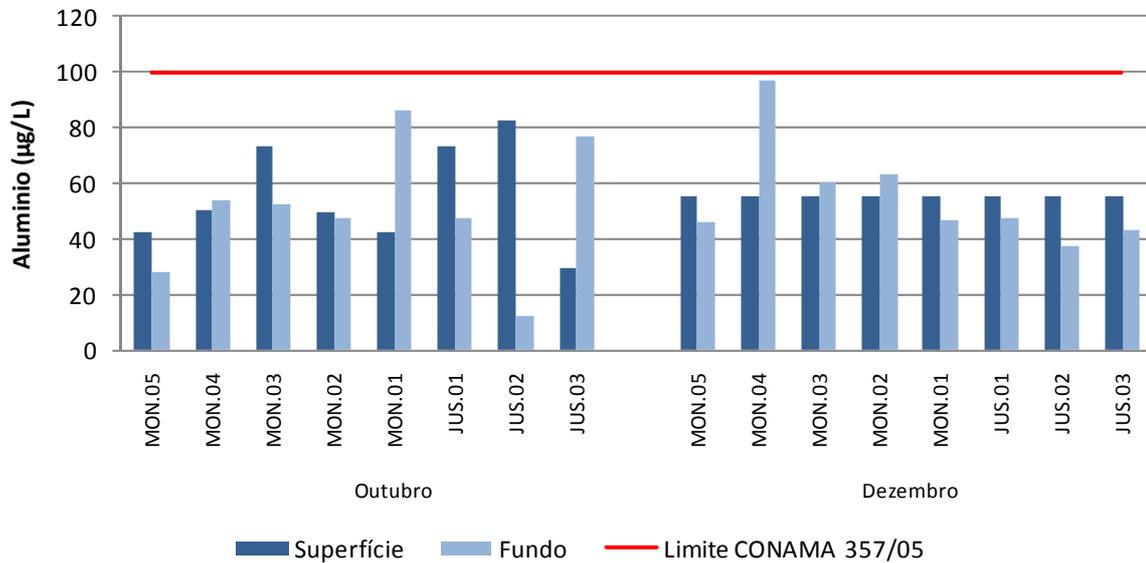


Figura 5.1-160 - Concentrações de alumínio dissolvido (Al) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

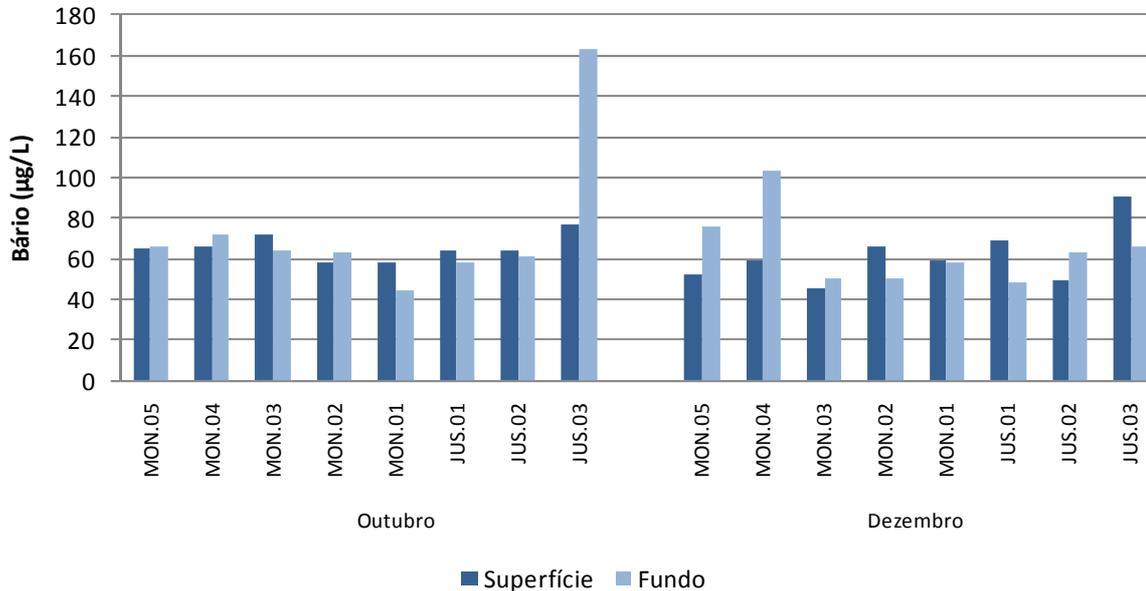


Figura 5.1-161 - Concentrações de bário (Ba) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

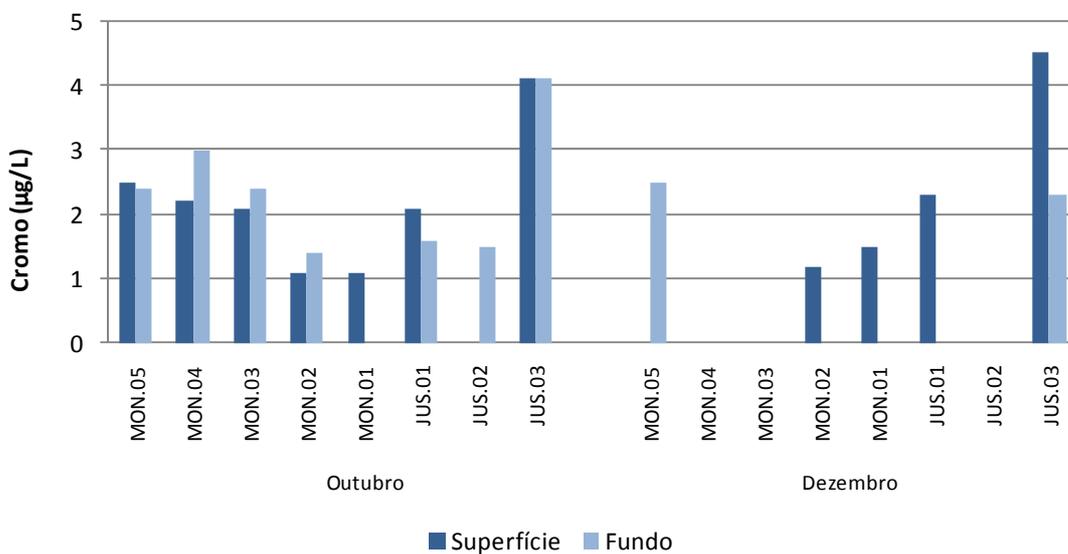


Figura 5.1-162 - Concentrações de cromo (Cr) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

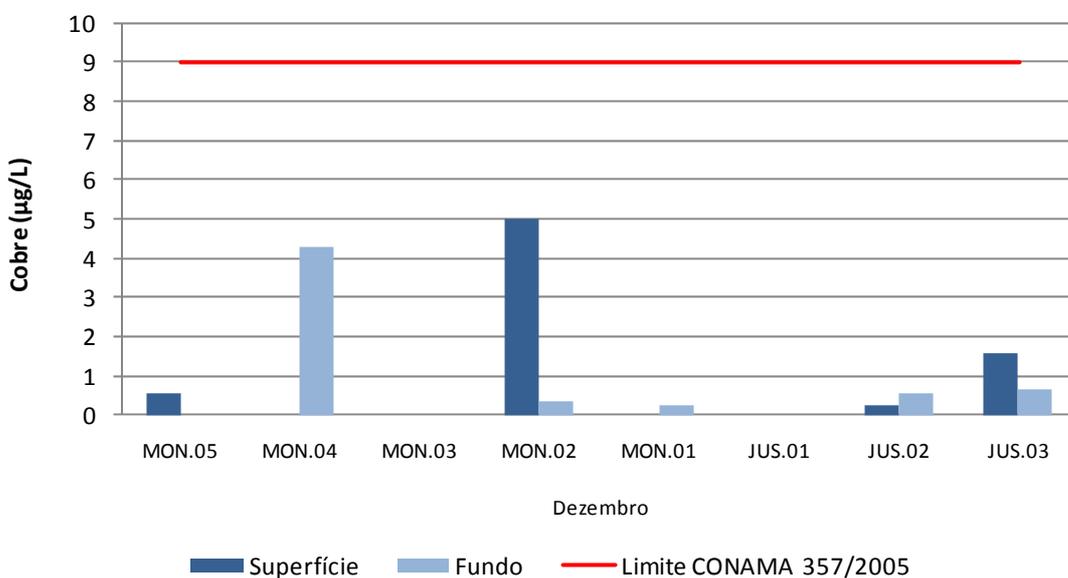


Figura 5.1-163 - Concentrações cobre dissolvido (Cu) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

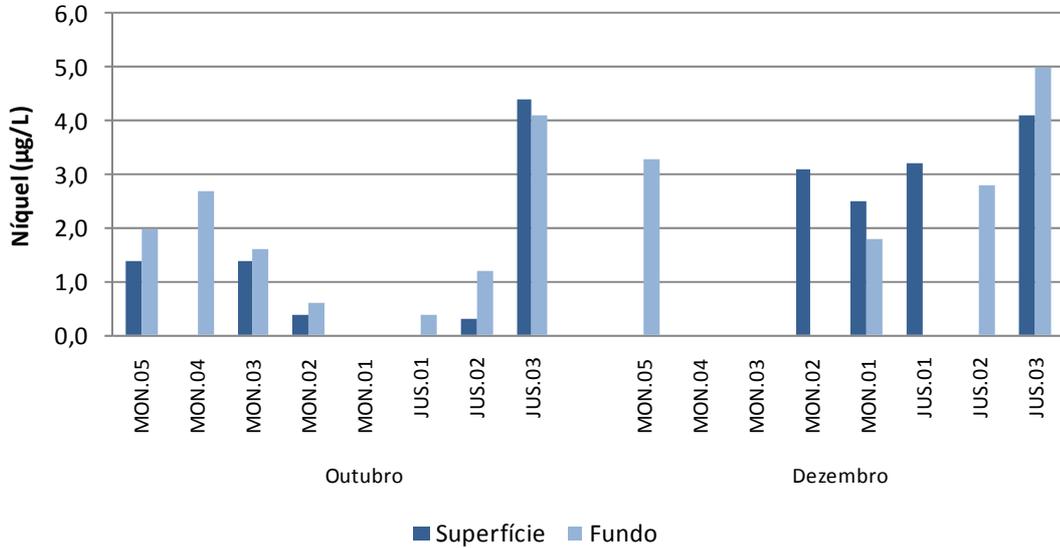


Figura 5.1-164 - Concentrações de níquel (Ni) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

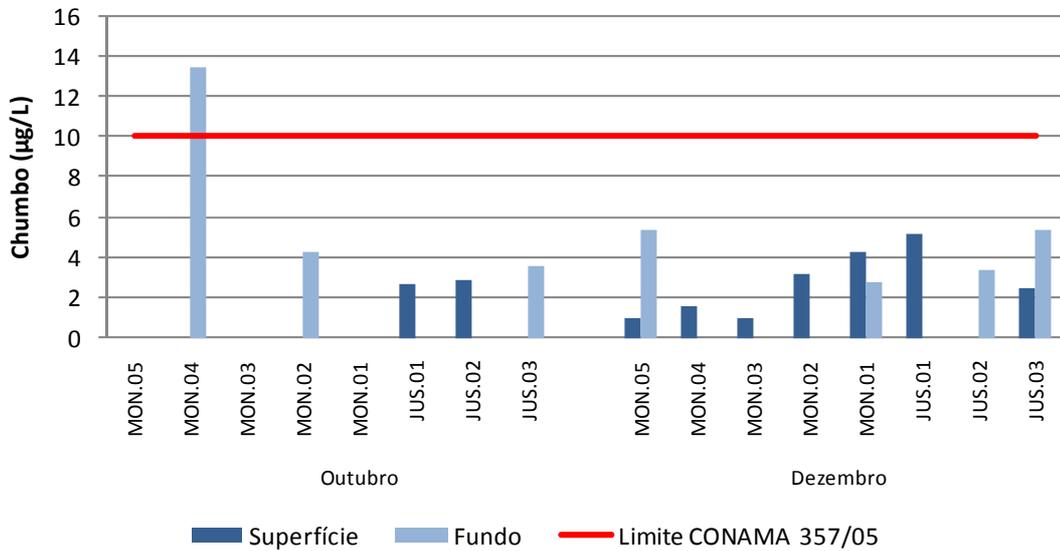


Figura 5.1-165 - Concentrações de chumbo (Pb) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

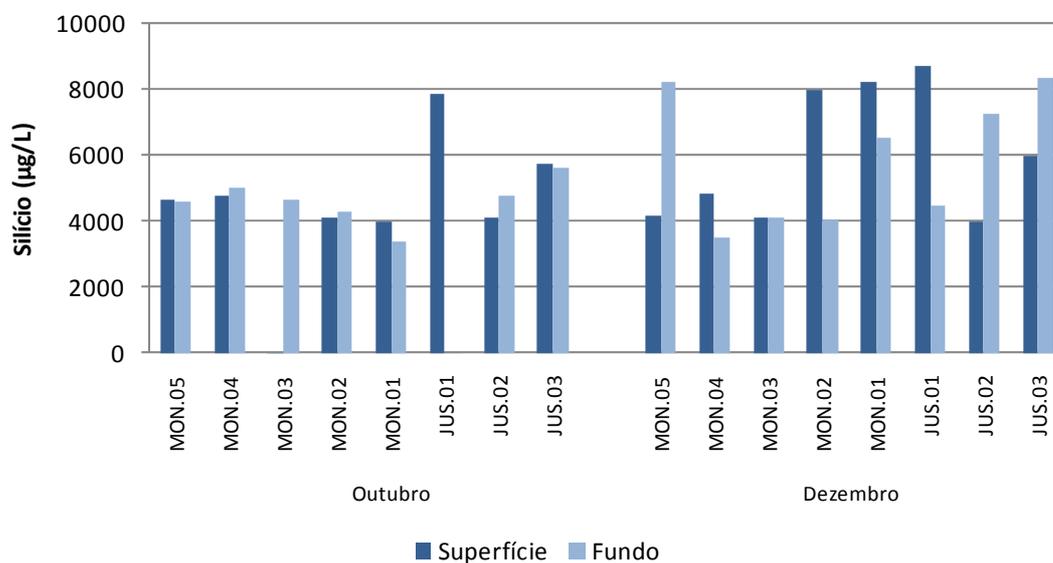


Figura 5.1-166 - Concentrações de silício (Si) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

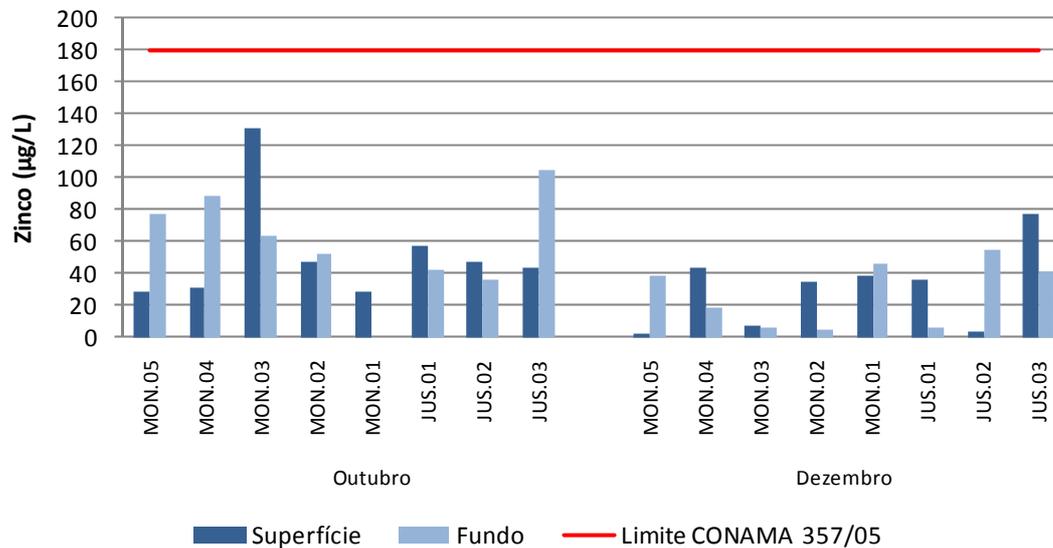


Figura 5.1-167 - Concentrações de zinco (Zn) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

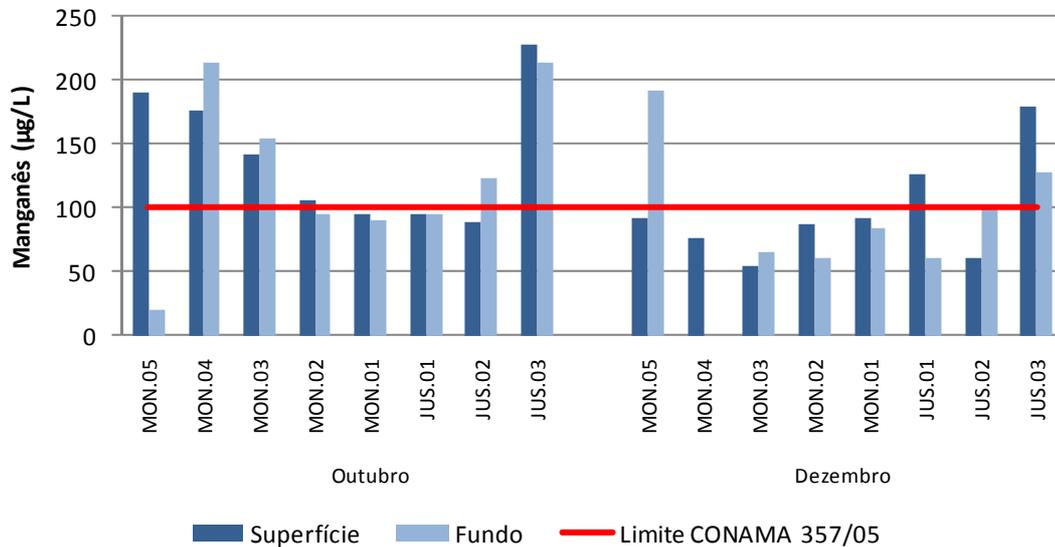


Figura 5.1-168 - Concentrações de manganês (Mn) no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

Nos rios tributários, o alumínio (Al) quase não variou ao longo do tempo, apresentando concentrações médias que variaram de 50 ± 23 µg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 a 64 ± 60 µg/L (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de 57 ± 44 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-169). Todas as estações apresentaram concentrações de Al inferiores ao limite de 100 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2, exceto a estação TEO.01 em outubro de 2011.

As concentrações médias de bário (Ba) variaram de 26 ± 18 µg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011 a 35 ± 19 µg/L (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de 30 ± 18 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-170). Os resultados obtidos evidenciam pouca variabilidade temporal nas concentrações de Ba. Além disso, cabe salientar que todas as estações amostradas foram compatíveis com o Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2. O chumbo (Pb) não foi detectável pelo método analítico em nenhuma estação no mês de outubro de 2011. Já em dezembro de 2011 esse metal foi detectável nas estações TEO, JAT I, BEL, CEA e CEA.01 (Figura 5.1-171).

As concentrações médias de silício (Si) oscilaram entre 2867 ± 3309 µg/L (média \pm DP) em outubro de 2011 e 4043 ± 1892 µg/L (média \pm DP) em dezembro de 2011, com média global de 3500 ± 2653 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-172). O zinco (Zn) apresentou média global de $33 \pm$

24 µg/L (média ± DP), com os valores médios oscilando entre 21 ± 14 µg/L (média ± DP) em dezembro de 2011 e 45 ± 27 µg/L (média ± DP) em outubro de 2011 (Figura 5.1-173). Todos os valores foram compatíveis com o limite de 180 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2.

As concentrações médias de manganês (Mn) oscilaram entre 38 ± 28 µg/L (média ± DP) em dezembro de 2011 e 48 ± 34 µg/L (média ± DP) em outubro de 2011, com média global de 41 ± 31 µg/L (média ± DP) para a superfície e 106 ± 62 µg/L (média ± DP) para o fundo (Figura 5.1-174). Todas as estações registraram valores compatíveis com o limite de 100 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2.

As concentrações de cromo, cobre, níquel estanho, cádmio e o mercúrio tiveram concentrações abaixo do limite de detecção do método analítico durante o período estudado. Mesmo com a criação do reservatório houve pouca variabilidade temporal nas concentrações dos elementos-traço nos tributários amostrados. Além disso, a variação espacial foi mais marcante que a variação temporal, uma vez que, ao contrário das estações do rio Madeira, trata-se de ambientes diferentes e desconectados.

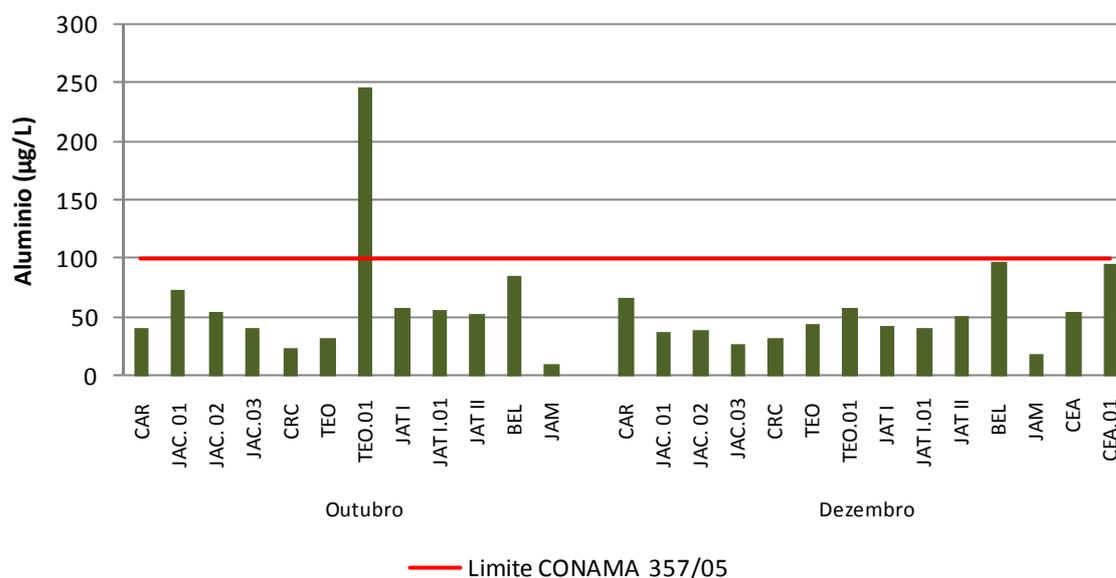


Figura 5.1-169 - Concentrações de alumínio dissolvido (Al) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

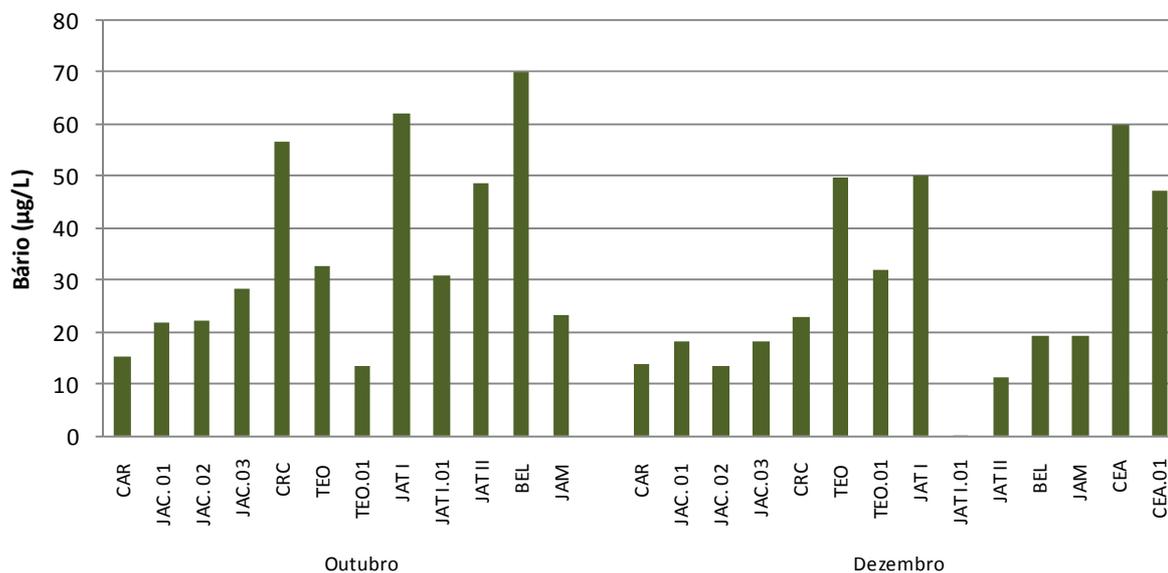


Figura 5.1-170 - Concentrações de bário (Ba) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

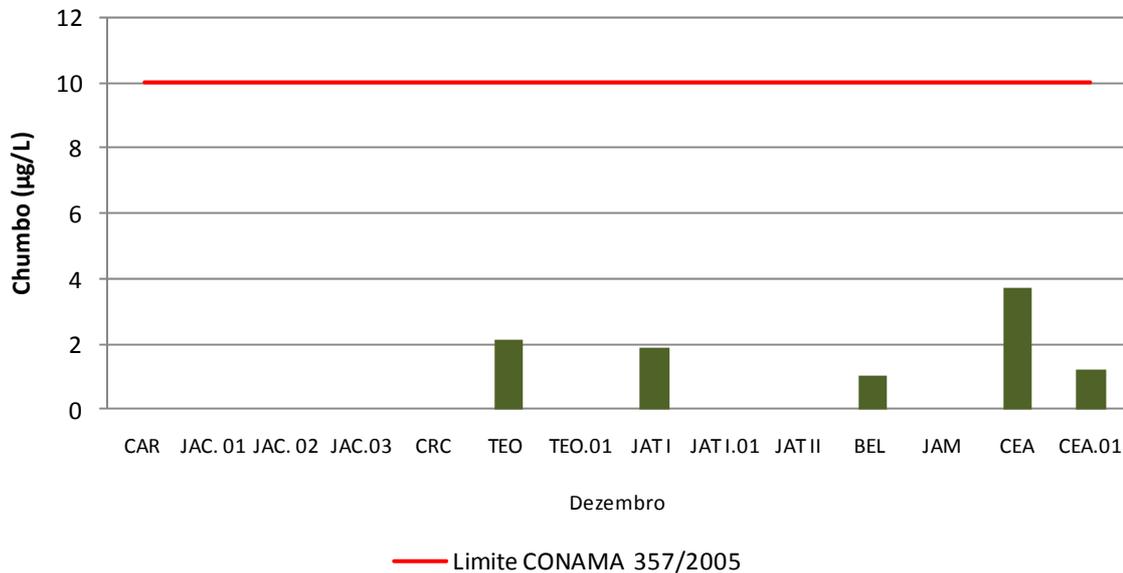


Figura 5.1-171 - Concentrações de chumbo (Pb) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

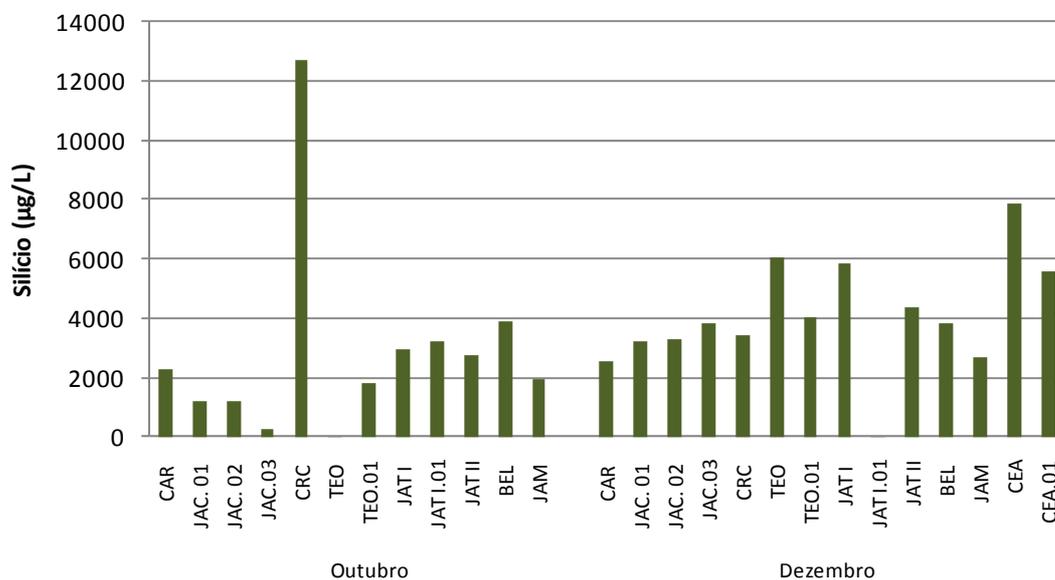


Figura 5.1-172 - Concentrações de silício (Si) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

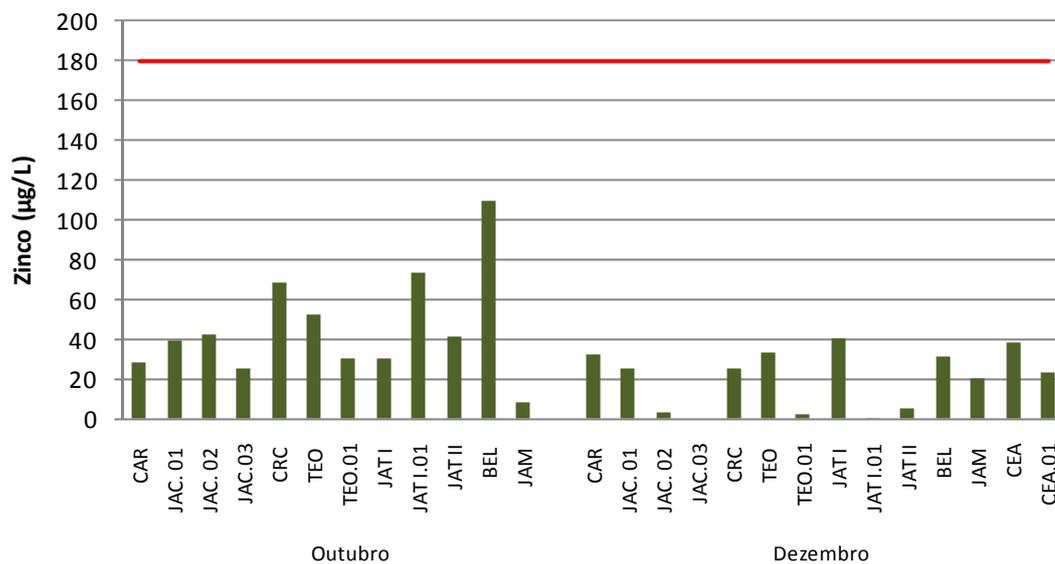


Figura 5.1-173 - Concentrações de zinco (Zn) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

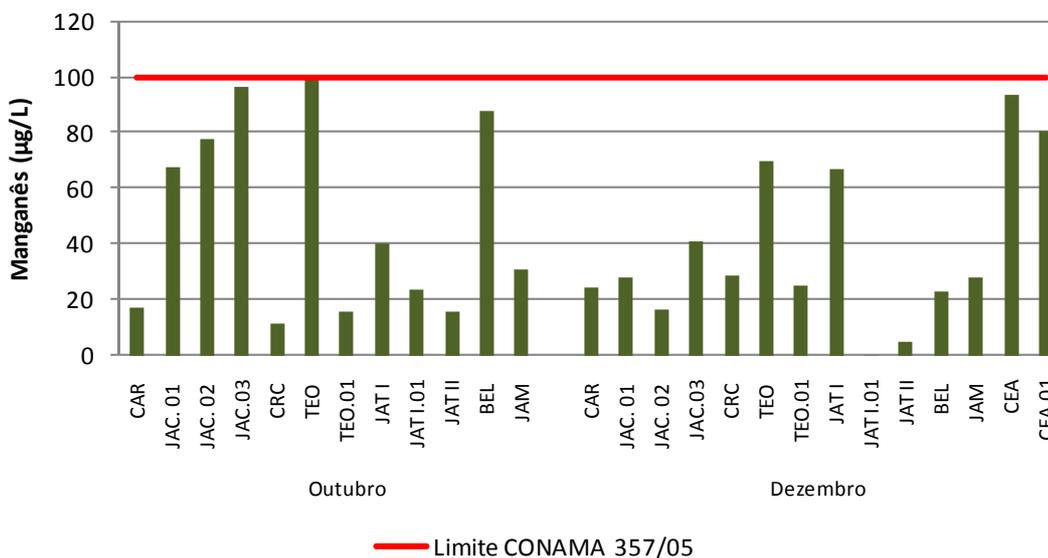


Figura 5.1-174 - Concentrações de manganês (Mn) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

Nos lagos e canais, os valores de alumínio (Al) foram semelhantes aos registrados no rio Madeira e nos tributários. O Al quase não variou ao longo do tempo, apresentando concentrações médias que variaram de $62 \pm 70 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 a $69 \pm 30 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011, com média global de $64 \pm 56 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-175). Todas as estações apresentaram concentrações de Al inferiores ao limite de $100 \mu\text{g/L}$ previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2, exceto a estação LC.02 em outubro de 2011.

As concentrações médias de bário (Ba) variaram de $22 \pm 7,1 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 a $70 \pm 112 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de $49 \pm 86 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-176). Os valores foram semelhantes entre um período e outro, de modo que a diferença nas médias foi causada pelo valor mais alto encontrado na estação LC.02 em outubro de 2011. Além disso, cabe salientar que todas as estações amostradas foram compatíveis com o Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2.

O cobalto (Co) apresentou concentrações abaixo do limite de detecção ($<0,1 \mu\text{g/L}$) em todo o período de estudo, com exceção da estação LC.02 ($65 \mu\text{g/L}$), que apresentou valores detectáveis em outubro de 2011. Assim como observado para o cobalto, o cromo (Cr) registrou valores detectáveis somente em outubro de 2011 na estação MIG ($0,6 \mu\text{g/L}$). Já o cobre (Cu) apresentou

concentrações acima do limite de detecção na estação LC.02 (2,7 µg/L) em outubro de 2011 e nas estações CC.02 (2,5 µg/L) e LC.01 (0,3 µg/L) em dezembro de 2011. O níquel (Ni) e o chumbo (Pb) apresentaram geralmente concentrações abaixo do limite de detecção do método analítico e foram detectados somente nas estações MIG e LC.02 em outubro de 2011

As concentrações médias de silício (Si) oscilaram entre 3790 ± 5048 µg/L (média ± DP) em dezembro de 2011 e 5048 ± 2790 µg/L (média ± DP) em outubro de 2011, com média global de 4295 ± 2186 µg/L (média ± DP) (Figura 5.1-177). O zinco (Zn) apresentou média global de 98 ± 205 µg/L (média ± DP), com os valores médios oscilando entre 28 ± 16 µg/L (média ± DP) em dezembro de 2011 e 160 ± 272 µg/L (média ± DP) outubro de 2011 (Figura 5.1-178). Todos os valores foram compatíveis com o limite de 180 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2.

As concentrações médias de manganês (Mn) oscilaram entre 38 ± 28 µg/L (média ± DP) em dezembro de 2011 e 48 ± 34 µg/L (média ± DP) em outubro de 2011, com média global de 41 ± 31 µg/L (média ± DP) para a superfície e 106 ± 62 µg/L (média ± DP) para o fundo (Figura 5.1-179). Os valores foram semelhantes entre um período e outro, de modo que a diferença nas médias foi causada pelo valor mais alto encontrado na estação LC.02 em outubro de 2011. Todas as estações registraram valores compatíveis com o limite de 100 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2.

As concentrações de estanho, cádmio e o mercúrio tiveram concentrações abaixo do limite de detecção do método analítico durante o período estudado. 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 nenhum efeito do enchimento do reservatório nesses ambientes.

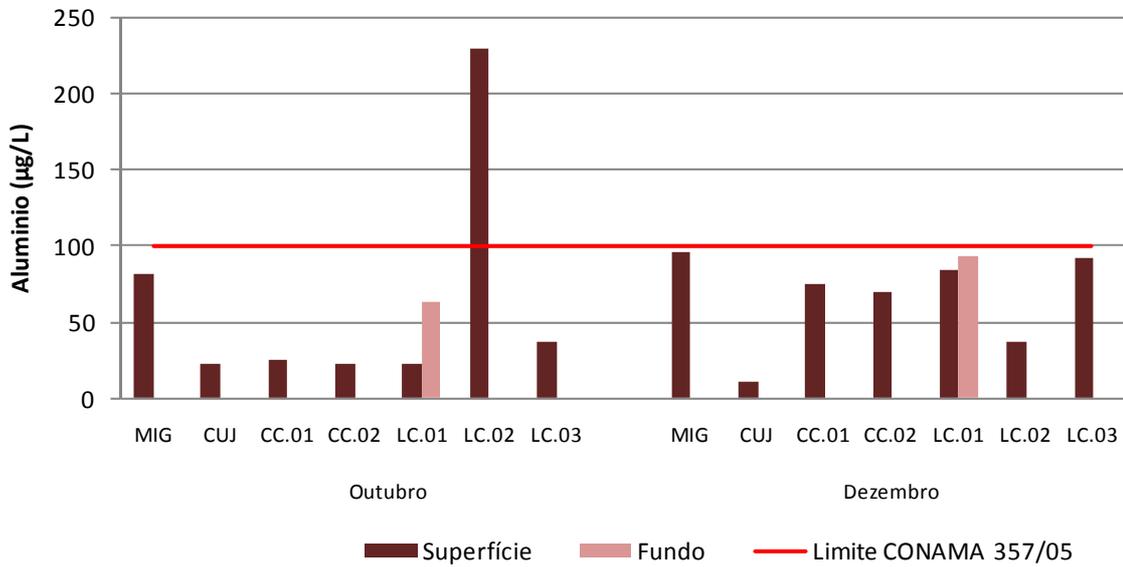


Figura 5.1-175 - - Concentrações de alumínio dissolvido(Al) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

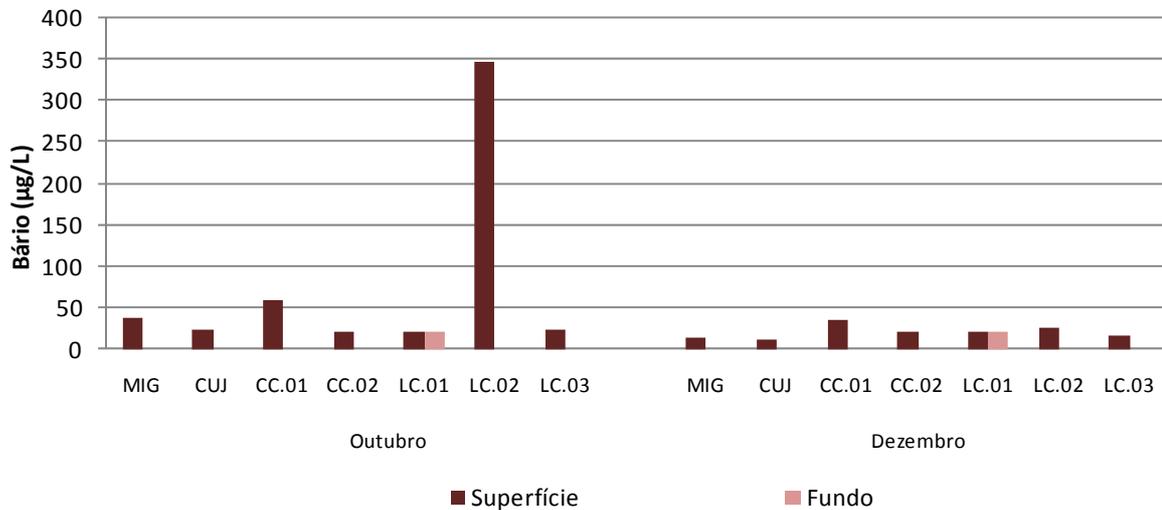


Figura 5.1-176 - Concentrações de bário (Ba) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

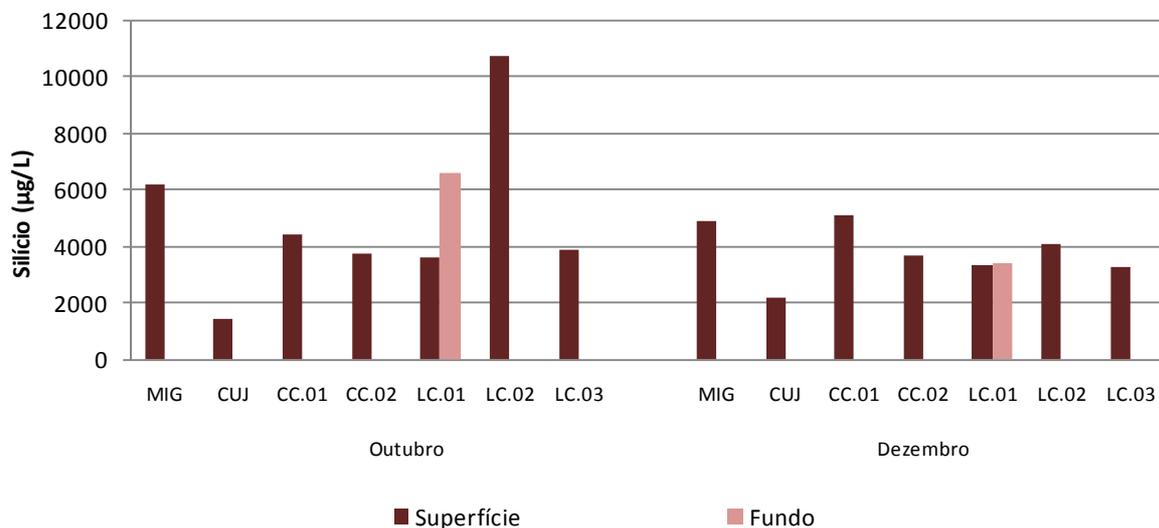


Figura 5.1-177 - Concentrações de silício (Si) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

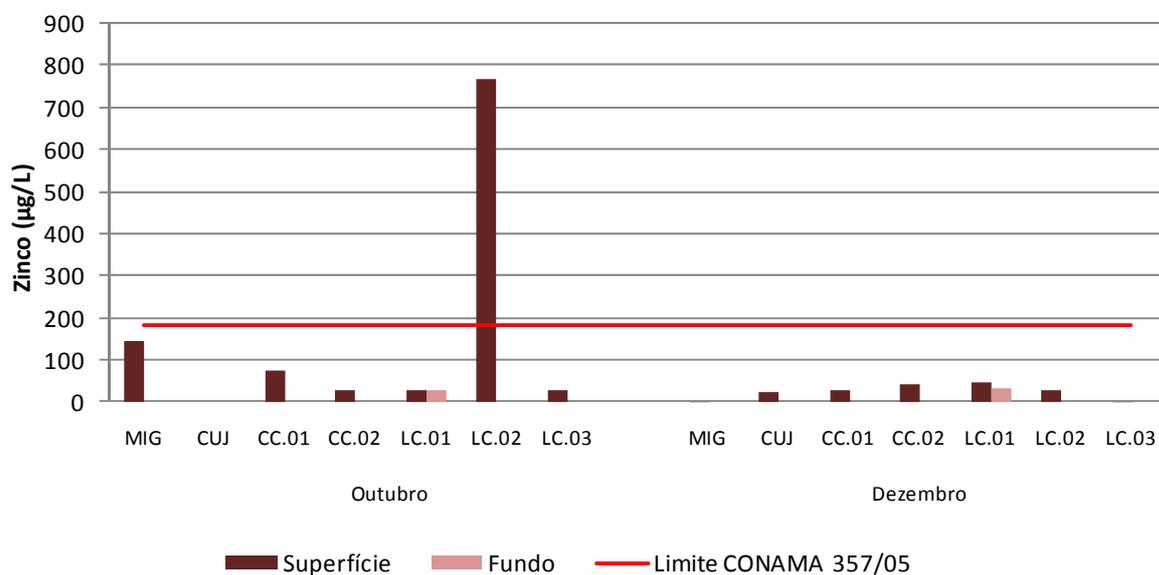


Figura 5.1-178 - Concentrações de zinco (Zn) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

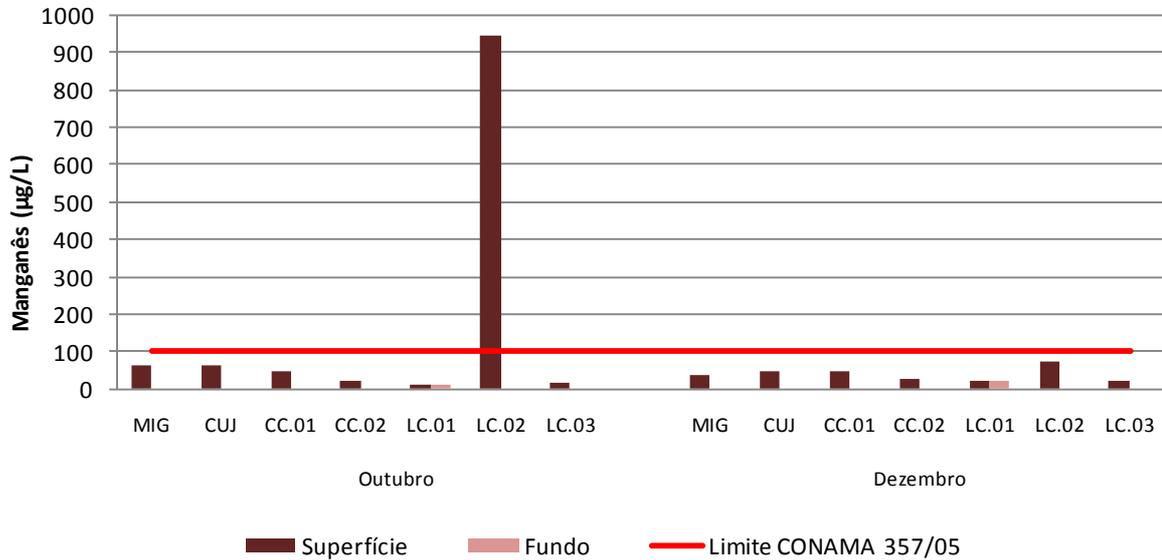


Figura 5.1-179 - Concentrações de manganês (Mn) nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

5.1.10 - Biológicas

5.1.10.1 - Coliformes totais e Escherichia coli

Os coliformes totais no rio Madeira foram analisados nos meses de outubro e dezembro de 2011, com os valores apresentando média global de 998 ± 519 NMP/100ml (média \pm DP), oscilando entre 559 ± 135 NMP/100ml (média \pm DP) em outubro de 2011 e 1436 ± 345 NMP/100ml (média \pm DP) em dezembro de 2011 (Figura 5.1-180). Em relação à *E. coli*, a média global foi de 28 ± 13 NMP/100ml (média \pm DP). Os valores mais altos foram encontrados em dezembro de 2011, que teve média de 37 ± 10 NMP/100ml (média \pm DP) e os menores em outubro de 2011, que teve média de 18 ± 5 NMP/100ml (média \pm DP) (Figura 5.1-181). Os resultados obtidos indicam que os coliformes termotolerantes são apenas uma pequena parcela dos coliformes totais presentes no rio Madeira.

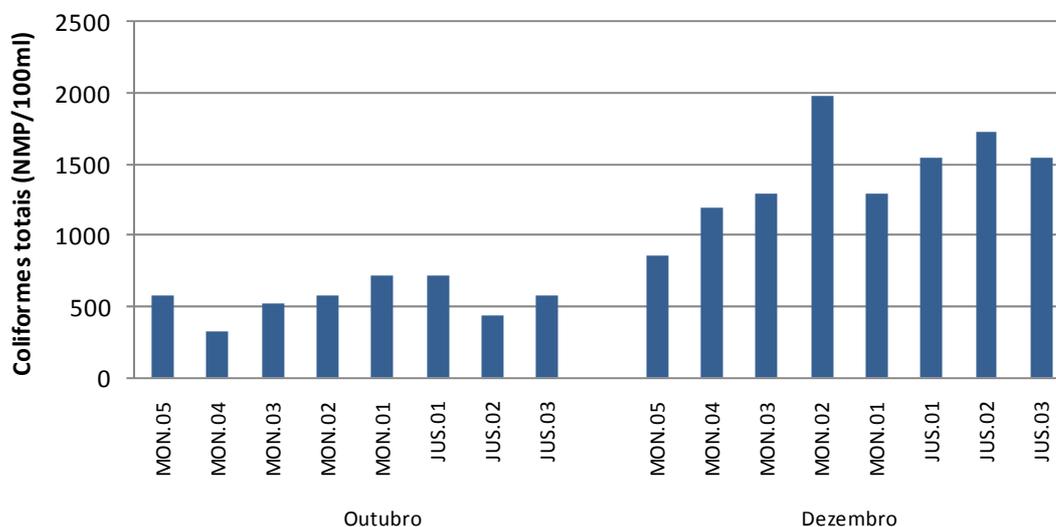


Figura 5.1-180 - Coliformes totais no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

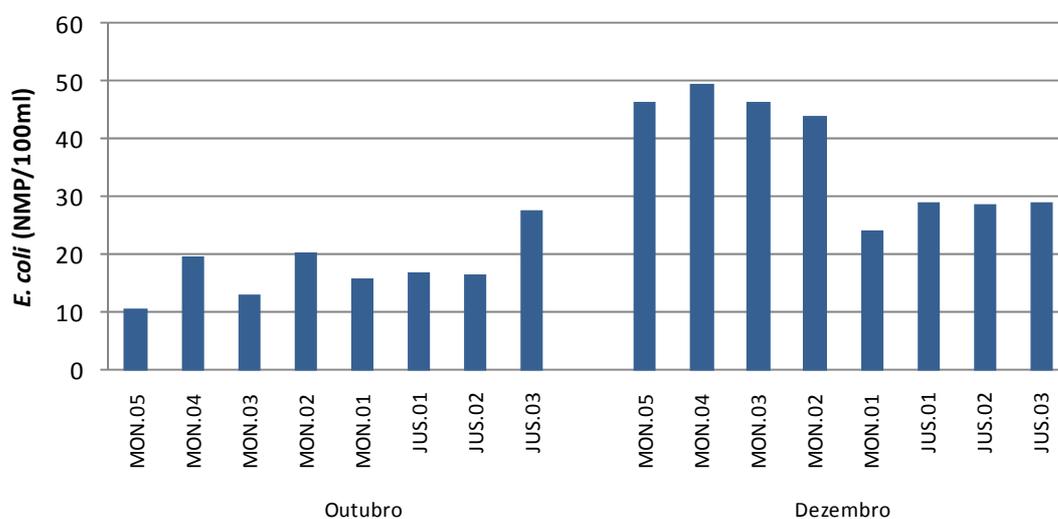


Figura 5.1-181 - *Escherichia coli* no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

Nos rios tributários, os coliformes totais de todas as estações apresentaram valores superiores ao limite máximo de detecção do método analítico (>2419,6 NMP/100ml), sendo que apenas a estação JAM (1046 NMP/100ml) em outubro de 2011 e as estações CAR (1986 NMP/100ml) e TEO (1732 NMP/100ml) em dezembro de 2011 registraram valores inferiores ao limite supracitado. 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 variou de 485 ± 479 NMP/100ml (média \pm DP) em outubro de 2011 a 125 ± 201 NMP/100ml (média \pm DP) em dezembro de 2011, exibindo média global de 291 ± 394 NMP/100ml (média \pm DP) (Figura 5.1-182). As estações TEO.01 e BEL em outubro de 2011 foram responsáveis por elevar a média nesse período.

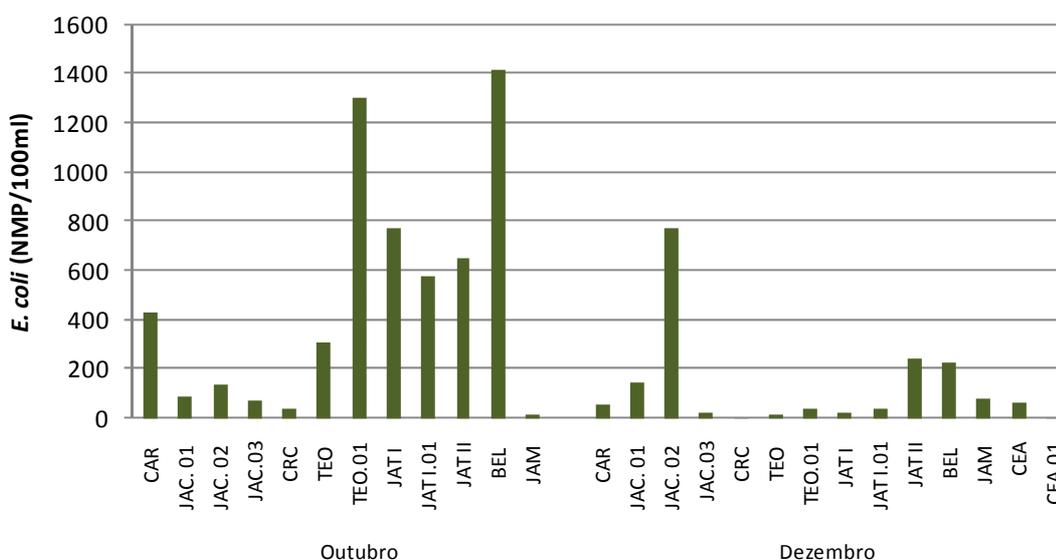


Figura 5.1-182 - *Escherichia coli* nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

Nos lagos e canais, o índice médio de coliformes totais foi de 1192 ± 572 NMP/100ml (média \pm DP). Os limites mínimos e máximos foram de 998 ± 505 NMP/100ml (média \pm DP) em outubro de 2011 e 1347 ± 630 NMP/100ml (média \pm DP) em dezembro de 2011 (Figura 5.1-183). Em relação ao índice de *E. coli*, os valores foram bastante constantes ao longo do período de estudo, com os valores médios oscilando entre 21 ± 13 NMP/100ml (média \pm DP) em outubro de 2011 e 104 ± 162 NMP/100ml (média \pm DP) em dezembro de 2011 (Figura 5.1-184). A média global desse grupo de

coliformes foi de 62 ± 118 NMP/100ml (média \pm DP). A alta concentração de *E. coli* na estação CC.01 em dezembro de 2011 elevou tanto o desvio padrão do mês de coleta quanto o desvio padrão global.

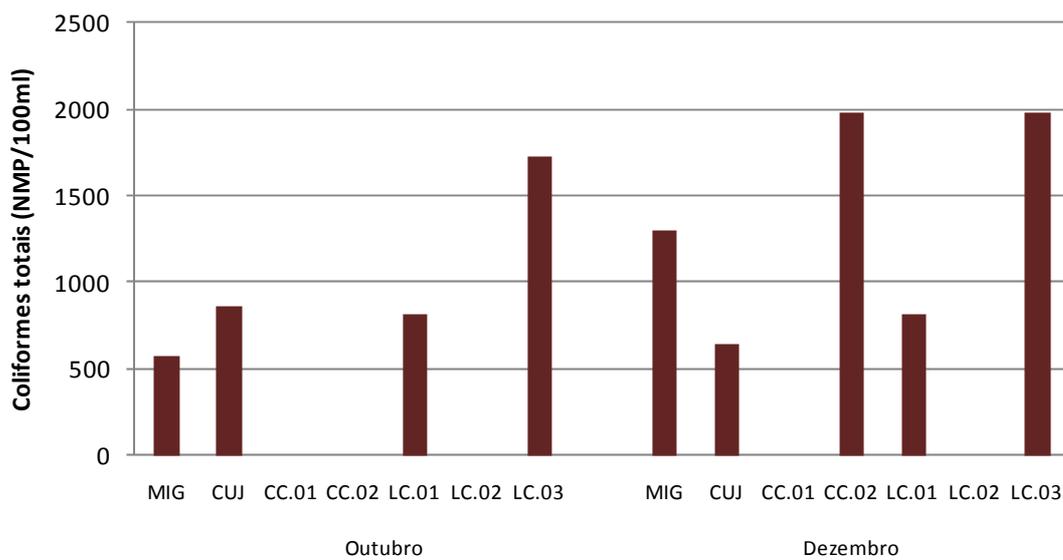


Figura 5.1-183 - Coliformes totais nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

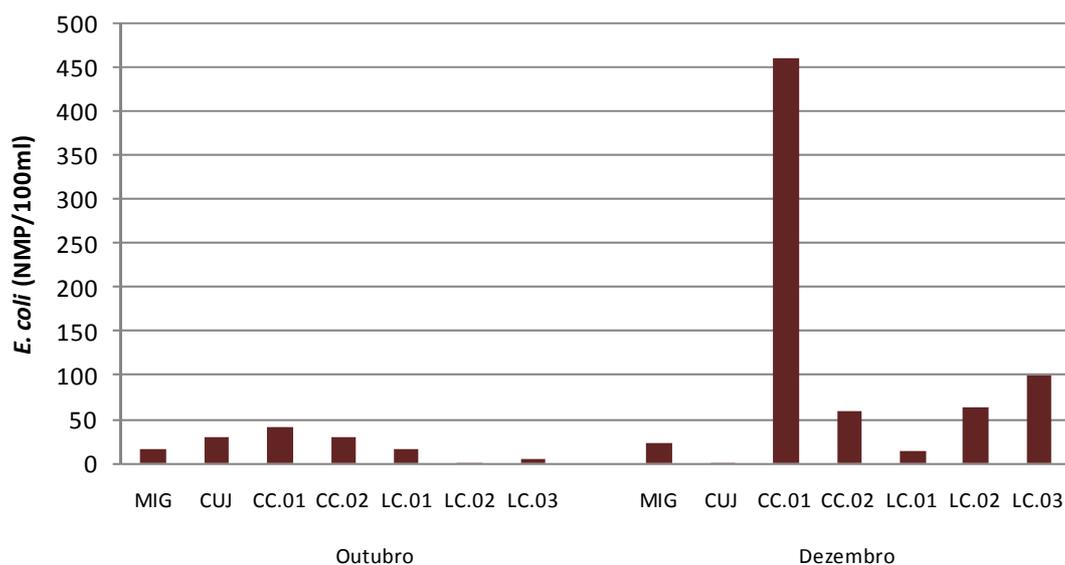


Figura 5.1-184 - *Escherichia coli* nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011

Os índices de *E. coli* foram sempre muito baixos e foram compatíveis com o Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 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 são considerados de origem fecal, como a *E. coli*, que habitam o intestino de animais de sangue quente. Os índices de *E. coli* nos rios tributários e nos lagos e canais foram compatíveis com o Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de Classe 2, a única exceção foram a estações TEO.01 e BEL em outubro de 2011.

Foram coletadas amostras de coliformes totais e de *E. coli* para as praias de Jaci-Paraná e Teotônio em dezembro de 2011. Na praia de Jaci-Paraná os coliformes totais foram superiores ao limite máximo de detecção do método analítico ($>2419,6$ NMP/100ml), enquanto que na praia de Teotônio foi registrado um índice de 1732 NMP/100ml. Em relação aos coliformes termotolerantes, ambas estações apresentaram baixos índices (62 NMP/100ml para praia de Jaci-Paraná e 14 NMP/100ml para praia de Teotônio), de modo que ambos índices foram compatíveis com o Art. 15 da Resolução CONAMA 357/0505 para corpos d'água de Classe 2.

5.1.10.2 - Clorofila *a* e pigmentos totais

A clorofila *a* apresentou baixas concentrações no rio Madeira. Os valores variaram entre $1,9 \pm 0,9$ mg/L (média \pm DP) em janeiro de 2012 e $2,3 \pm 1,0$ mg/L (média \pm DP) em outubro de 2011, com média global de $2,7 \pm 0,7$ mg/L (média \pm DP) para superfície e $1,7 \pm 0,7$ mg/L (média \pm DP) para o fundo (**Figura 5.1-185**). Esses valores foram semelhantes ao descrito no EIA ($2,1 \pm 1,4$ μ g/L, média \pm DP).

Em relação aos pigmentos totais, as concentrações médias oscilaram entre $3,4 \pm 1,7$ μ g/L (média \pm DP) em janeiro de 2012 e $4,8 \pm 3,8$ μ g/L (média \pm DP) em novembro de 2011, com média global de $4,9 \pm 2,5$ μ g/L (média \pm DP) para superfície e $3,2 \pm 1,9$ μ g/L (média \pm DP) para o fundo (**Figura 5.1-186**). Todas as estações ao longo do meses estudados foram compatíveis ao limite de 30 μ g/L de clorofila *a* previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05.

Desta forma, pode ser entendido que houve pouca variação espacial e temporal nas concentrações de clorofila *a* e nos pigmentos totais, indicando que a formação do reservatório não influenciou, até o presente momento, nos valores de clorofila *a* e pigmentos totais.

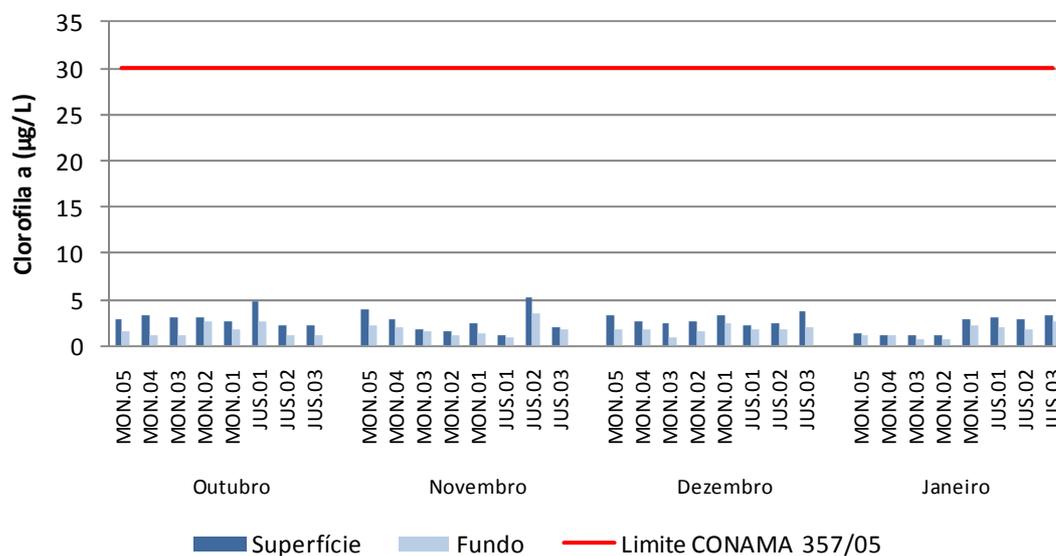


Figura 5.1-185 - Concentrações de clorofila *a* no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

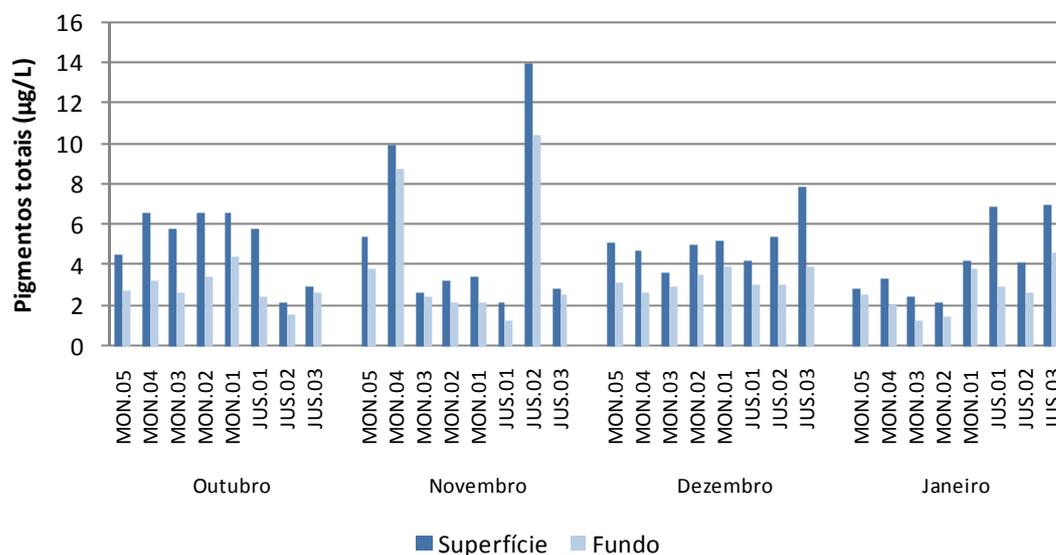


Figura 5.1-186 - Concentrações de pigmentos totais no rio Madeira, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos rios tributários, a clorofila *a* apresentou concentrações que oscilaram entre $3,0 \pm 2,7 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro de 2012 e $5,3 \pm 5,6 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em novembro de 2011 (Figura 5.1-187). As concentrações foram maiores na superfície ($5,5 \pm 4,0 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) e menores no fundo ($1,8 \pm 1,4 \mu\text{g/L}$, média \pm DP). Os pigmentos totais apresentaram concentrações que

oscilaram entre $6,1 \pm 5,7 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro de 2012 e $8,7 \pm 8,6 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em novembro de 2011. As concentrações foram maiores na superfície ($10,2 \pm 6,6 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) e menores no fundo ($3,9 \pm 2,8 \mu\text{g/L}$, média \pm DP) (Figura 5.1-188). Todas as estações ao longo do meses estudados foram compatíveis ao limite de $30 \mu\text{g/L}$ de clorofila a previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05.

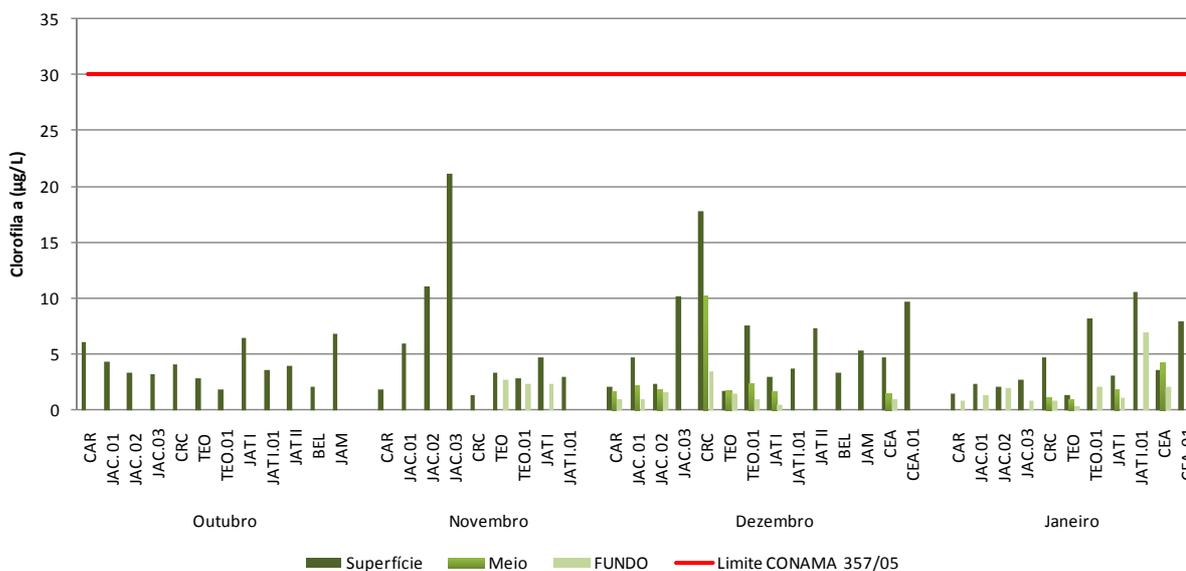


Figura 5.1-187 - Concentrações de clorofila a nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

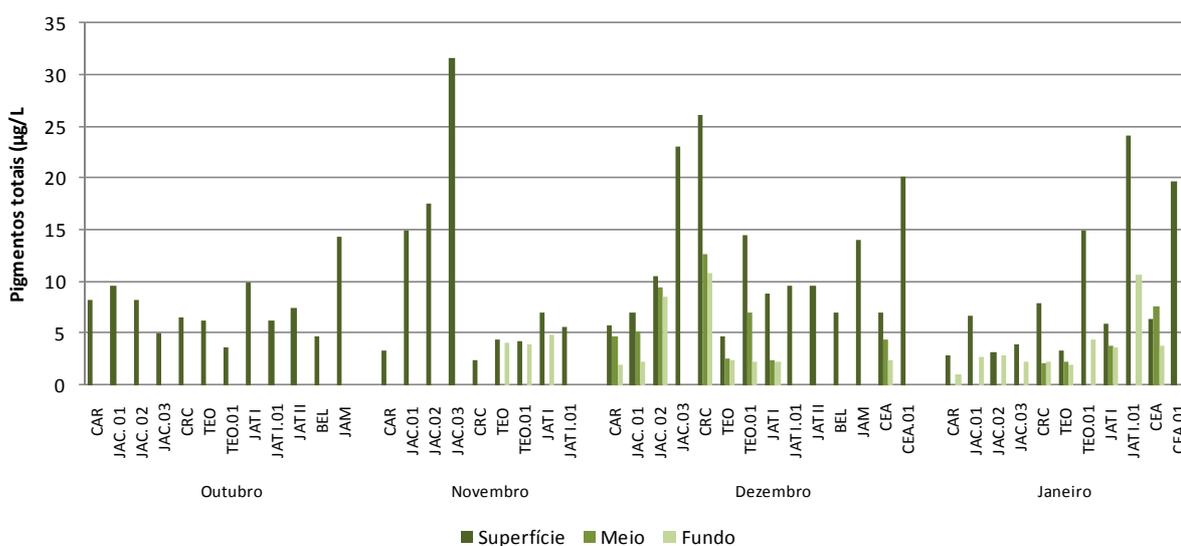


Figura 5.1-188 - Concentrações de pigmentos totais nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Nos lagos e canais, a clorofila *a* oscilou entre $5,8 \pm 3,2 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em dezembro de 2011 e $11,8 \pm 9,1 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 (Figura 5.1-189). A média global dos lagos e canais foi de $10,5 \pm 7,1 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP). Os valores foram semelhantes entre um período e outro, de modo que a diferença nas médias foi causada pelo valor mais alto encontrado nas estações MIG e CUJ em dezembro de 2011. Em relação aos pigmentos totais, as concentrações médias oscilaram entre $12,5 \pm 4,5 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em outubro de 2011 e $20,4 \pm 13 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) em janeiro de 2012, com média global de $17,8 \pm 10,3 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-190).

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. Os lagos e canais foram os ambientes que apresentaram as maiores médias globais ao longo do período de estudo, seguidos dos rios tributários e do rio Madeira, respectivamente. Isso era esperado, uma vez que ambientes lânticos oferecem condições mais favoráveis ao desenvolvimento de espécies fitoplanctônicas.

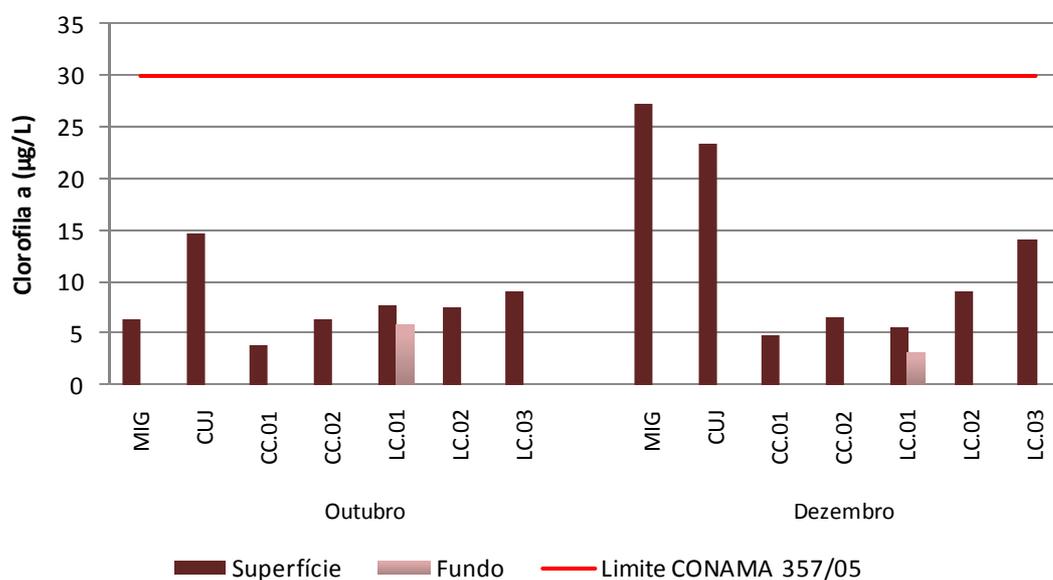


Figura 5.1-189 - Concentrações de clorofila *a* nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

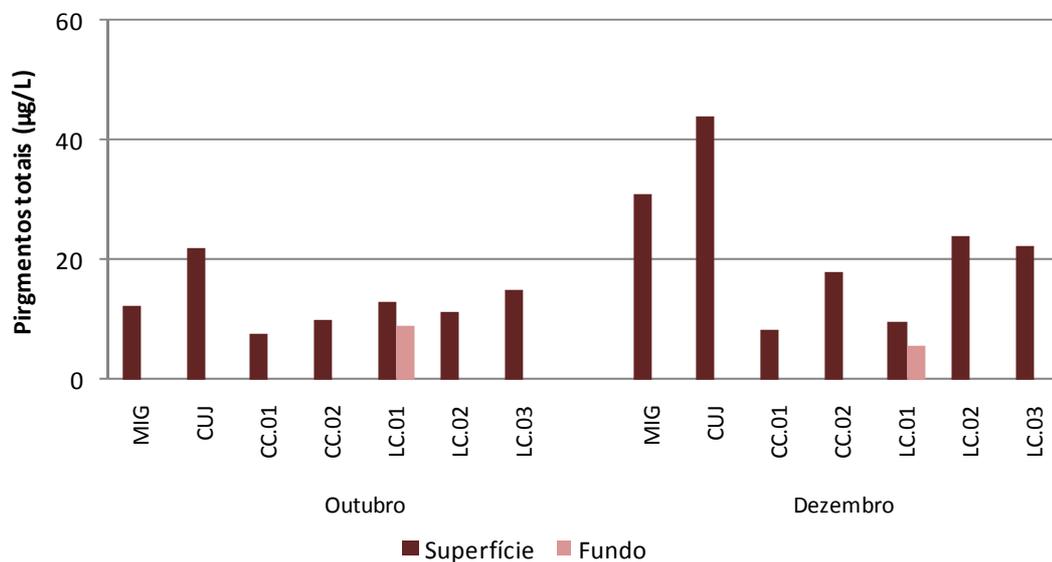


Figura 5.1-190 - Concentrações de pigmentos totais nos lagos e canais, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011.

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” (δ), que expressa o desvio relativo do valor obtido numa amostra comparada com o padrão, em partes por mil. Os resultados são calculados pela equação:

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

onde, utilizando C e N como exemplos, $X = ^{13}\text{C}$ ou ^{15}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 δ 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 CO_2 atmosférico é considerado homogêneo, tendo sofrido um decréscimo de quase 1‰ nos últimos 30 anos devido ao incremento em CO_2 leve (pobre em ^{13}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 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 agosto, na qual não foi apresentada no último relatório do Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio e dados referente à campanha do mês de outubro. Os resultados da campanha do mês de dezembro 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 $-29,6 \pm 2,37 \text{ ‰}$, $-28,6 \pm 2,37 \text{ ‰}$ (média \pm DP), para meses de agosto de 2011 e outubro de 2011, respectivamente (**Figura 5.1-191**). As estações do rio Madeira (MON.03, MON.01, JUS.01 e JUS.02) registraram média $-26,9 \pm 0,89 \text{ ‰}$, a matéria orgânica presente nesses ambientes apresentou assinatura isotópica semelhante à de plantas C3 terrestres (-26 a -28 ‰ , 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 de $-30,8 \pm 1,9 \text{ ‰}$. 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, que valores mais negativos (até -47 ‰) 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 $1,66 \pm 1,15 \text{ ‰}$ e $3,78 \pm 1,42 \text{ ‰}$ (média \pm DP), para o mês de agosto de 2011 e outubro de 2011, respectivamente. Comparado com os valores de $\delta^{13}\text{C}$, houve uma maior variação do $\delta^{15}\text{N}$ entre os sistemas amostrados (**Figura 5.1-192**). 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.

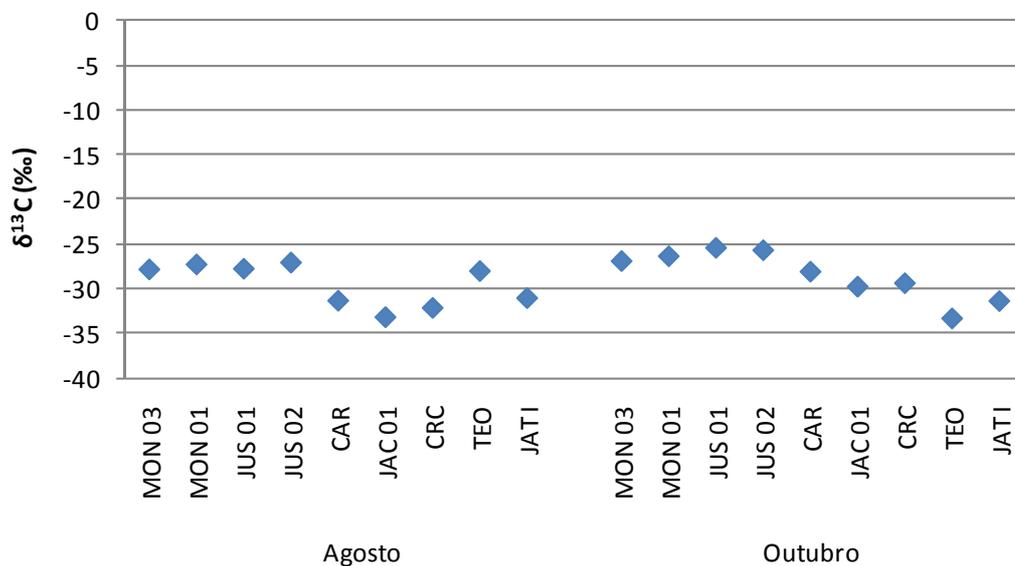


Figura 5.1-191 - Razão isotópica do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) nos ambientes amostrados no rio Madeira e nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre julho de 2010 e novembro de 2011.

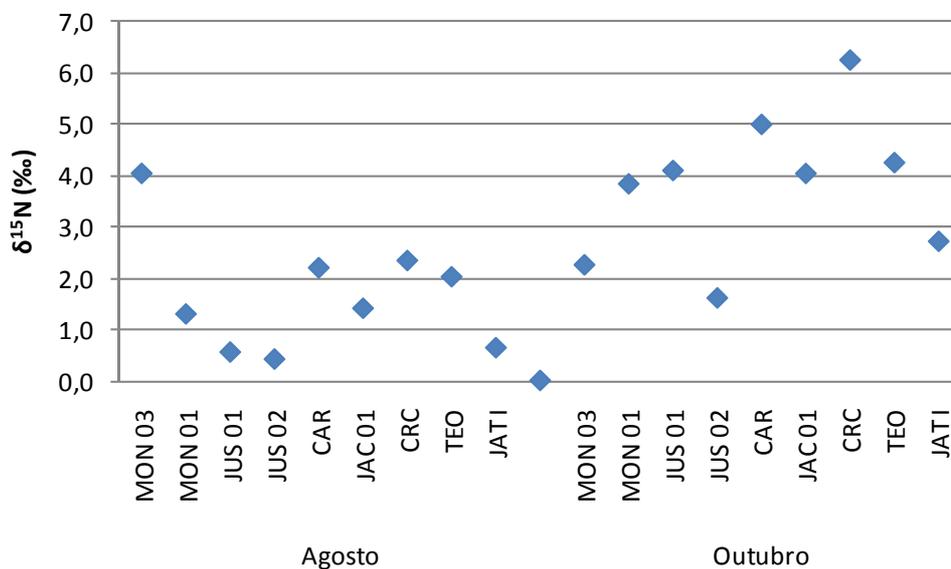


Figura 5.1-192 - Razão isotópica do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) nos ambientes amostrados no rio Madeira e nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

5.1.11 - Índices

5.1.11.1 - Índice de estado trófico (IET)

O IET do rio Madeira foi elevado, variando de supereutrófico (estações a jusante) a eutrófico (estações a montante) em janeiro de 2012. IET eutrófico também foi observado em todas as estações nos meses de outubro e dezembro de 2011. Contudo, no mês de novembro de 2011 o IET foi mesotrófico em grande parte das estações amostradas. O índice de estado trófico aqui descrito não é um bom definidor das características tróficas deste ambiente. Apesar de ter muito fósforo no rio Madeira, e este fósforo ter origem natural, a maior parte do fósforo 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, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

| Outubro | | | Novembro | | |
|----------|----------------|---------|----------|----------------|---------|
| IET | Estado Trófico | Estação | IET | Estado Trófico | Estação |
| 61 | EUTRÓFICO | MON.05 | 61 | EUTRÓFICO | MON.05 |
| 61 | EUTRÓFICO | MON.04 | 60 | EUTRÓFICO | MON.04 |
| 60 | EUTRÓFICO | MON.03 | 57 | MESOTRÓFICO | MON.03 |
| 60 | EUTRÓFICO | MON.02 | 56 | MESOTRÓFICO | MON.02 |
| 60 | EUTRÓFICO | MON.01 | 58 | MESOTRÓFICO | MON.01 |
| 62 | EUTRÓFICO | JUS.01 | 55 | MESOTRÓFICO | JUS.01 |
| 60 | EUTRÓFICO | JUS.02 | 61 | EUTRÓFICO | JUS.02 |
| 60 | EUTRÓFICO | JUS.03 | 57 | MESOTRÓFICO | JUS.03 |
| Dezembro | | | Janeiro | | |
| IET | Estado Trófico | Estação | IET | Estado Trófico | Estação |
| 61 | EUTRÓFICO | MON.05 | 60 | EUTRÓFICO | MON.05 |
| 61 | EUTRÓFICO | MON.04 | 59 | EUTRÓFICO | MON.04 |
| 60 | EUTRÓFICO | MON.03 | 60 | EUTRÓFICO | MON.03 |
| 60 | EUTRÓFICO | MON.02 | 60 | EUTRÓFICO | MON.02 |
| 60 | EUTRÓFICO | MON.01 | 63 | EUTRÓFICO | MON.01 |
| 59 | EUTRÓFICO | JUS.01 | 64 | SUPEREUTRÓFICO | JUS.01 |
| 59 | EUTRÓFICO | JUS.02 | 64 | SUPEREUTRÓFICO | JUS.02 |
| 63 | EUTRÓFICO | JUS.03 | 64 | SUPEREUTRÓFICO | JUS.03 |

O IET dos rios tributários variou entre oligotrófico (CAR e CRC) e supereutrófico (JAC.02, JAC.03, CEA.01, CEA e JAT I.01) (Quadro 5.1-3). A supereutrofia em CEA deveu-se às altas concentrações de fósforo total, ao passo que na estação JAC.02, JAC.03, JAT I.01 e CEA.01 estiveram relacionadas às altas concentrações de clorofila *a*.

Quadro 5.1-3 - Índice de Estado Trófico (IET) nos tributários, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012. As estações de jusante (JAT II, BEL e JAM) não foram amostradas em novembro e janeiro.

| | | Outubro | | Novembro | |
|-----|----------------|----------|-----|----------------|----------|
| IET | Estado Trófico | Estação | IET | Estado Trófico | Estação |
| 59 | EUTRÓFICO | CAR | 55 | MESOTRÓFICO | CAR |
| 58 | MESOTRÓFICO | JAC.01 | 58 | MESOTRÓFICO | JAC.01 |
| 57 | MESOTRÓFICO | JAC.02 | 64 | SUPEREUTRÓFICO | JAC.02 |
| 57 | MESOTRÓFICO | JAC.03 | 64 | SUPEREUTRÓFICO | JAC.03 |
| 59 | MESOTRÓFICO | CRC | 51 | OLIGOTRÓFICO | CRC |
| 58 | MESOTRÓFICO | TEO | 60 | EUTRÓFICO | TEO |
| 57 | MESOTRÓFICO | TEO.01 | 54 | MESOTRÓFICO | TEO.01 |
| 61 | EUTRÓFICO | JAT I | 62 | EUTRÓFICO | JAT I |
| 57 | MESOTRÓFICO | JAT I.01 | 56 | MESOTRÓFICO | JAT I.01 |
| 60 | EUTRÓFICO | JAT II | | | |
| 58 | MESOTRÓFICO | BEL | | | |
| 59 | MESOTRÓFICO | JAM | | | |
| | | Dezembro | | Janeiro | |
| IET | Estado Trófico | Estação | IET | Estado Trófico | Estação |
| 52 | OLIGOTRÓFICO | CAR | 52 | OLIGOTRÓFICO | CAR |
| 57 | MESOTRÓFICO | JAC.01 | 55 | MESOTRÓFICO | JAC.01 |
| 56 | MESOTRÓFICO | JAC.02 | 55 | MESOTRÓFICO | JAC.02 |
| 60 | EUTRÓFICO | JAC.03 | 57 | MESOTRÓFICO | JAC.03 |
| 62 | EUTRÓFICO | CRC | 58 | MESOTRÓFICO | CRC |
| 58 | MESOTRÓFICO | TEO | 59 | EUTRÓFICO | TEO |
| 61 | EUTRÓFICO | TEO.01 | 60 | EUTRÓFICO | TEO.01 |
| 58 | MESOTRÓFICO | JAT I | 62 | EUTRÓFICO | JAT I |
| 57 | MESOTRÓFICO | JAT I.01 | 64 | SUPEREUTRÓFICO | JAT I.01 |
| 58 | MESOTRÓFICO | JAT II | 64 | SUPEREUTRÓFICO | CEA |
| 58 | MESOTRÓFICO | BEL | 60 | EUTRÓFICO | CEA.01 |
| 55 | MESOTRÓFICO | JAM | | | |
| 61 | EUTRÓFICO | CEA | | | |
| 63 | SUPEREUTRÓFICO | CEA.01 | | | |

O estado trófico predominante nos lagos e canais foi o mesotrófico. Somente as estações MIG e CUJ apresentaram estado trófico diferente (eutrófico), 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, durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

| | Outubro | | | Dezembro | |
|-----|----------------|---------|-----|----------------|---------|
| IET | Estado Trófico | Estação | IET | Estado Trófico | Estação |
| 60 | EUTRÓFICO | MIG | 61 | EUTRÓFICO | MIG |
| 60 | EUTRÓFICO | CUJ | 59 | MESOTRÓFICO | CUJ |
| 58 | MESOTRÓFICO | CC.01 | 58 | MESOTRÓFICO | CC.01 |
| 57 | MESOTRÓFICO | CC.02 | 57 | MESOTRÓFICO | CC.02 |
| 57 | MESOTRÓFICO | LC.01 | 54 | MESOTRÓFICO | LC.01 |
| 58 | MESOTRÓFICO | LC.02 | 59 | MESOTRÓFICO | LC.02 |
| 59 | MESOTRÓFICO | LC.03 | 55 | 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 naturalmente 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 contribuiram para o prevailecimento de uma boa qualidade da água.

Quadro 5.1-5 - Índice de Qualidade da Água (IQA) no rio Madeira, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

| | Outubro | | Dezembro | |
|---------|---------|-----|----------|-----|
| Estação | IQA | | IQA | |
| MON.05 | 67 | BOA | 63 | BOA |
| MON.04 | 67 | BOA | 63 | BOA |
| MON.03 | 69 | BOA | 60 | BOA |
| MON.02 | 68 | BOA | 64 | BOA |
| MON.01 | 68 | BOA | 67 | BOA |
| JUS.01 | 67 | BOA | 64 | BOA |
| JUS.02 | 67 | BOA | 65 | BOA |
| JUS.03 | 63 | BOA | 64 | BOA |

Nos rios tributários, a qualidade da água foi BOA na maior parte das estações, tendo sido ACEITÁVEL nas estações TEO.01 e BEL (Quadro 5.1-6). Os baixos valores de saturação de oxigênio nos tributários favoreceram essa situação. Ecossistemas aquáticos amazônicos comumente apresentam baixas concentrações de oxigênio (Melack & Fisher, 1983).

Quadro 5.1-6 - Índice de Qualidade da Água (IQA) nos tributários, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012. As estações CEA e CEA.01 não foram amostradas em outubro.

| Estação | Outubro | | Dezembro | |
|----------|---------|-----------|----------|-------|
| | IQA | | IQA | |
| CAR | 71 | BOA | 65 | BOA |
| JAC.01 | 73 | BOA | 68 | BOA |
| JAC.02 | 72 | BOA | 65 | BOA |
| JAC.03 | 77 | BOA | 79 | BOA |
| CRC | 76 | BOA | 85 | ÓTIMA |
| TEO | 53 | BOA | 66 | BOA |
| TEO.01 | 48 | ACEITÁVEL | 65 | BOA |
| JAT I | 51 | BOA | 67 | BOA |
| JAT I.01 | 70 | BOA | 65 | BOA |
| JAT II | 59 | BOA | 66 | BOA |
| BEL | 47 | ACEITÁVEL | 59 | BOA |
| JAM | 82 | ÓTIMA | 77 | BOA |
| CEA | | | 64 | BOA |
| CEA.01 | | | 64 | BOA |

A qualidade da água dos lagos e canais situou-se entre RUIM (LC.02) e ÓTIMA (CUJ) (Quadro 5.1-7). As baixas concentrações de oxigênio dissolvido e altas concentrações de nitrato e fósforo total contribuíram para uma pior qualidade da água em LC.02.

Quadro 5.1-7 - Índice de Qualidade da Água (IQA) nos lagos e canais, entre os meses de outubro de 2011 e janeiro de 2012

| Estação | Outubro | | Dezembro | |
|---------|---------|-----|----------|-----------|
| | IQA | | IQA | |
| MIG | 61 | BOA | 71 | BOA |
| CUJ | 73 | BOA | 82 | ÓTIMA |
| CC.01 | 69 | BOA | 51 | ACEITÁVEL |
| CC.02 | 73 | BOA | 67 | BOA |
| LC.01 | 77 | BOA | 73 | BOA |
| LC.02 | 59 | BOA | 29 | RUIM |
| LC.03 | 79 | BOA | 68 | BOA |

5.1.11.3 - Avaliação da qualidade da água nos pontos de captação para abastecimento público

De acordo com o artigo 40 da Portaria MS nº 2914/2011 as estações de captação de água para abastecimento público devem ser monitoradas semestralmente para as variáveis indicadas pela Resolução CONAMA 357/2005 e mensalmente para avaliação da densidade de cianobactérias, quando a densidade não exceder 10.000 cel/mL; e semanal, quando o número de cianobactérias exceder este valor. Dessa forma, os resultados obtidos na análise da qualidade da água nas estações PCT, no igarapé Bate-Estacas, e PCM, no rio Madeira, no mês de outubro de 2011 (monitoramento semestral) são apresentados no **Quadro 5.1-8**.

Na estação PCM, somente o ferro dissolvido, o manganês e a turbidez apresentaram resultados em desacordo com o limite estipulado para corpos de água doce de Classe 2, segundo a Resolução CONAMA 357/2005. No rio Madeira, é comum que concentrações de metais, como o ferro e o manganês, sejam elevadas, além de ser um rio bastante turbido, em função de seus rios formadores drenarem terrenos geologicamente recentes. Por outro lado, na estação PCT, as variáveis cor, ferro dissolvido, fósforo total, oxigênio dissolvido e turbidez apresentaram resultados que não atenderam aos seus respectivos limites preconizados pela referida resolução. Isso, no entanto, está possivelmente ligado a fatores naturais do igarapé Bate-Estacas, onde o aporte de matéria orgânica terrestre é provavelmente elevado, elevando a cor da água e diminuindo as concentrações de oxigênio. Em ambas as estações de captação as densidades de cianobactérias foram inferiores ao limite de detecção do método analítico ou foram menores que 10.000 cel/mL (**Quadro 5.1-9**). Os resultados mostram, portanto, bom atendimento aos limites estabelecidos pela legislação ambiental tanto na estação PCM como na PCT.

Quadro 5.1-8 - Variáveis amostradas nos pontos de captação do igarapé Bate-Estacas (PCT) e do rio Madeira (PCM) no mês de outubro de 2011. Os valores marcados em vermelho indicam resultados em não conformidade com a Resolução CONAMA 357/2005 para corpos de água doce de Classe 2.

| Variável | Unidade | PCT | PCM | Limite CONAMA 357/2005 |
|---------------------|---------|------------|------------|------------------------|
| Data Coleta | - | 26/10/2011 | 26/10/2011 | - |
| 1,1-Dicloroetano | mg/L | < 0,001 | < 0,001 | 0,01 |
| 1,2-Dicloroetano | mg/L | < 0,001 | < 0,001 | 0,003 |
| 2,4,5-T | µg/L | < 0,005 | < 0,005 | 2 |
| 2,4,5-TP | µg/L | < 0,005 | < 0,005 | 10 |
| 2,4,6-Triclorofenol | mg/L | < 0,001 | < 0,001 | 0,01 |
| 2,4-D | µg/L | < 0,1 | < 0,1 | 4 |
| 2,4-Diclorofenol | µg/L | < 0,1 | < 0,1 | 0,3 |

UHE SANTO ANTONIO NO RIO MADEIRA

2382-00-MLM-RL-0011-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 11
(Relatório Consolidado do Enchimento)

| Variável | Unidade | PCT | PCM | Limite CONAMA 357/2005 |
|--------------------------------------|-----------|----------|----------|---------------------------|
| 2-Clorofenol | µg/L | < 0,1 | < 0,1 | 0,1 |
| Acrilamida | µg/L | < 0,1 | < 0,1 | 0,5 |
| Alaclor | µg/L | < 0,005 | < 0,005 | 20 |
| Aldrin + Dieldrin | µg/L | < 0,005 | < 0,005 | 0,005 |
| Alumínio Dissolvido | mg/L | 0,053 | 0,0723 | 0,1 |
| Antimônio | mg/L | < 0,0001 | < 0,0001 | 0,005 |
| Arsênio | mg/L | < 0,0001 | < 0,0001 | 0,01 |
| Atrazina | µg/L | < 0,01 | < 0,01 | 2 |
| Bário | mg/L | 0,0133 | 0,0455 | 0,7 |
| Benzeno | mg/L | < 0,001 | < 0,001 | 0,005 |
| Benzo(a)antraceno | µg/L | < 0,05 | < 0,05 | 0,05 |
| Benzo(a)pireno | µg/L | < 0,05 | < 0,05 | 0,05 |
| Benzo(b)fluoranteno | µg/L | < 0,05 | < 0,05 | 0,05 |
| Benzo(k)fluoranteno | µg/L | < 0,05 | < 0,05 | 0,05 |
| Berílio | mg/L | < 0,0001 | < 0,0001 | 0,04 |
| Boro | mg/L | 0,0185 | 0,0046 | 0,5 |
| Cádmio | mg/L | < 0,0001 | < 0,0001 | 0,001 |
| Carbaril | µg/L | < 0,02 | < 0,02 | 0,2 |
| Chumbo | mg/L | < 0,0005 | < 0,0005 | 0,01 |
| Cianeto Livre | mg/L | < 0,001 | < 0,001 | 0,005 |
| Cianobactérias | µg/L | <3 | <3 | |
| Clordano (cis e trans) | µg/L | < 0,02 | < 0,02 | 0,04 |
| Cloreto | mg/L | 6,1 | 2,8 | 250 |
| Cloro Residual | mg/L | < 0,01 | < 0,01 | 0,01 |
| Clorofila a | µg/L | 2,8 | 4,7 | 30 |
| Cobalto | mg/L | < 0,0001 | < 0,0001 | 0,05 |
| Cobre Dissolvido | mg/L | < 0,0001 | < 0,0001 | 0,009 |
| Coliformes fecais | NMP/100ml | 1986,3 | 67 | |
| Coliformes totais | NMP/100ml | >2419,6 | >2419,6 | |
| Condutividade elétrica | µS/cm | 87 | 120 | |
| Cor | mg Pt/L | 191,7 | 37,3 | 75 |
| Corantes Artificiais | | Ausentes | Ausentes | |
| Criseno | µg/L | < 0,05 | < 0,05 | 0,05 |
| Cromo | mg/L | < 0,0001 | < 0,0001 | 0,05 |
| Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) | mg/L | 2,5 | 0,3 | 5 |
| Demanda química de oxigênio (DQO) | mg/L | 29,2 | 16,6 | |
| Demeton (Demeton-O e Demeton-S) | µg/L | < 0,06 | < 0,06 | 0,1 |
| Dibenzo(a,h)antraceno | µg/L | < 0,05 | < 0,05 | 0,05 |
| Diclorometano | mg/L | < 0,001 | < 0,001 | 0,02 |

| Variável | Unidade | PCT | PCM | Limite CONAMA 357/2005 |
|----------------------------------|---------|----------|----------|---------------------------|
| Dodecacloropentaciclodecano | µg/L | < 0,001 | < 0,001 | 0,001 |
| Endossulfan (a, b e sulfato) | µg/L | < 0,009 | < 0,009 | 0,056 |
| Endrin | µg/L | < 0,003 | < 0,003 | 0,004 |
| Estireno | mg/L | < 0,001 | < 0,001 | 0,02 |
| Etilbenzeno | µg/L | < 1 | < 1 | 90 |
| Ferro Dissolvido | mg/L | 0,4741 | 0,5527 | 0,3 |
| Fluoreto | mg/L | < 0,1 | 0,2 | 1,4 |
| Fósforo orgânico dissolvido | µg/L | 2,5 | 10,8 | |
| Fósforo orgânico total | µg/L | 87,7 | 64,5 | |
| Fósforo particulado | µg/L | 85,2 | 53,7 | |
| Fósforo total | µg/L | 110,4 | 91,9 | 100 |
| Fósforo total dissolvido | µg/L | 25,1 | 38,2 | |
| Glifosato | µg/L | < 10 | < 10 | 65 |
| Gution | µg/L | < 0,004 | < 0,004 | 0,005 |
| Heptacloro e Heptacloro Epóxido | µg/L | < 0,01 | < 0,01 | 0,01 |
| Hexaclorobenzeno | µg/L | < 0,005 | < 0,005 | 0,0065 |
| Indeno(1,2,3,cd)pireno | µg/L | < 0,05 | < 0,05 | 0,05 |
| Índice de Fenóis | mg/L | < 0,001 | < 0,001 | 0,003 |
| Lindano (g-HCH) | µg/L | < 0,003 | < 0,003 | 2 |
| Lítio | mg/L | < 0,0005 | 0,0014 | 2,5 |
| Malation | µg/L | < 0,01 | < 0,01 | 100 |
| Manganês | mg/L | 0,0211 | 0,146 | 0,1 |
| Materiais Flutuantes | | Ausentes | Ausentes | Ausentes |
| Mercúrio | mg/L | < 0,0001 | < 0,0001 | 0,0002 |
| Metolacloro | µg/L | < 0,05 | < 0,05 | 10 |
| Metoxicloro | µg/L | < 0,01 | < 0,01 | 0,03 |
| Níquel | mg/L | < 0,0001 | < 0,0001 | 0,025 |
| Nitrato | µg/L | 388,2 | 1256,3 | 10000 |
| Nitrito | µg/L | 1,8 | 68,1 | 1000 |
| Nitrogênio amoniacal | µg/L | 37,3 | 164,4 | 3700 |
| Nitrogênio inorgânico dissolvido | µg/L | 427,2 | 1488,9 | |
| Nitrogênio orgânico dissolvido | µg/L | 694,9 | 388,9 | |
| Nitrogênio orgânico total | µg/L | 1122,5 | 628,6 | |
| Nitrogênio particulado | µg/L | 427,6 | 239,6 | |
| Nitrogênio total | µg/L | 1549,7 | 2117,4 | |
| Nitrogênio total dissolvido | µg/L | 1122,2 | 1877,8 | |
| Óleos e Graxas Visíveis | | Ausentes | Ausentes | Ausentes |
| Ortofosfato | µg/L | 22,7 | 27,4 | |
| Oxigênio concentração | mg/L | 3,1 | 6,5 | <5 |

UHE SANTO ANTONIO NO RIO MADEIRA

2382-00-MLM-RL-0011-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 11
(Relatório Consolidado do Enchimento)

| Variável | Unidade | PCT | PCM | Limite CONAMA 357/2005 |
|---|---------|----------|----------|---------------------------|
| Oxigênio saturação | % | 39,4 | 86 | |
| p,p'-DDT + p,p'-DDD + p,p'-DDE | µg/L | < 0,002 | < 0,002 | 0,002 |
| Paration | µg/L | < 0,04 | < 0,04 | 0,04 |
| PCB's - Bifenilas Policloradas | µg/L | < 0,001 | < 0,001 | 0,001 |
| Pentaclorofenol | mg/L | < 1E-5 | < 1E-5 | 0,009 |
| Pigmentos totais | µg/L | 4,5 | 7,6 | |
| Potencial hidrogeniônico | µg/L | 6,4 | 7,3 | 6<pH<9 |
| Prata | mg/L | < 0,0001 | < 0,0001 | 0,01 |
| Profundidade | m | 2,1 | 7,2 | |
| Resíduos Sólidos Objetáveis | | Ausentes | Ausentes | Ausentes |
| Selênio | mg/L | < 0,0005 | < 0,0005 | 0,01 |
| Silicatos reativos | mg/L | 11,2 | 6,5 | |
| Simazina | µg/L | < 0,05 | < 0,05 | 2 |
| Sólidos Dissolvidos Totais | mg/L | 142 | 102 | 500 |
| Sólidos fixos | mg/L | 184 | 126 | |
| Sólidos totais | mg/L | 233 | 220 | |
| Sólidos voláteis | mg/L | 49 | 94 | |
| Substâncias que Comunicam Odor | | Ausentes | Ausentes | Ausentes |
| Sulfato | mg/L | 7,7 | 16,3 | 250 |
| Sulfetos (como H ₂ S não dissociado) | mg/L | < 0,002 | < 0,002 | 0,002 |
| Surfactantes (como LAS) | mg/L | 0,43 | 0,42 | 0,5 |
| Temperatura da água | oC | 27,3 | 30,1 | |
| Temperatura do ar | oC | 39,4 | 30,4 | |
| Tetracloroeto de Carbono | mg/L | < 0,001 | < 0,001 | 0,002 |
| Tetracloroeteno | mg/L | < 0,001 | < 0,001 | 0,01 |
| Tolueno | µg/L | < 1 | < 1 | 2 |
| Toxafeno | µg/L | < 0,01 | < 0,01 | 0,01 |
| Transparência | m | 0,1 | 0,1 | |
| Triclorobenzenos | mg/L | < 0,003 | < 0,003 | 0,02 |
| Tricloroeteno | mg/L | < 0,001 | < 0,001 | 0,03 |
| Trifluralina | µg/L | < 0,05 | < 0,05 | 0,2 |
| Turbidez | NTU | 199,1 | 166,2 | 100 |
| Urânio | mg/L | 0,0042 | < 0,001 | 0,02 |
| Vanádio | mg/L | 0,005 | < 0,0005 | 0,1 |
| Xilenos | µg/L | < 3 | < 3 | 300 |
| Zinco | mg/L | 0,0172 | < 0,0001 | 0,18 |

Quadro 5.1-9 - Densidade de cianobactérias (cel/mL) amostradas mensalmente nos pontos de captação do igarapé Bate-Estacas (PCT) e do rio Madeira (PCM) nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2011 e janeiro de 2012.

| | PCM | PCT |
|--------|--------|-----|
| | cel/mL | |
| out/11 | < 3 | < 3 |
| nov/11 | < 3 | 24 |
| dez/11 | < 3 | 49 |
| jan/12 | < 3 | < 3 |

5.1.11.4 - Ordenação espacial das variáveis limnológicas

Foi utilizada a Análise de Componente Principal (ACP) para caracterizar e identificar as estações de coleta de acordo com as variáveis limnológicas, sendo que as estações foram analisadas separadamente entre os compartimentos (rio Madeira, Tributários e Lagos e Canais).

No rio Madeira, os dois primeiros eixos da ACP explicaram 72% da variabilidade dos dados. As estações amostradas no meses de novembro de 2011 e dezembro de 2011 foram as que mais se assemelharam entre si, onde as estações estiveram fortemente ligadas à DBO. As estações no mês de janeiro de 2012 ficaram agrupadas no terceiro quadrante da ACP, e estiveram positivamente relacionadas com fósforo total (PT) e sólidos totais (ST). As concentrações de PT e ST são maiores nesse período, quando o carreamento de material da bacia de drenagem é maior. As estações no mês de outubro ficaram agrupadas no segundo quadrante e estiveram positivamente relacionadas com o ortofosfato, alcalinidade, o pH, o oxigênio dissolvido e o carbono total (Figura 5.1-193).

Nos tributários, houve maior variabilidade espacial, haja vista, que trata-se de ambientes diferentes e desconectados. As estações TEO, JAT I e CEA, que estão em braços do reservatório recém formado, ficaram agrupadas no quarto quadrante, nos meses de dezembro de 2011 e janeiro de 2012 e estiveram positivamente relacionadas com a sílica (SIL), temperatura da água (TH2O), fósforo total (PT), o pH, carbono total (CT), alcalinidade (ALC), nitrogênio total (NT), nitrogênio total dissolvido (NID) e condutividade (COND), variáveis características do rio Madeira. Em relação ao restante das estações, em janeiro de 2012 se agruparam no primeiro quadrante e estiveram relacionadas positivamente com o ortofosfato (ORTO-P), em outubro, novembro e dezembro de 2011 se agruparam no segundo e terceiro quadrante e estiveram relacionadas

positivamente com a DBO, o oxigênio dissolvido (OD), sólidos totais (ST), clorofila *a* (CLA) e transparência (SECCHI).

Nos lagos e canais, a estação que apresentou, nos meses amostrados, característica mais distinta nos lagos e canais foi LC.02, que se localizou no primeiro quadrante. As estações no mês de dezembro de 2011 ficaram agrupadas no segundo quadrante da ACP, estiveram positivamente relacionadas com carbono total (CT), acalinalidade (ALC), clorofila (CLA) e transparência (SECCHI). As estações no mês de outubro ficaram agrupadas terceiro e quarto quadrante e estiveram positivamente relacionadas com o ortofosfato (ORTO-P), sílicia (SIL), temperatura da água (TH20), fósforo total (PT), o pH, o oxigênio dissolvido (OD) e o carbono total (CT) (Figura 5.1-194).

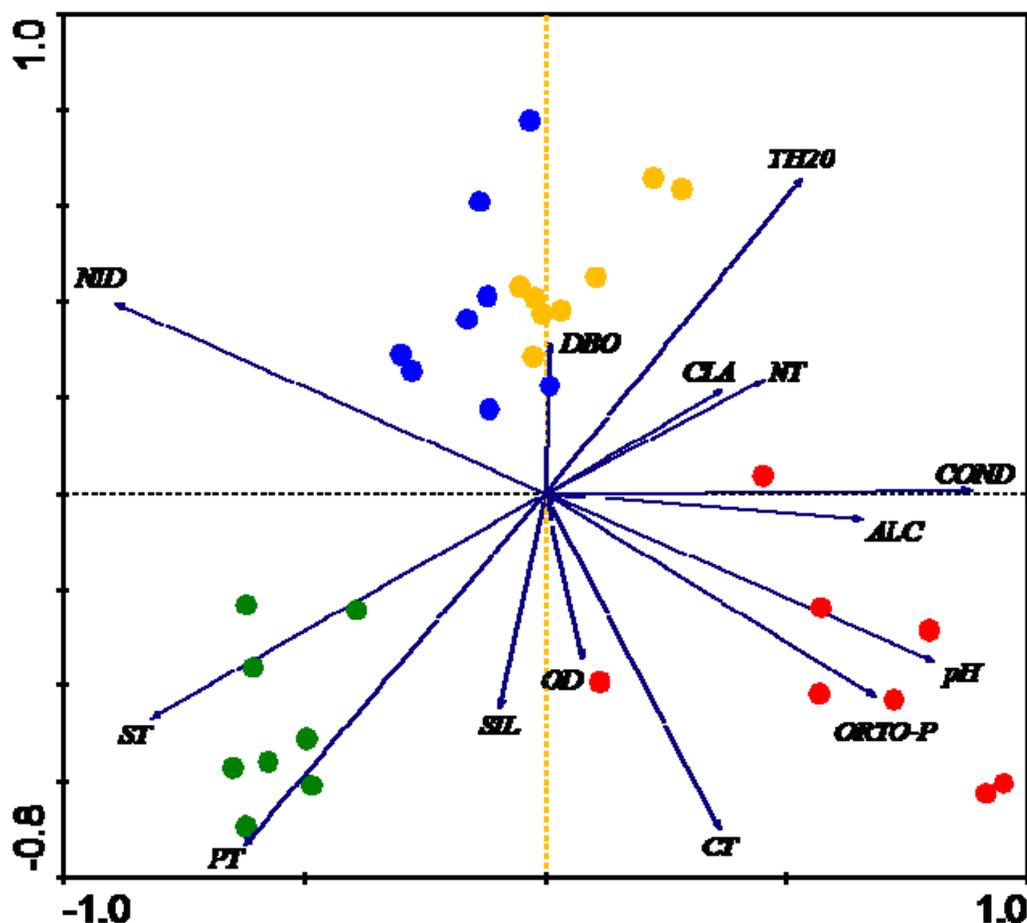


Figura 5.1-193 - Posição das estações de coleta do rio Madeira durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 (bolas vermelhas), novembro de 2011 (bolas amarelas), dezembro de 2011 (bolas azuis) e janeiro de 2012 (bolas verdes), ordenadas de acordo com os dois primeiros eixos da ACP. A explicabilidade dos dois primeiros eixos foi de 72,2% (Eixo 1: 49,8%; Eixo 2: 22,4%). As siglas significam: TH20: temperatura da água; SECCHI: Transparência; 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*.

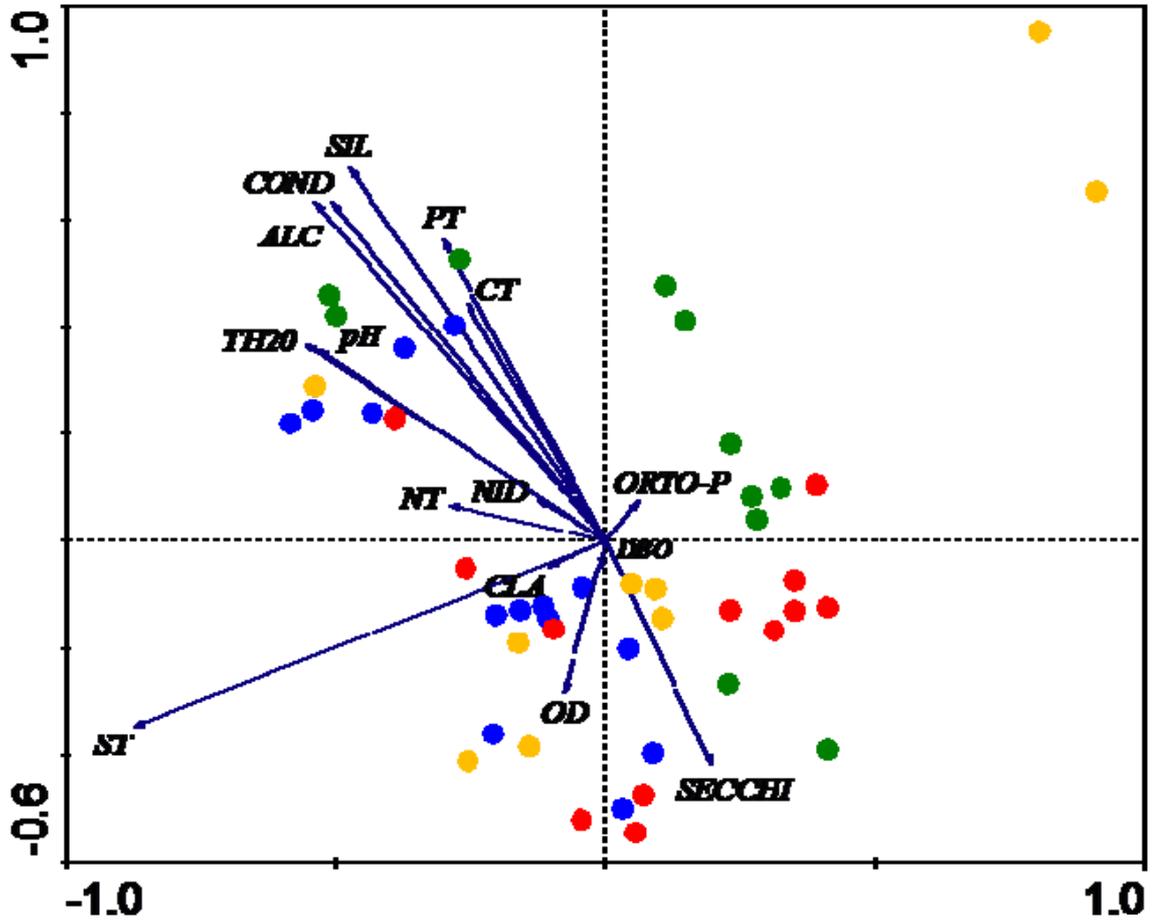


Figura 5.1-194 - Posição das estações de coleta dos tributários durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 (bolas vermelhas), novembro de 2011 (bolas amarelas), dezembro de 2011 (bolas azuis) e janeiro de 2012 (bolas verdes), ordenadas de acordo com os dois primeiros eixos da ACP. A explicabilidade dos dois primeiros eixos foi de 58,3% (Eixo 1: 36,2%; Eixo 2: 22,1%). As siglas significam: TH20: temperatura da água; SECCHI: Transparência; 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*.

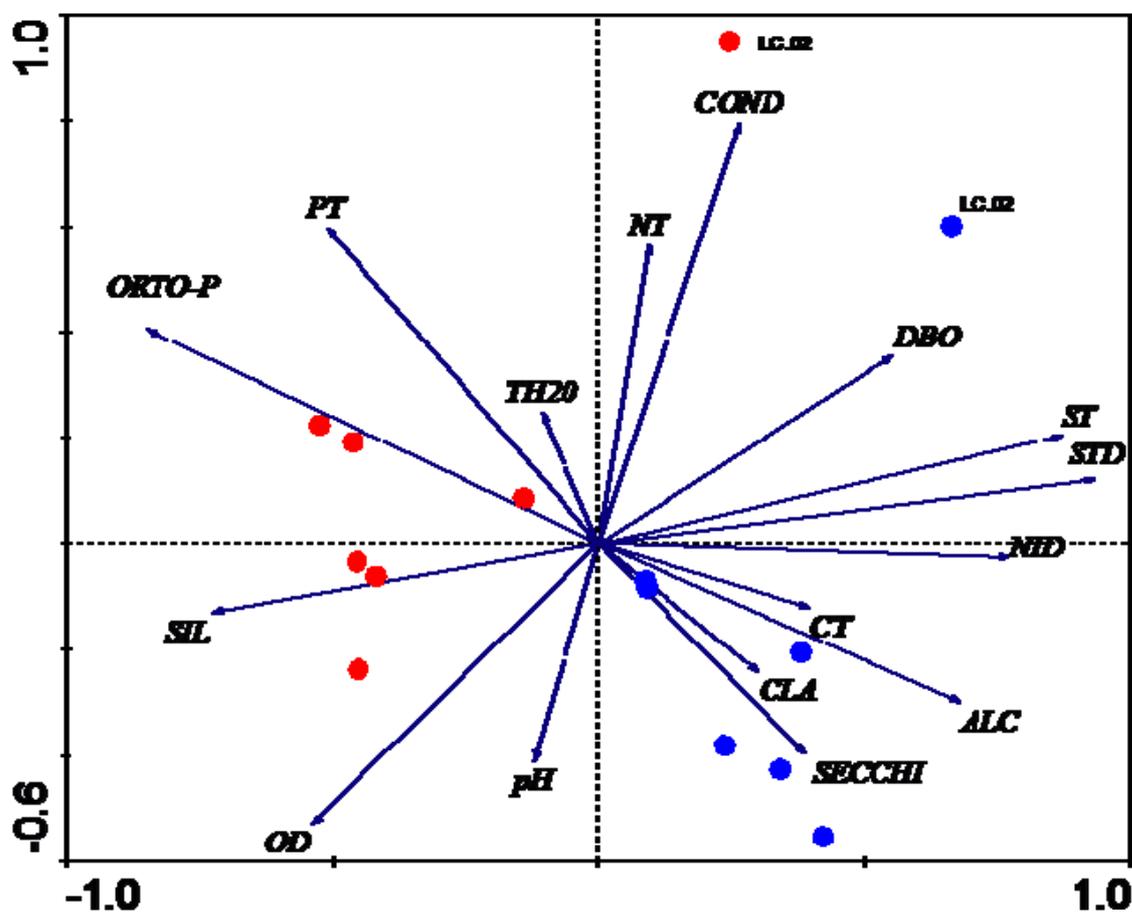


Figura 5.1-195 - Posição das estações de coleta dos lagos e canais durante o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nos meses de outubro de 2011 (bolas vermelhas) e dezembro de 2011 (bolas azuis), ordenadas de acordo com os dois primeiros eixos da ACP. A explicabilidade dos dois primeiros eixos foi de 66,7% (Eixo 1: 51,2%; Eixo 2: 15,5%). As siglas significam: TH20: temperatura da água; SECCHI: Transparência; 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*.