

ÍNDICE

5 - Resultados	1/138
5.1 - Abióticos	1/138
5.1.1 - Físicas A e B.....	2/138
5.1.1.1 - Temperatura do ar e da água	2/138
5.1.1.2 - Profundidade, transparência, cor e velocidade de corrente.....	8/138
5.1.2 - Físicas C.....	14/138
5.1.2.1 - Turbidez.....	14/138
5.1.2.2 - Sólidos em suspensão, Sólidos totais dissolvidos, Sólidos totais, Sólidos fixos, Sólidos voláteis	21/138
5.1.3 - Físico-químicas	30/138
5.1.3.1 - Condutividade elétrica.....	30/138
5.1.3.2 - Potencial hidrogeniônico (pH)	37/138
5.1.4 - Químicas I-A.....	43/138
5.1.4.1 - Oxigênio - concentração	43/138
5.1.5 - Químicas I-B.....	50/138
5.1.5.1 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO ₅)	50/138
5.1.6 - Química I-C.....	52/138
5.1.6.1 - Demanda química de oxigênio (DQO)	52/138
5.1.7 - Química I-D.....	54/138
5.1.7.1 - Carbono inorgânico, Carbono orgânico total, Carbono total, Carbono orgânico refratário e Carbono orgânico dissolvido.....	54/138
5.1.8 - Química II.....	62/138

5.1.8.1 -	Sistema tampão (Alcalinidade, Dureza e Dureza devido ao cálcio e magnésio)	62/138
5.1.9 -	Químicas III.....	70/138
5.1.9.1 -	Íons principais (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-)	70/138
5.1.10 -	Químicas IV.....	81/138
5.1.10.1 -	Conteúdo nutricional: Nitrogênio (Nitrogênio amoniacal, Nitrito, Nitrato, Nitrogênio inorgânico dissolvido, Nitrogênio orgânico dissolvido, Nitrogênio total dissolvido, Nitrogênio orgânico total e Nitrogênio particulado, Nitrogênio total)	81/138
5.1.10.2 -	Conteúdo nutricional: Fósforo (Ortofosfato, Fósforo total dissolvido, Fósforo total, Fósforo orgânico dissolvido, Fósforo orgânico total e Fósforo particulado).....	96/138
5.1.10.3 -	Conteúdo nutricional: Silicatos reativos	108/138
5.1.11 -	Químicas V.....	110/138
5.1.11.1 -	Óleos e graxas	110/138
5.1.11.2 -	Ferro	110/138
5.1.12 -	Químicas VI.....	113/138
5.1.12.1 -	Elementos-traço.....	113/138
5.1.13 -	Biológicas	126/138
5.1.13.1 -	Coliformes totais e Escherichia coli.....	126/138
5.1.13.2 -	Clorofila <i>a</i> e pigmentos totais.....	130/138
5.1.13.3 -	Fracionamento isotópico ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$).....	133/138
5.1.14 -	Índices	133/138
5.1.14.1 -	Índice de estado trófico (IET)	133/138
5.1.14.2 -	Índice de qualidade da água (IQA)	135/138
5.1.14.3 -	Ordenação espacial das variáveis limnológicas	137/138

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 monomodal possibilita o estabelecimento criterioso das datas dos trabalhos de campo, em função das variações no nível do rio, em quatro períodos hidrológicos distintos: vazante, águas baixas, enchente e águas altas. A campanha atual foi realizada no período de vazante (agosto de 2011). A variação do nível da água ao longo do tempo e os períodos em que foram realizadas as campanhas de campo do Monitoramento Limnológico são mostrados na **Figura 5.1-1**.

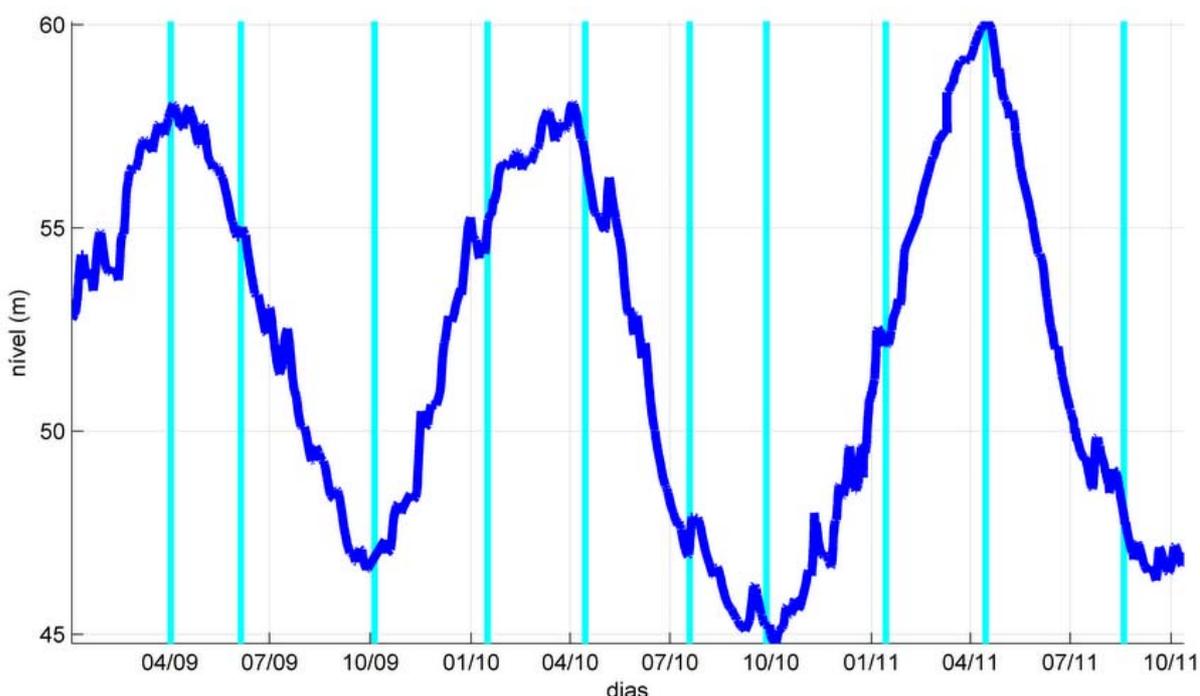


Figura 5.1-1 - Variação da cota no rio Madeira, medida na estação de Porto Velho-RO. As barras indicam as campanhas realizadas nos períodos de vazante, águas baixas, enchente e águas altas nos anos de 2009, 2010 e 2011.

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 $26,9 \pm 2,8^{\circ}\text{C}$ (média \pm DP). A temperatura média da água foi de $28,0 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ (média \pm DP), variando entre $27,5^{\circ}\text{C}$ e $28,5^{\circ}\text{C}$ (Figura 5.1-2). O rio Madeira apresentou considerável uniformidade térmica na coluna d' água durante o período estudado (Figura 5.1-3).

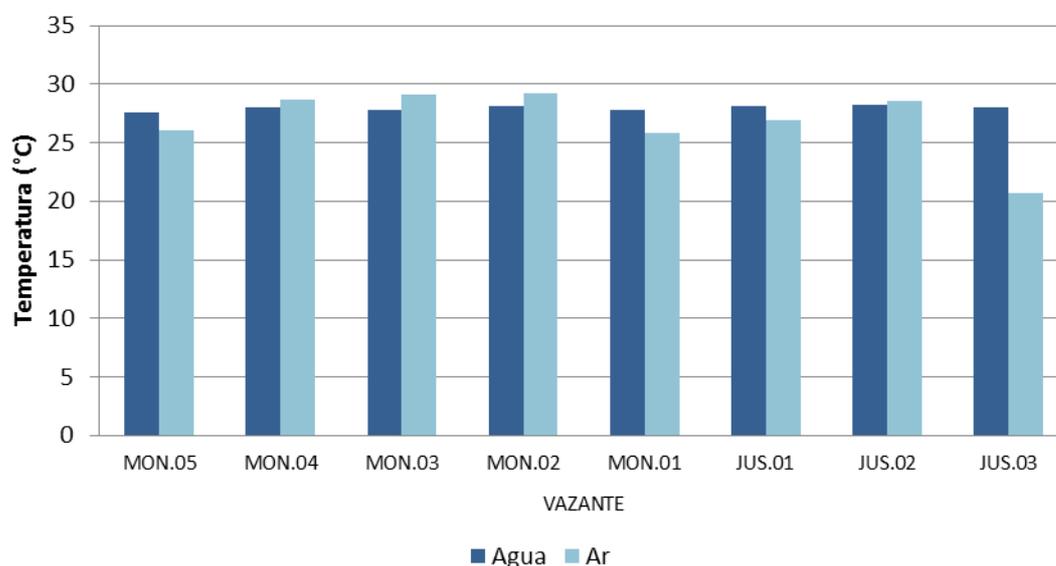


Figura 5.1-2 - Temperatura da água no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

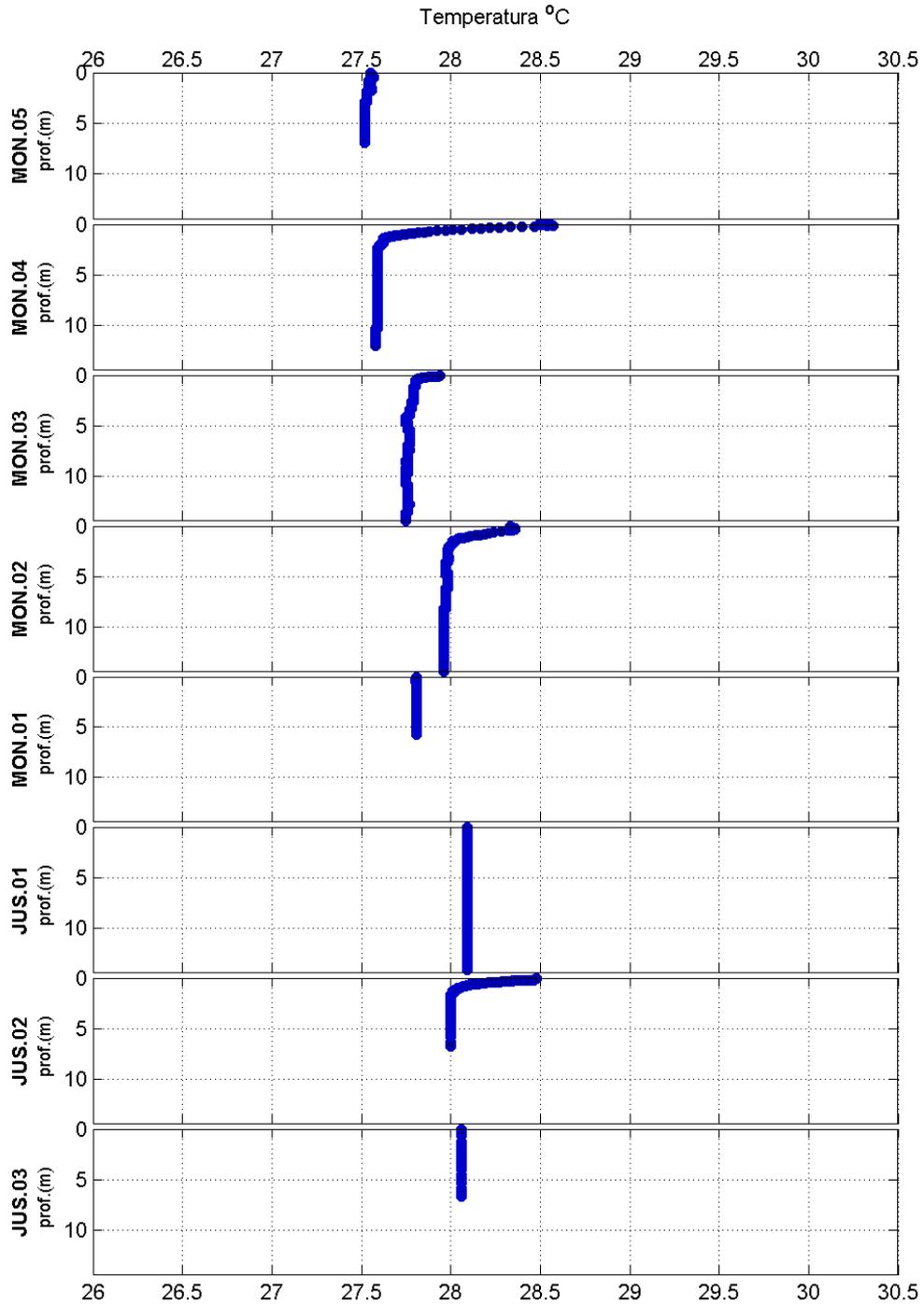


Figura 5.1-3 - Perfil de temperatura no rio Madeira

A temperatura média do ar nos tributários foi de $27,2 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ (média \pm DP). A temperatura da água variou entre $25,9^{\circ}\text{C}$ (JAT II) a $29,3^{\circ}\text{C}$ (JAC.01), com média de $27,9 \pm 1,3^{\circ}\text{C}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-4). Nesta campanha de vazante não foi observada a ocorrência de estratificação térmica nos tributários. Isto, provavelmente, se deve às baixas profundidades alcançadas por estes rios (Figura 5.1-5).

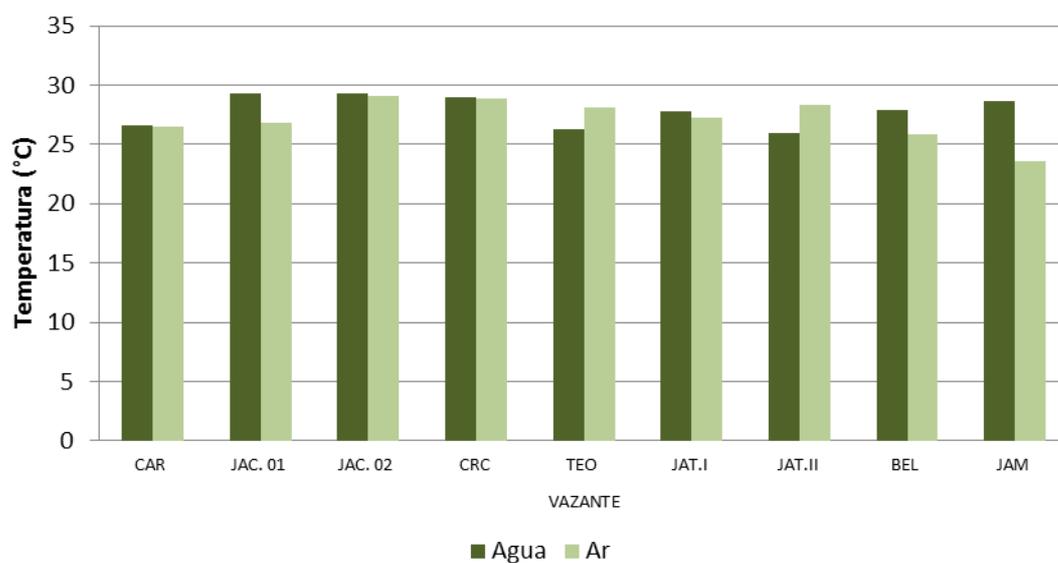


Figura 5.1-4 - Temperatura da água nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

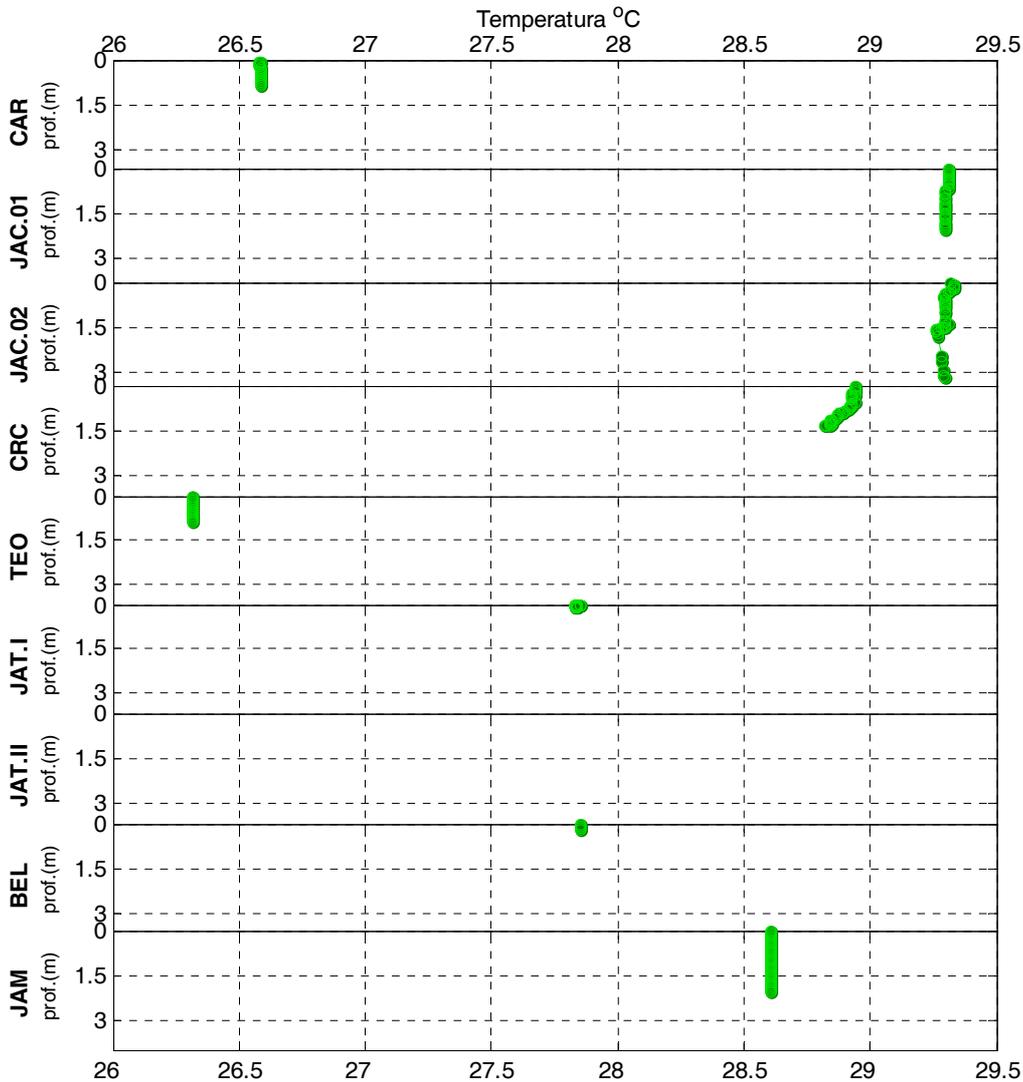


Figura 5.1-5 - Perfil de temperatura nos tributários

Nos lagos e canais, a temperatura média do ar foi de $23,6 \pm 5,0^{\circ}\text{C}$ (média \pm DP), variando entre $18,3^{\circ}\text{C}$ (LC.03) a $29,9^{\circ}\text{C}$ (CC.01). A temperatura da água variou entre $23,7^{\circ}\text{C}$ (LC.02) a $31,4^{\circ}\text{C}$ (CUJ), tendo uma média de $28,1 \pm 2,4^{\circ}\text{C}$ (média \pm DP). No dia da coleta no lago Cuniã ocorreu o fenômeno de friagem, frente fria que frequentemente atinge a região Norte do Brasil e, por esta razão, as temperaturas tanto do ar como da água foram mais baixas nas estações desse lago (Figura 5.1-6). Os perfis térmicos observados nos lagos e canais mostraram uma coluna d'água homogênea, com exceção das estações CUJ, que apresentou um decréscimo na temperatura entre a superfície e 1 m de profundidade (Figura 5.1-7). A ausência de estratificação nessas estações podem estar associadas com a reduzida profundidade e ao fenômeno de friagem.

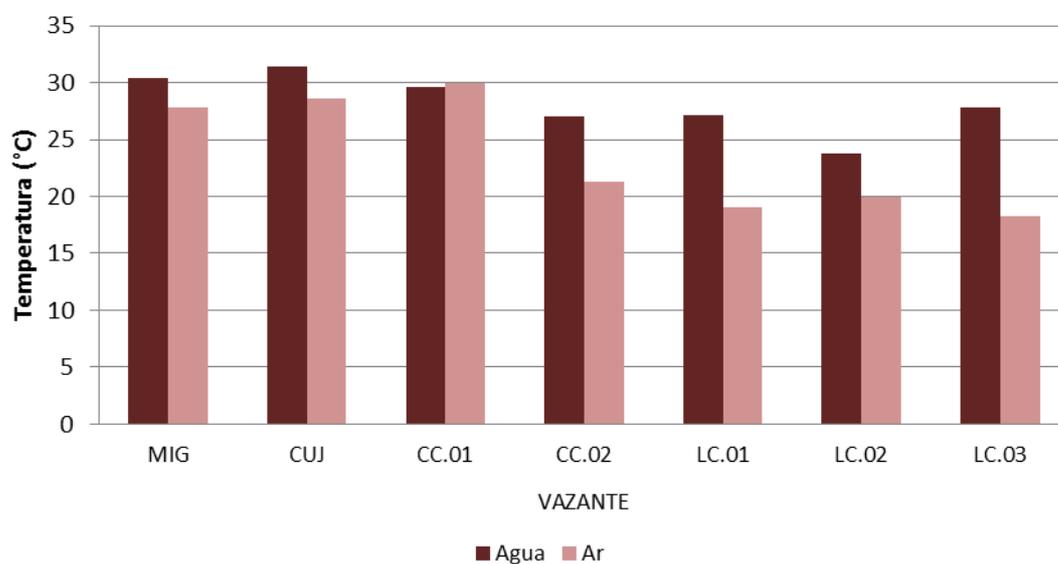


Figura 5.1-6 - Temperatura da água nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

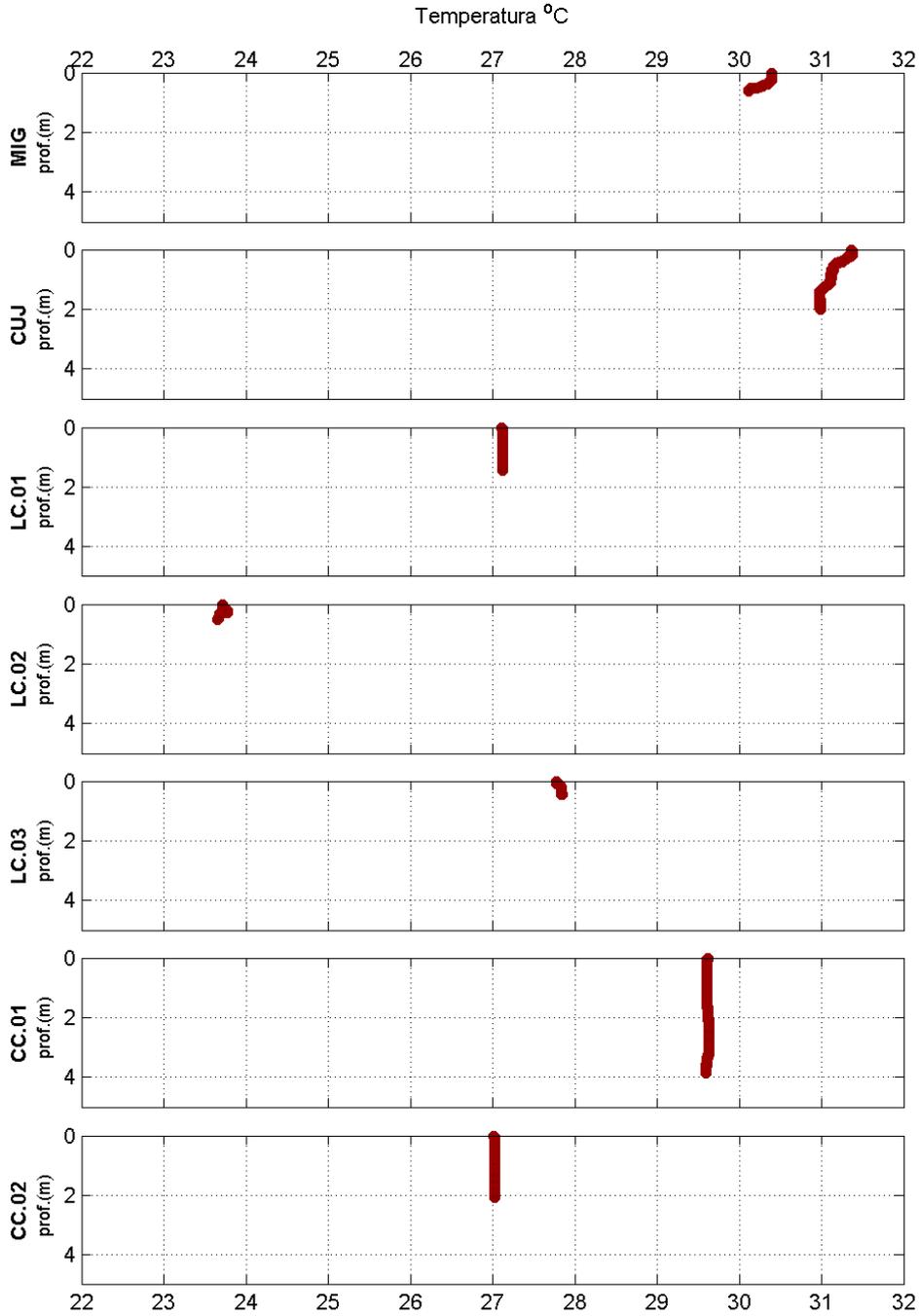


Figura 5.1-7 - Perfil de temperatura nos lagos e canais

A dinâmica fluvial do rio Madeira, caracterizada por elevada turbulência, promove uma distribuição homogênea do calor ao longo da coluna d'água, não permitindo o fenômeno da estratificação térmica neste rio. Os perfis térmicos registrados confirmaram a homogeneidade térmica também nos tributários amostrados. Ambientes lênticos de regiões tropicais comumente estratificam durante a maior parte do ano devido às elevadas temperaturas atmosféricas anuais. O fato da coluna d'água destes ambientes não ter se apresentado estratificada nas vazante é consequência da profundidade reduzida nesse período. Ambientes menos profundos tornam-se mais susceptíveis aos processos de mistura da massa d'água pela força do vento, homogeneizando a temperatura ao longo de toda a coluna de água.

5.1.1.2 - Profundidade, transparência, cor e velocidade de corrente

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

No rio Madeira a profundidade média foi de $13,4 \pm 5,9$ m (média \pm DP), variando entre 7,2 m (JUS.03) e 26 m (JUS.01). Profundidade reduzida nesse período é uma característica natural, pois o nível da água está mais baixo (**Figura 5.1-8**).

A transparência média foi de $0,10 \pm 0,02$ m (média \pm DP), valor bem semelhante ao encontrado no EIA ($0,10 \pm 0,03$ m, média \pm DP). A transparência do rio Madeira foi muito baixa no período estudado, o que é consequência da alta carga de material em suspensão que este rio carrega (**Figura 5.1-9**).

A cor da água é determinada principalmente pelas substâncias que nela estão dissolvidas. O valor médio da cor no rio Madeira foi de $50,9 \pm 20$ mg Pt/L (média \pm DP), variando entre 12,7 mg Pt/L (MON.05 superfície) a 82,7 mg Pt/L (MON.02 fundo) (**Figura 5.1-10**).

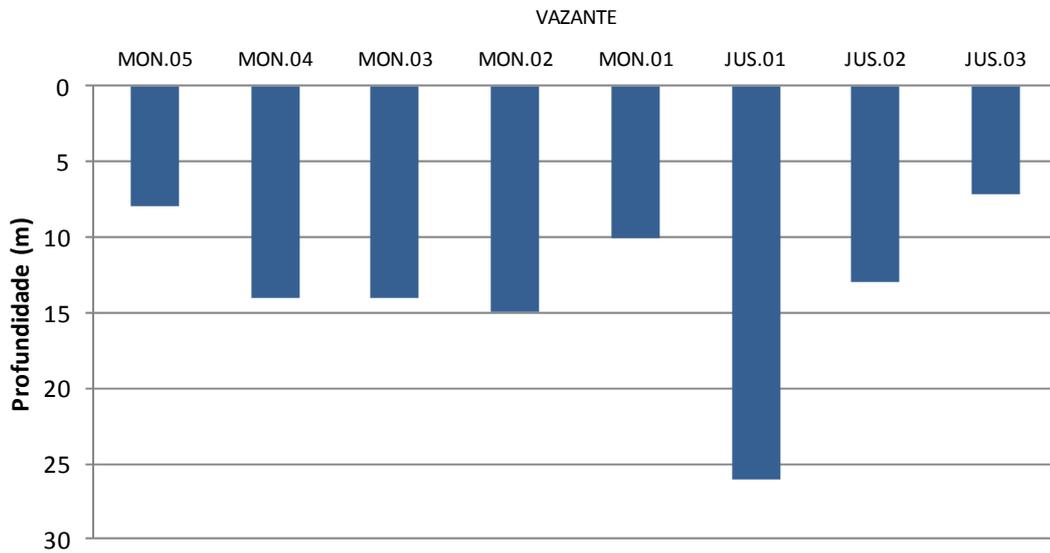


Figura 5.1-8 - Profundidade da coluna d'água no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

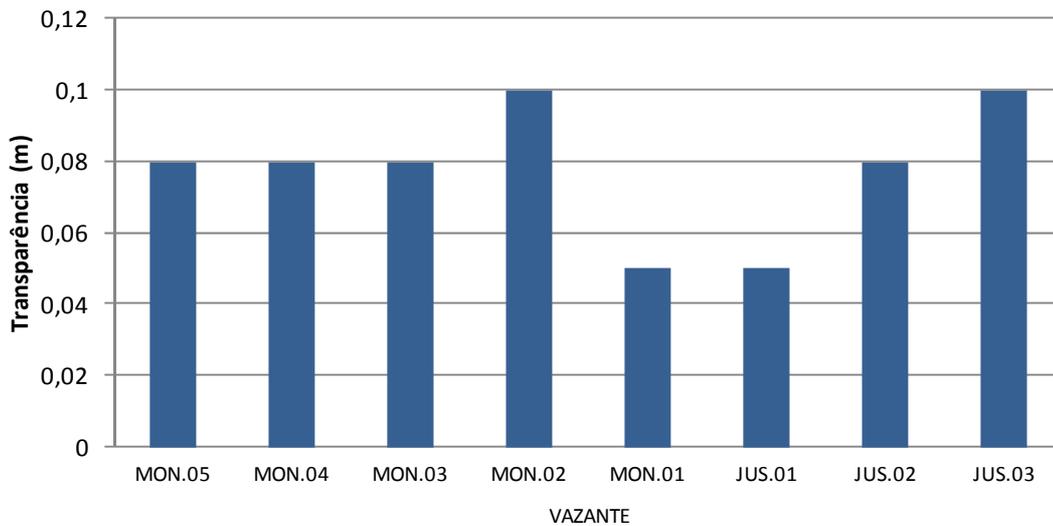


Figura 5.1-9 - Valores de transparência da água no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

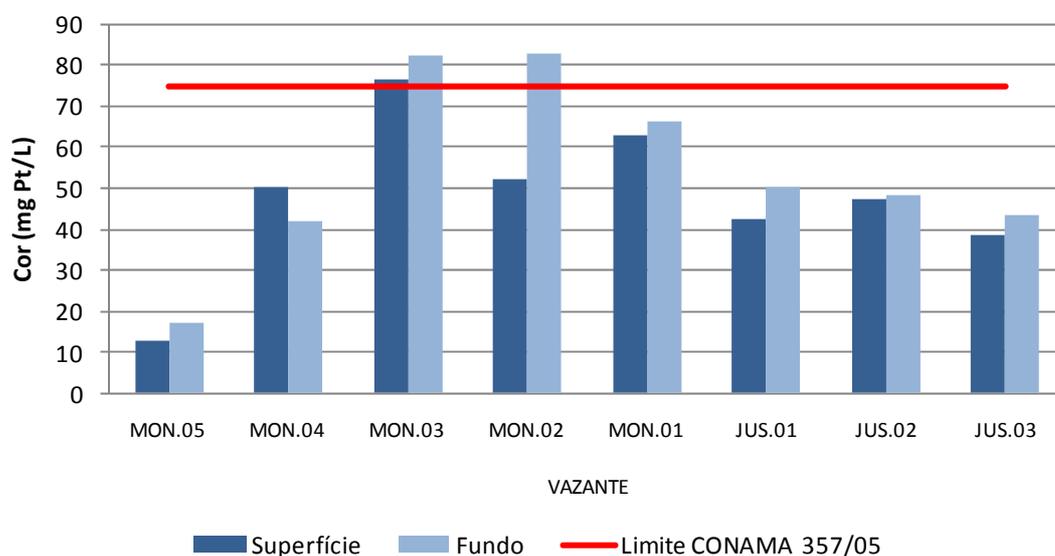


Figura 5.1-10 - Cor da água no rio Madeira, no período agosto de 2011.

A profundidade nos tributários variou entre 0,2 m (JAT II) e 2,8 m (JAC.02), com média de 1,1 ± 0,9 m (média ± DP) (Figura 5.1-11).

Nos tributários, por se tratarem de ambientes diferentes e desconectados, a transparência da água variou bastante entre as estações, com transparência média de 0,60 ± 0,33 m (média ± DP). O menor valor foi registrado na estação JAT II (0,2 m) e o maior valor encontrado foi na estação JAM (1,25 m) (Figura 5.1-12).

O valor médio da cor da água foi 17,8 ± 25,3 mg Pt/L (média ± DP), que variou entre 0 mg Pt/L observados nas estações JAC.01, JAC.02, CRC e JAM a 64 mg Pt/L encontrado na estação TEO. Os baixos valores encontrados na vazante são corroborados por uma maior transparência nesse período (Figura 5.1-13).

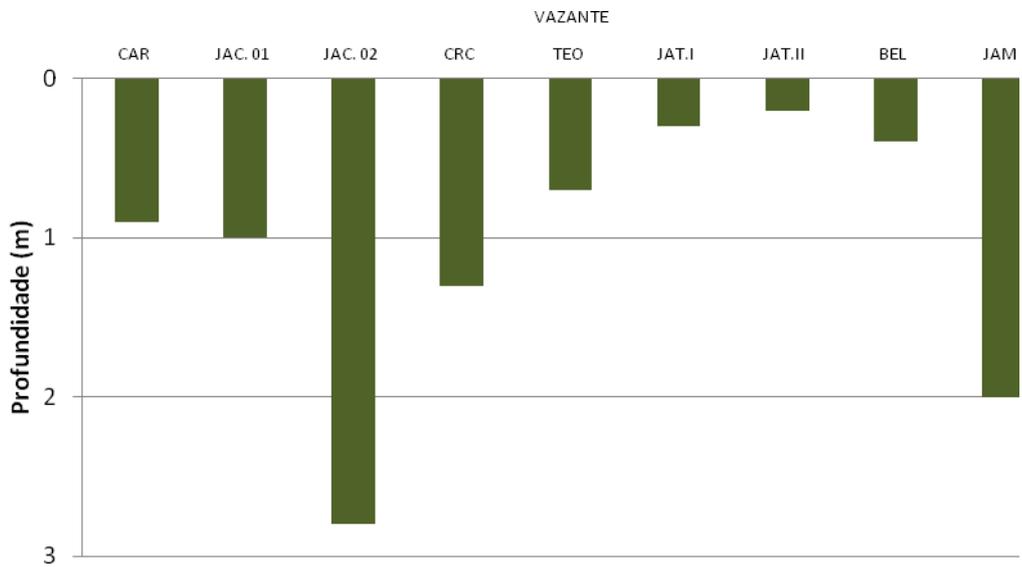


Figura 5.1-11 - Profundidade da coluna d'água nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

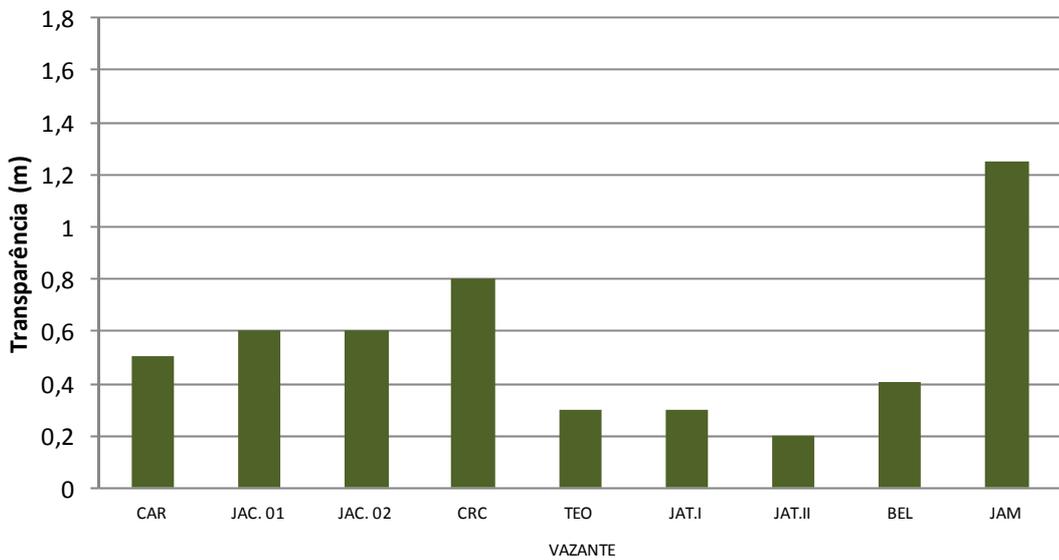


Figura 5.1-12 - Valores de transparência da água nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

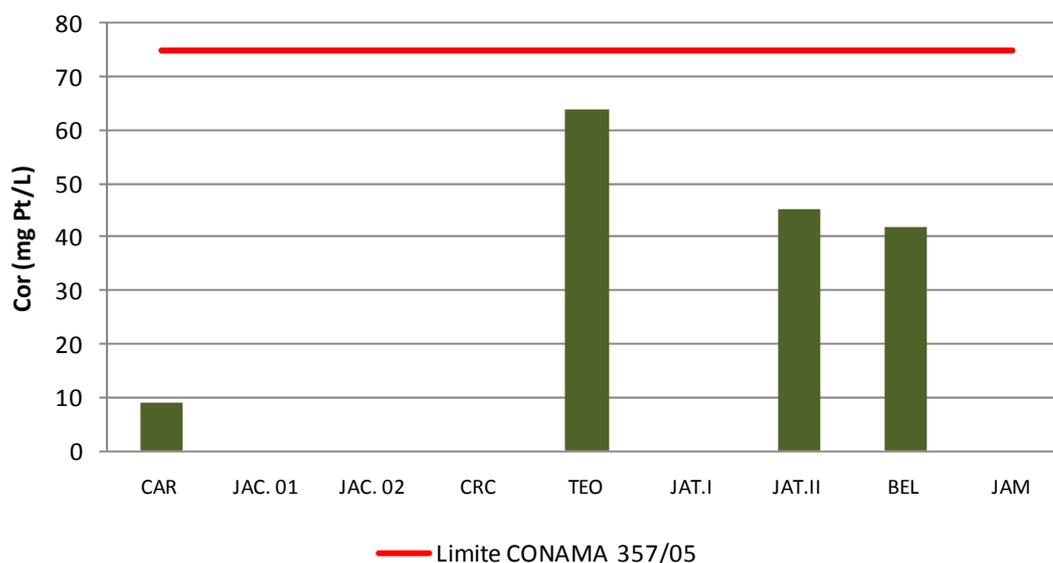


Figura 5.1-13 - Cor da água nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

Nos lagos e canais a profundidade observada variou entre 0,60 m (LC.03) e 4,4 m (CC.01), de forma que o valor médio foi $2,1 \pm 1,5$ m (média \pm DP) (Figura 5.1-14).

O valor médio da transparência dos lagos e canais foi $0,30 \pm 0,20$ m (média \pm DP), variando entre 0,1 m (CC.01) e 0,7 m (CUJ) (Figura 5.1-15).

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 5.1-16).

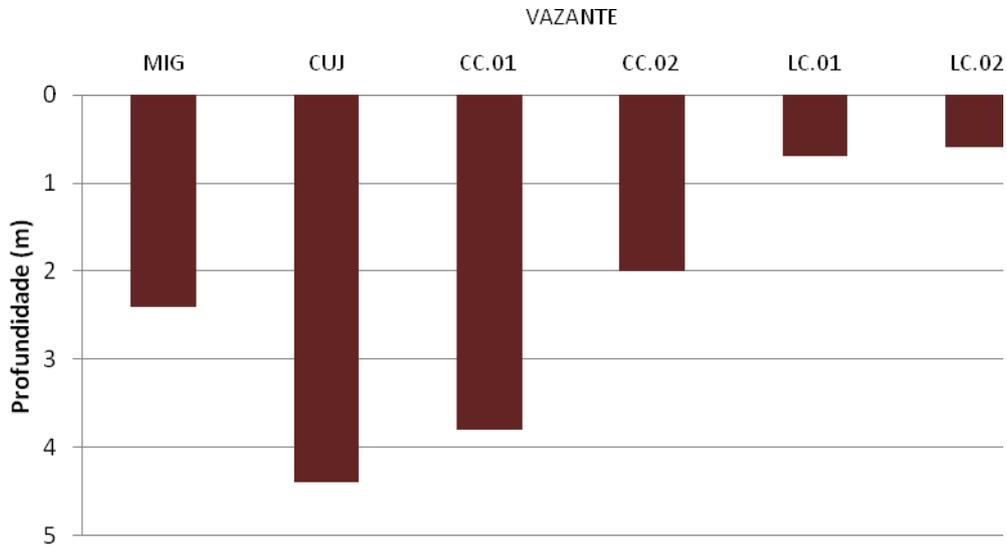


Figura 5.1-14 - Profundidade da coluna d'água nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

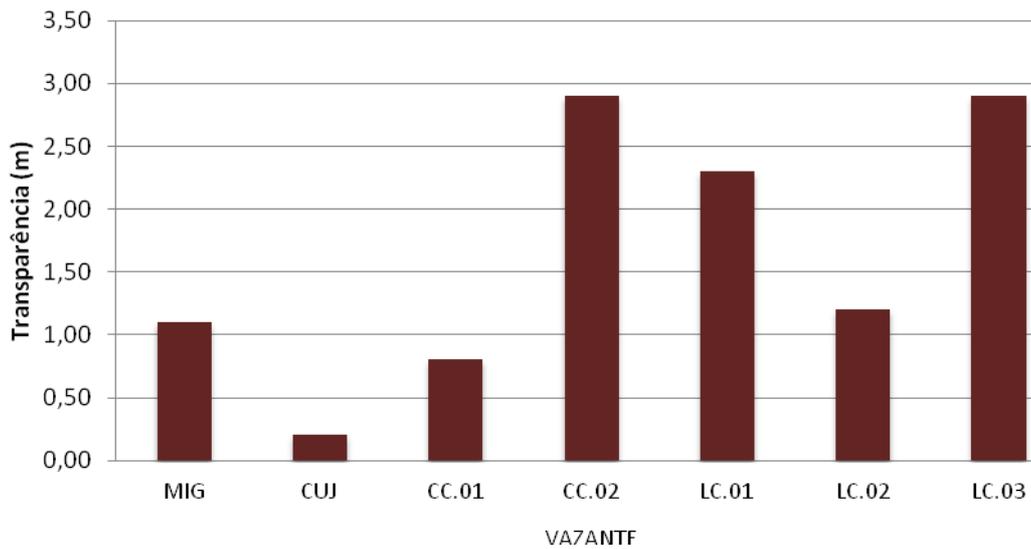


Figura 5.1-15 - Valores de transparência nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

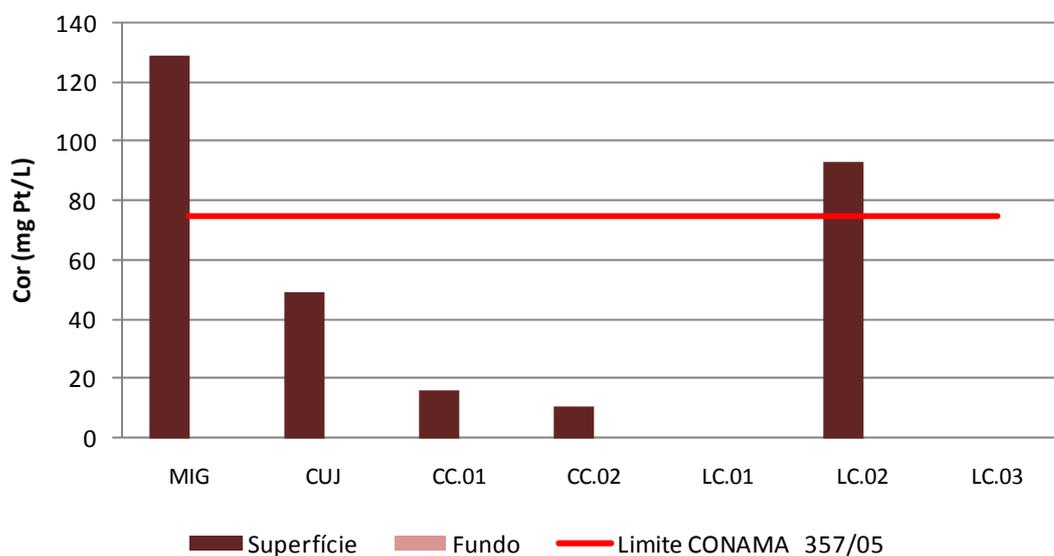


Figura 5.1-16 - Cor da água nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

O limite de cor de 75 mg Pt/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de Classe 2, apenas o fundo de algumas estações no rio Madeira não atenderam a este limite. Contudo, valores elevados de cor são comuns em ambientes que possuem elevada turbidez inorgânica. Nos tributários, as estações amostradas atenderam ao limite estabelecido pela CONAMA 357/2005 legislação em todas as estações. Nos lagos e canais, foram verificadas situações de não conformidade nas estações MIG e LC.02.

5.1.2 - Físicas C

5.1.2.1 - Turbidez

No rio Madeira, a turbidez média foi de 155 ± 15 NTU (média \pm DP), variando entre 129 NTU (MON.02 superfície) e 180 NTU (MON.01 fundo) (Figura 5.1-17). Os perfis de turbidez mostram que ocorre pouca variação entre a superfície e o fundo, durante a vazante de 2011 (Figura 5.1-18). A turbidez no rio Madeira é geralmente alta, atingindo seus maiores valores nos períodos de enchente e águas altas e os menores valores nos períodos de vazante e águas baixas.

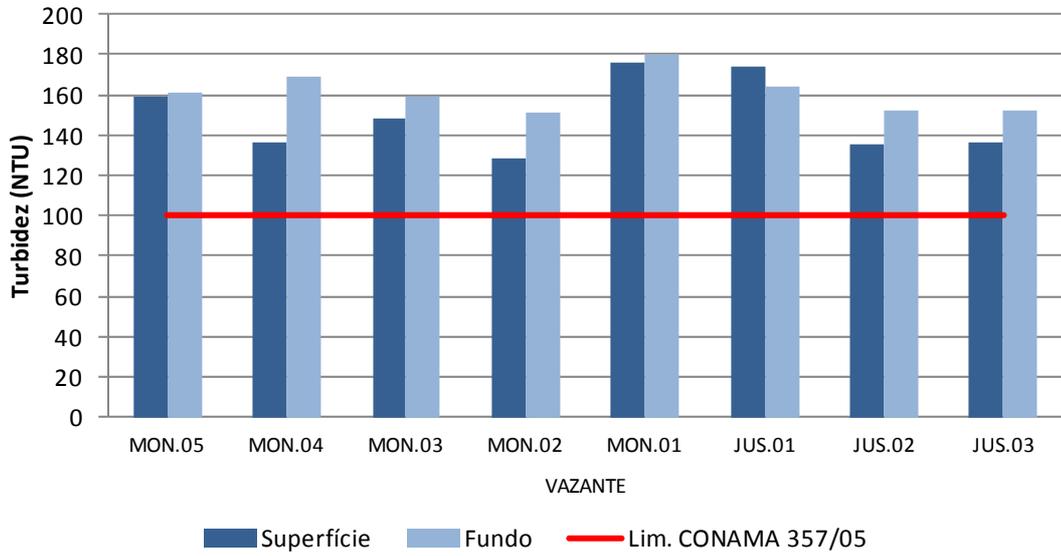


Figura 5.1-17 - Valores de turbidez no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

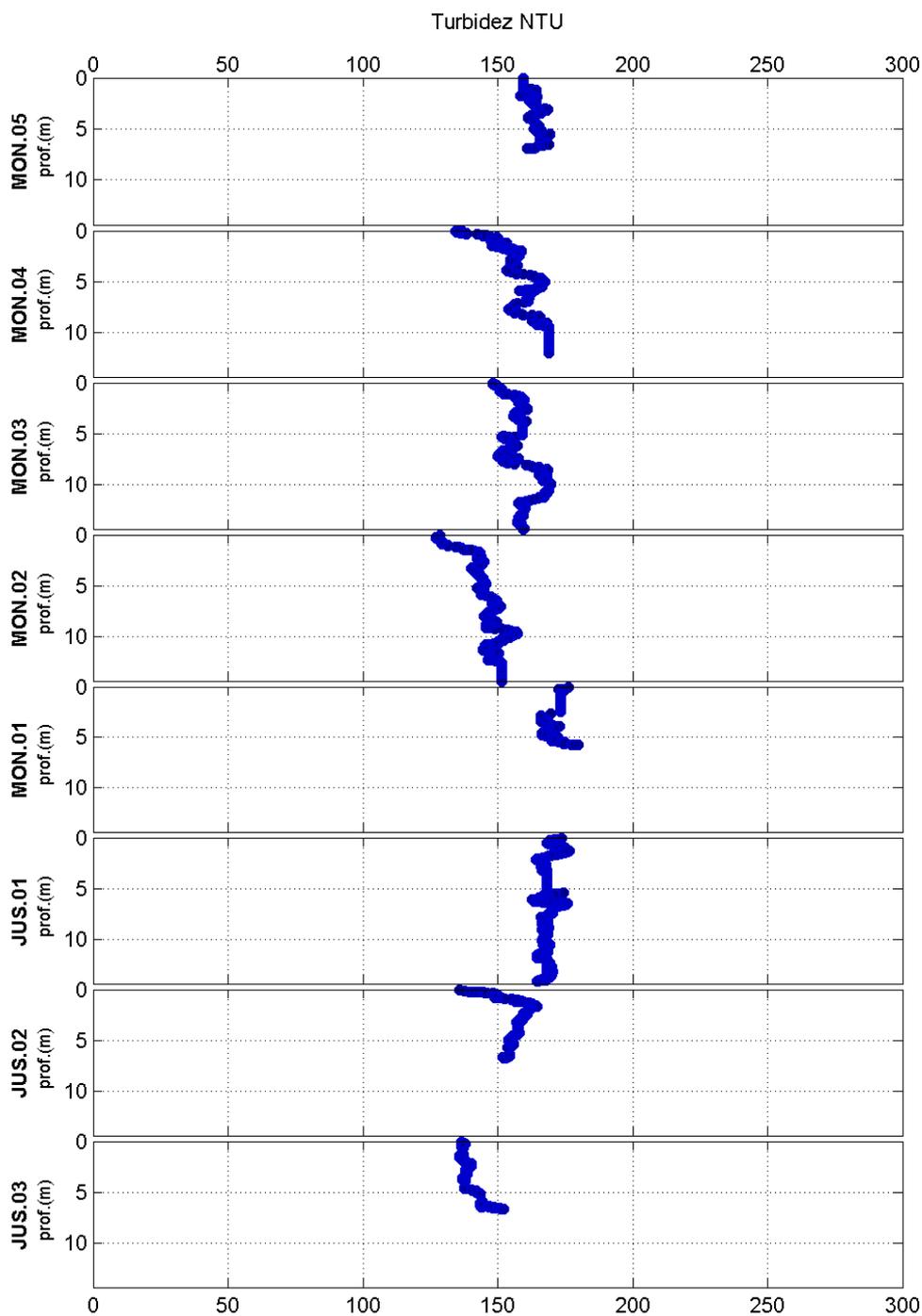


Figura 5.1-18 - Perfis de turbidez no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

A turbidez média nos tributários foi de 50 ± 90 NTU (média \pm DP). Houve grande variação espacial, com os valores oscilando entre 8 NTU (JAM) e 291 NTU (JAT II) (Figura 5.1-19). Os altos valores encontrados na estação JAT II foram responsáveis por elevar a média dos tributários. A maior parte das estações apresentou baixos valores, visto que a mediana foi de 22 NTU. Apesar da variação espacial, os perfis verticais não indicaram variação (Figura 5.1-20).

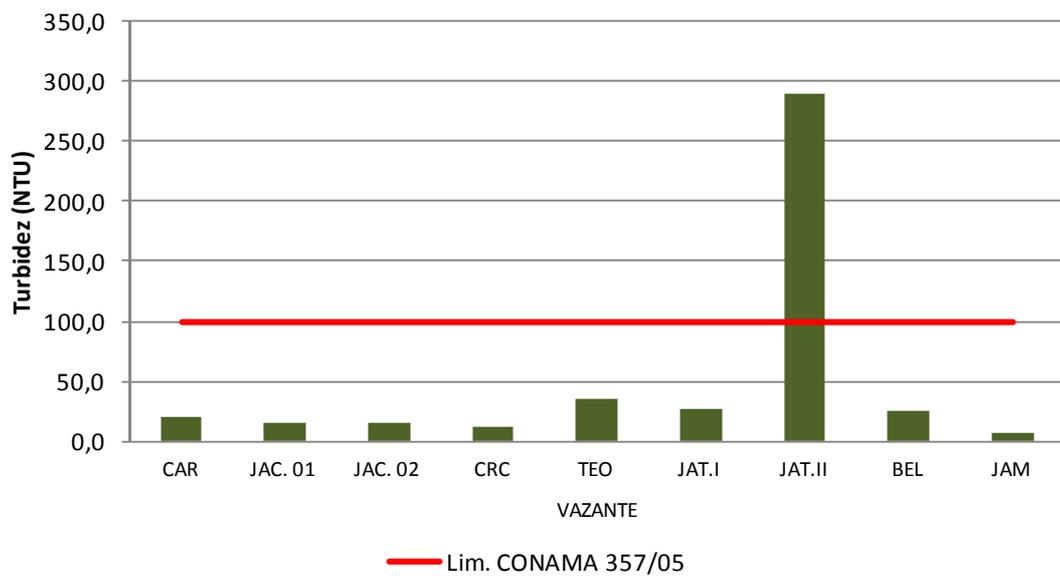


Figura 5.1-19 - Valores de turbidez nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

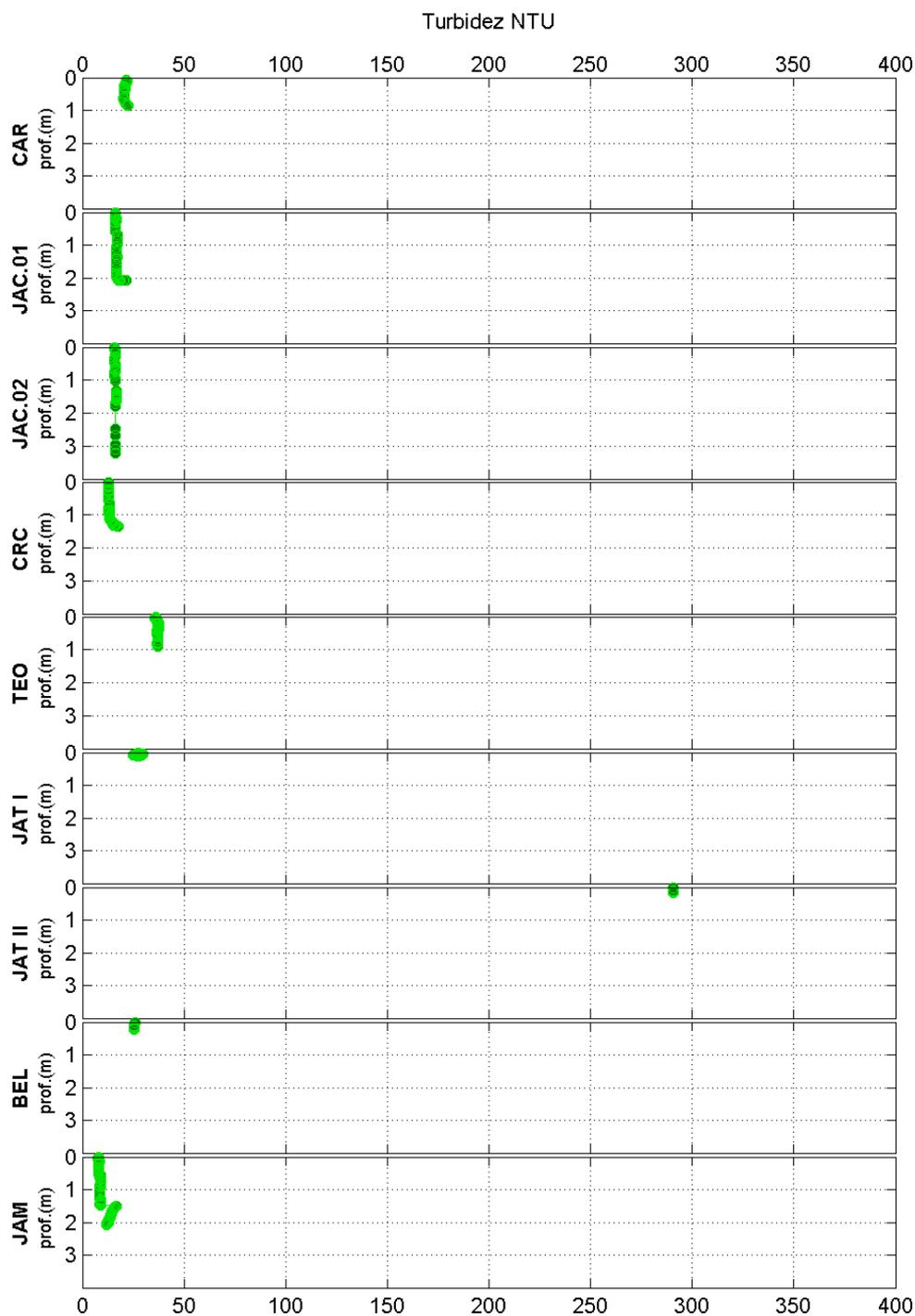


Figura 5.1-20 - Perfis de turbidez nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

Nos lagos e canais, a turbidez variou entre 7 NTU (CUJ) e 106 NTU (MIG), com média de $68,4 \pm 36,1$ NTU (média \pm DP) (Figura 5.1-21). Nestes ambientes a turbidez variou verticalmente nas estações CC.01, LC.01, CUJ e MIG (Figura 5.1-22).

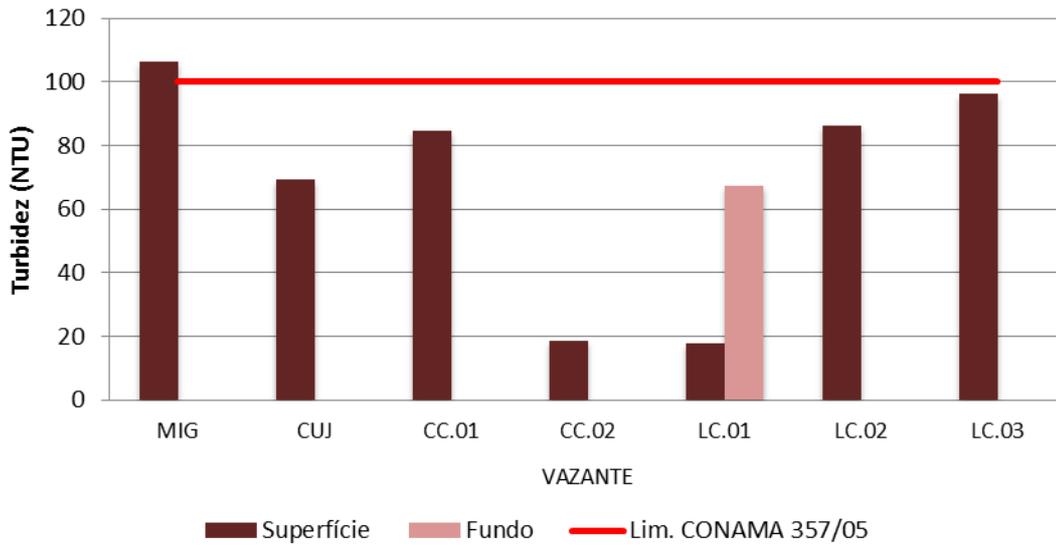


Figura 5.1-21 - Valores de turbidez nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

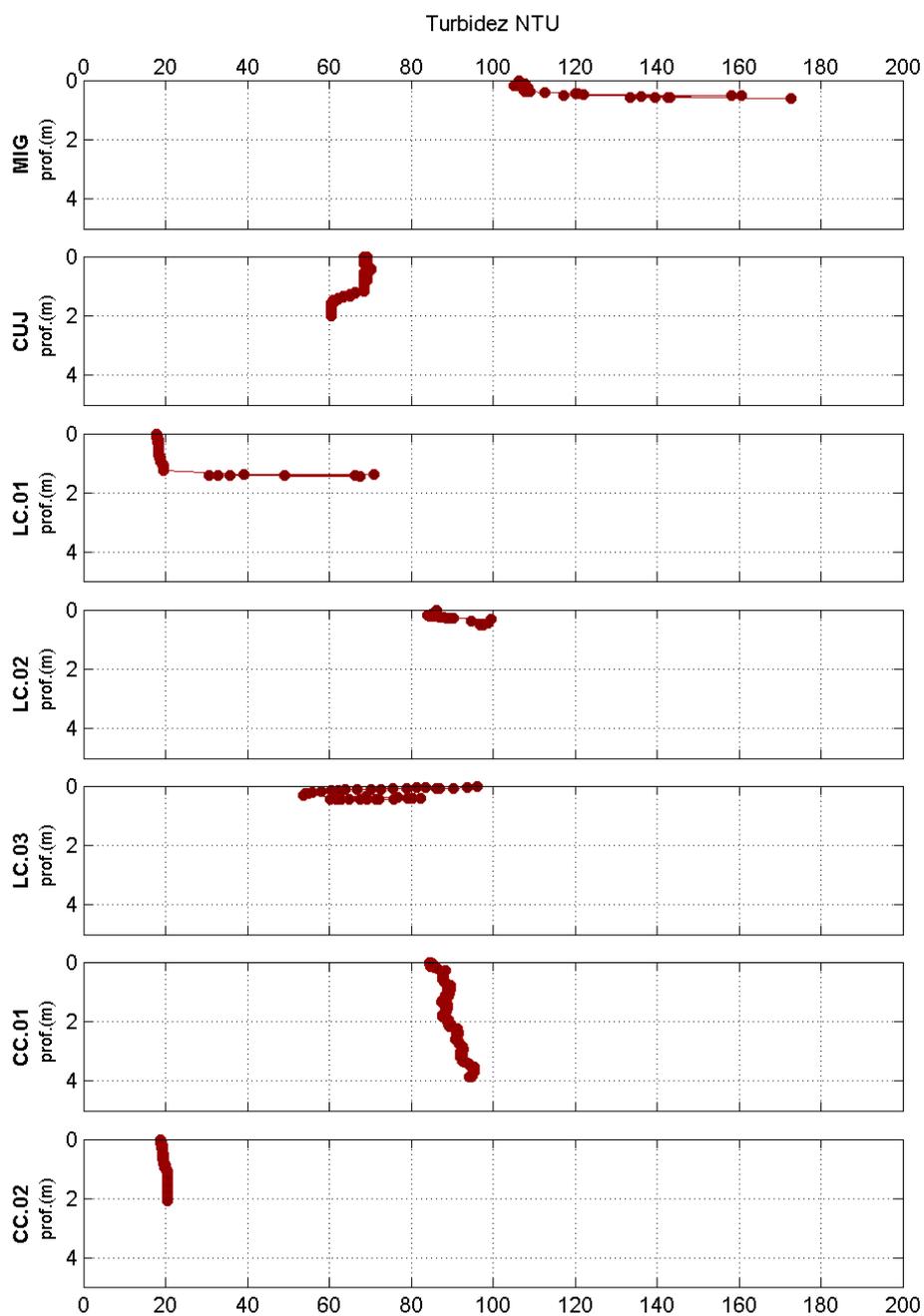


Figura 5.1-22 - Perfis de turbidez nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

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. 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, somente a estação JAT II não atendeu à referida legislação. Já nos lagos e canais, somente a estação MIG não esteve em conformidade com a legislação. As violações à legislação em JAT II e MIG podem ser consideradas de origem natural.

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

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

No rio Madeira, o valor médio dos sólidos totais foi de $194,4 \pm 30,2$ mg/L (média \pm DP), variando entre 134 mg/L (JUS.02 superfície) e 262 mg/L (JUS.01 fundo). O teor de sólidos totais no rio Madeira é geralmente alto, atingindo seus maiores valores nos períodos de águas altas e, principalmente, na enchente e os menores valores nos períodos de vazante e vazante (**Figura 5.1-23**).

A fração suspensa representou em média 73% dos sólidos totais. A concentração média de sólidos em suspensão foi de $139,8 \pm 13,4$ mg/L (média \pm DP), com os valores oscilando entre 116,5 mg/L (JUS.02-superfície) e 163 mg/L (JUS.01 fundo) (**Figura 5.1-24**). Os sólidos totais dissolvidos apresentaram concentração média de $54,6 \pm 22,6$ mg/L (média \pm DP). Os valores variaram entre 15,5 mg/L (JUS.03 superfície) e 99 mg/L (JUS.01 fundo) (**Figura 5.1-25**).

As concentrações de sólidos fixos variaram entre 92 mg/L (MON.03 superfície) e 227 mg/L (JUS.01 fundo). O valor médio foi de $136,8 \pm 35,9$ mg/L (média \pm DP) (**Figura 5.1-26**). A fração fixa foi a mais comum, contribuindo em média com 70% do total. Os sólidos voláteis apresentaram média de $58,6 \pm 28,8$ mg/L (média \pm DP), com os valores oscilando entre 20 mg/L (JUS.02 superfície) e 105 mg/L (MON.03 fundo) (**Figura 5.1-27**). Os valores de sólidos no rio Madeira, levemente superiores no fundo, podem estar relacionados à ressuspensão de sedimentos como resposta à elevada correnteza e turbulência do rio.

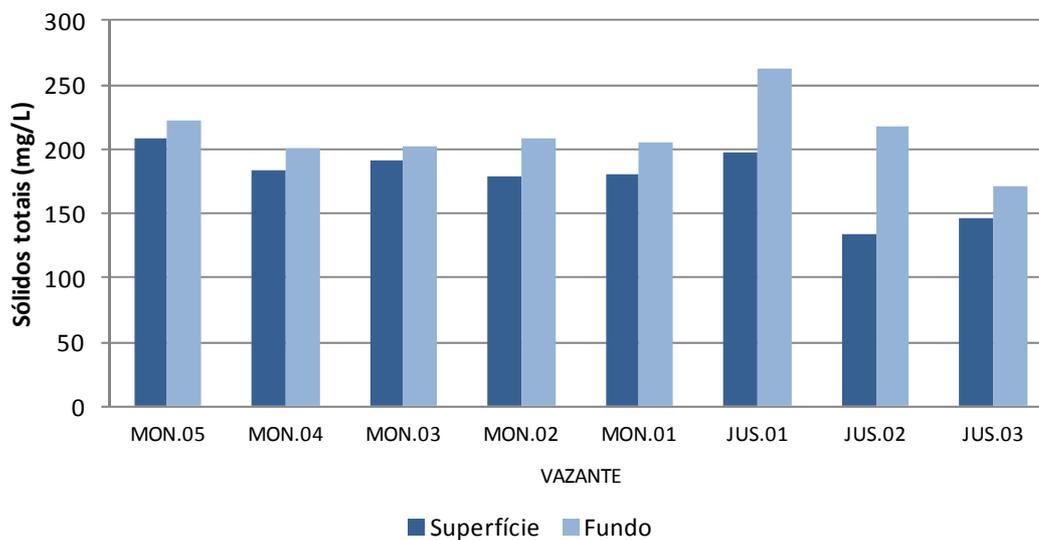


Figura 5.1-23 - Concentrações de Sólidos totais no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

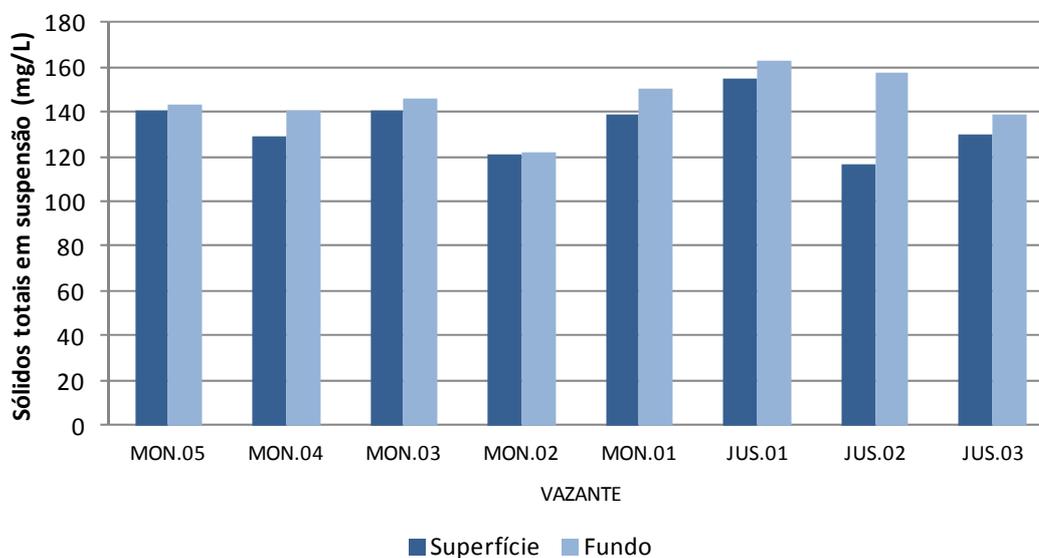


Figura 5.1-24 - Concentrações de Sólidos em suspensão no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

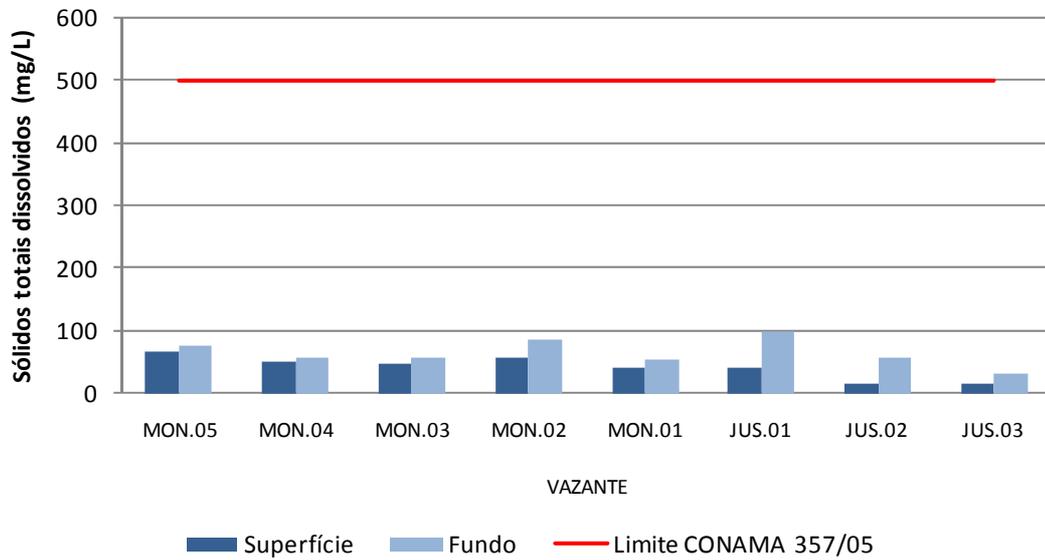


Figura 5.1-25 - Concentrações de Sólidos totais dissolvidos no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

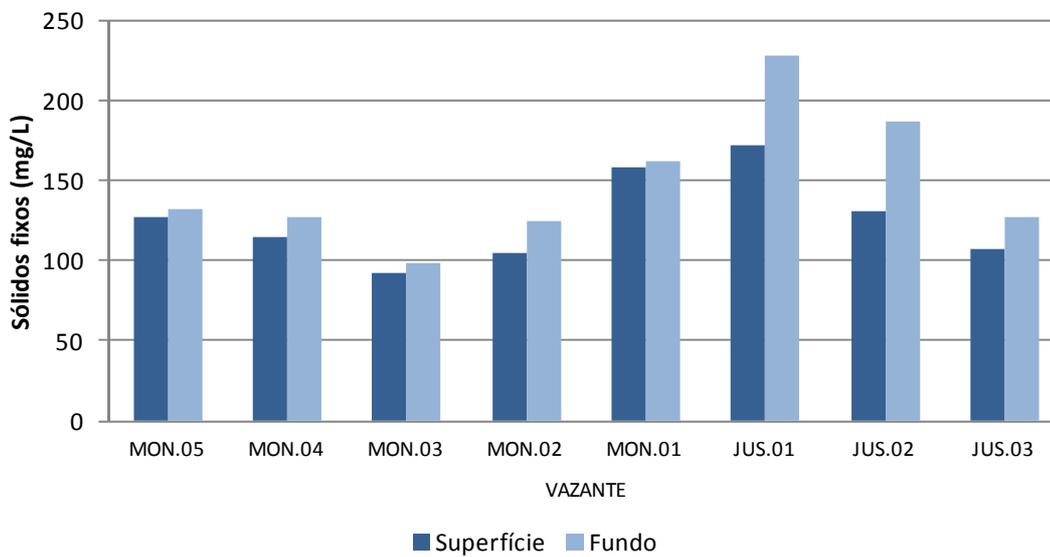


Figura 5.1-26 - Concentrações de Sólidos fixos no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

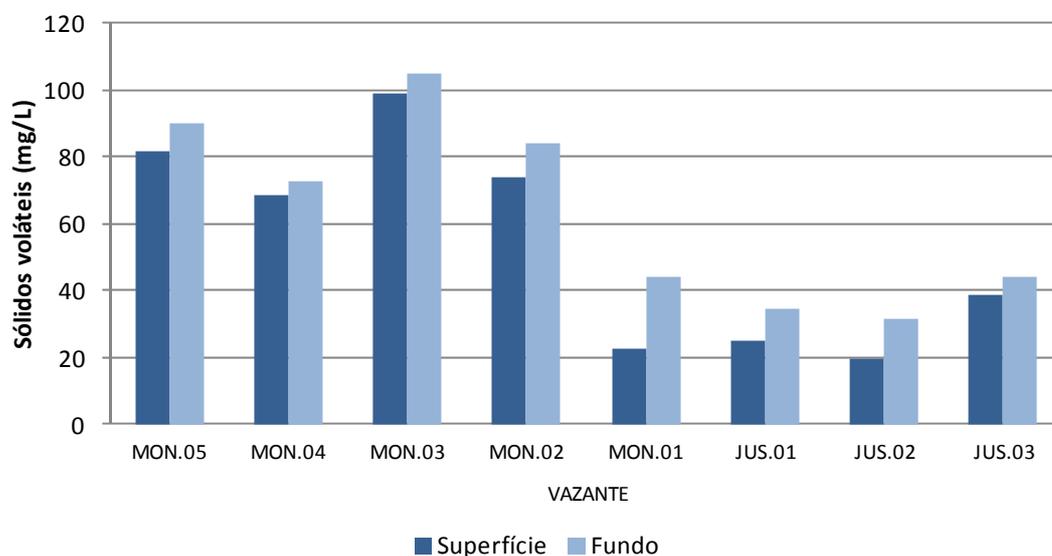


Figura 5.1-27 - Concentrações de Sólidos voláteis no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

As concentrações de sólidos nos tributários foram bastante inferiores às encontradas no rio Madeira. Os sólidos totais apresentaram média de $42,2 \pm 27,6$ mg/L (média \pm DP). As concentrações oscilaram entre 17 mg/L (JAC.02) e 98,6 mg/L (BEL) (Figura 5.1-28). As frações suspensa e dissolvida apresentaram composição equivalente, com média de 50% para cada. Os valores de sólidos em suspensão oscilaram entre 4,4 mg/L (JAM) e 61,2 mg/L (JAT II), sendo a média igual a $19,9 \pm 16,7$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-29). Já os sólidos totais dissolvidos apresentaram média global de $22 \pm 24,2$ mg/L (média \pm DP). Os valores médios dessa fração oscilaram entre 2,6 mg/L (JAC.02) e 78,2 mg/L (BEL) (Figura 5.1-30).

Em relação à volatilidade, a fração volátil foi a predominante, representando 62% dos sólidos totais. As concentrações de sólidos fixos oscilaram entre 4 mg/L (JAM) e 50 mg/L (JAT II), com valor médio de $15 \pm 15,7$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-31). Já a fração volátil apresentou média global de $27,2 \pm 26,2$ mg/L (média \pm DP). Os valores variaram entre 7 mg/L (JAC.01) e 93 mg/L (BEL) (Figura 5.1-32). As concentrações das diferentes frações de sólidos variaram bastante espacialmente, por se tratarem de ambientes diferentes e desconectados.

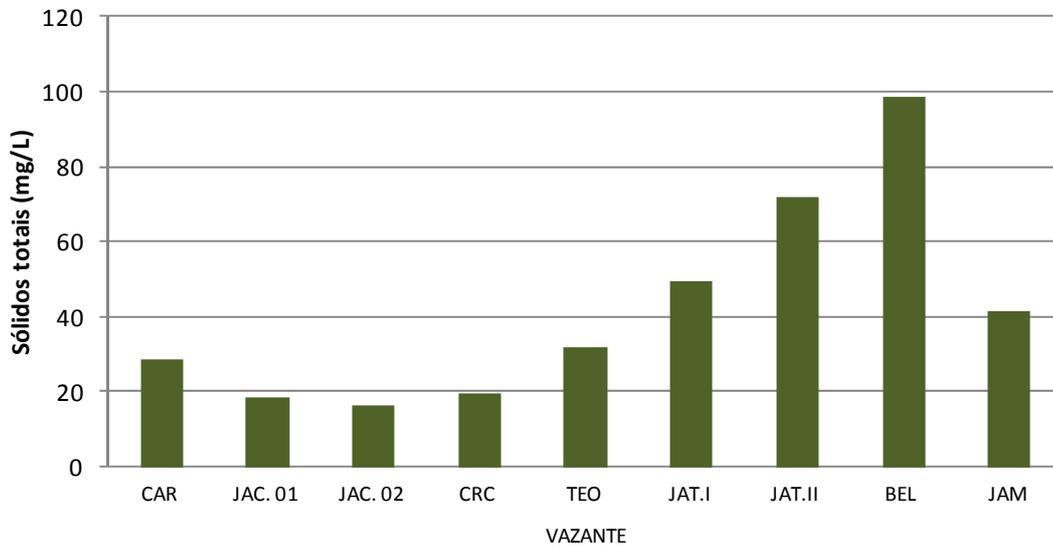


Figura 5.1-28 - Concentrações de sólidos totais nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

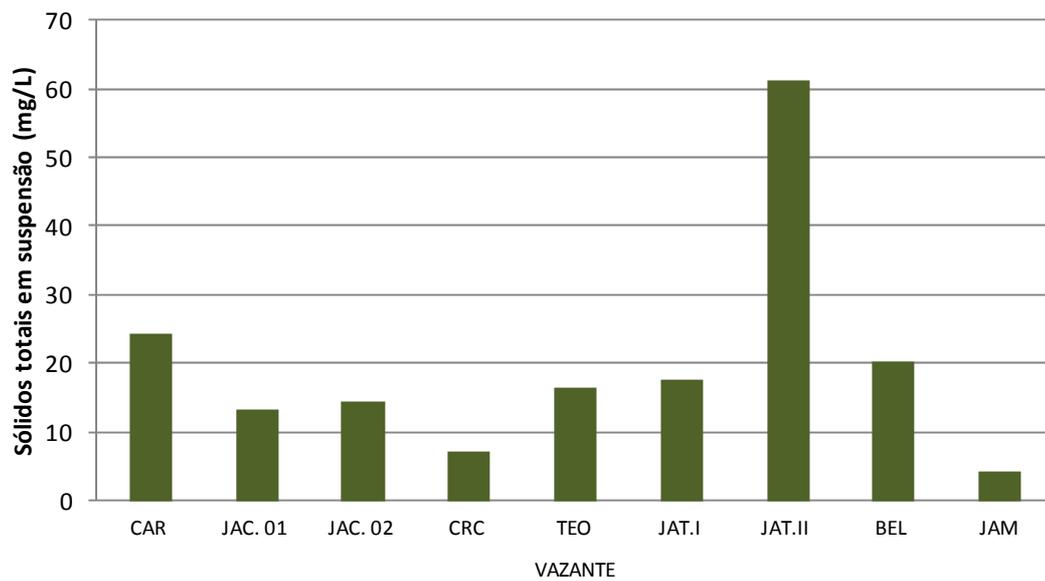


Figura 5.1-29 - Concentrações de sólidos em suspensão nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

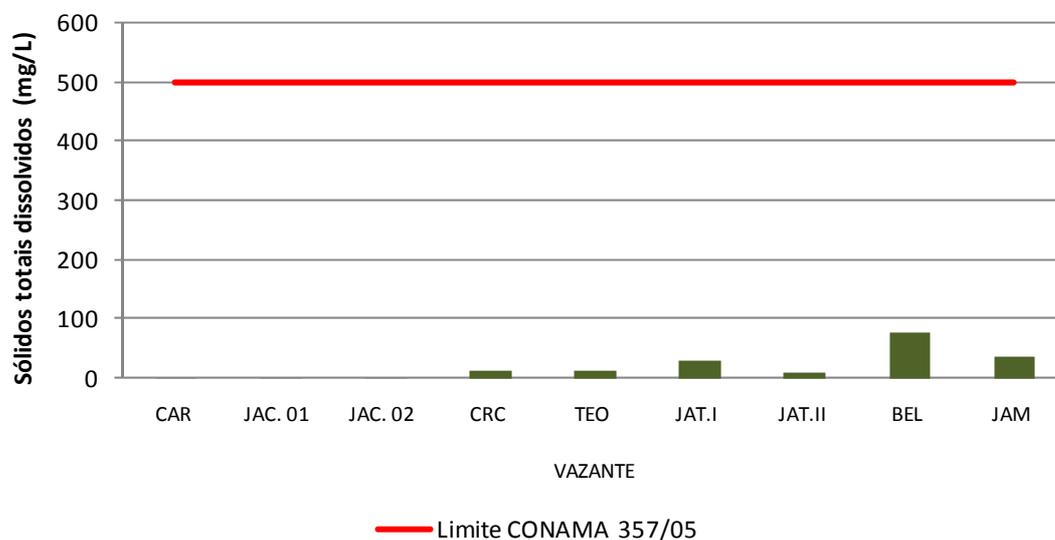


Figura 5.1-30 - Concentrações de sólidos totais dissolvidos nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

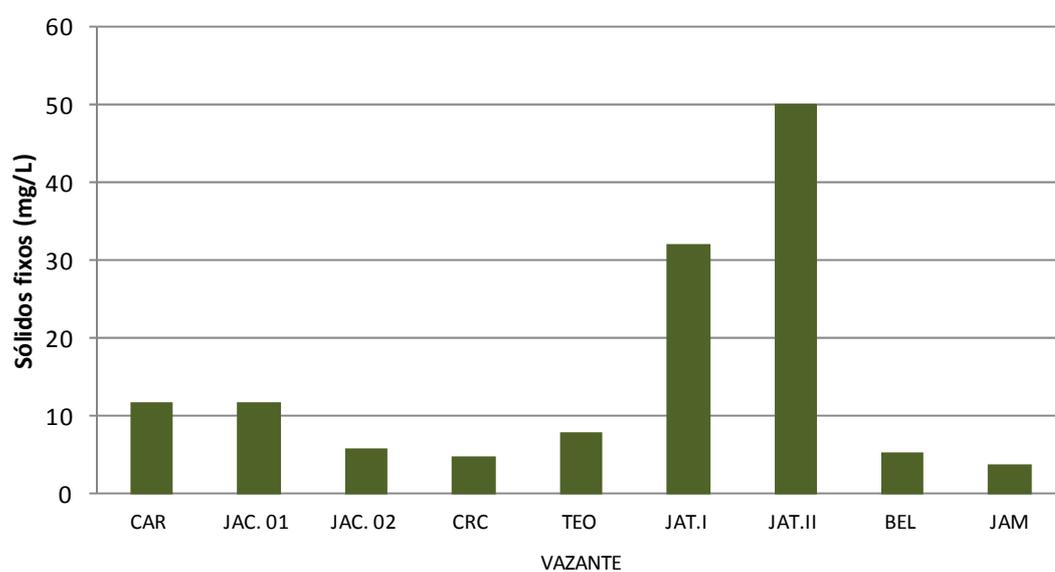


Figura 5.1-31 - Concentrações de sólidos fixos nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

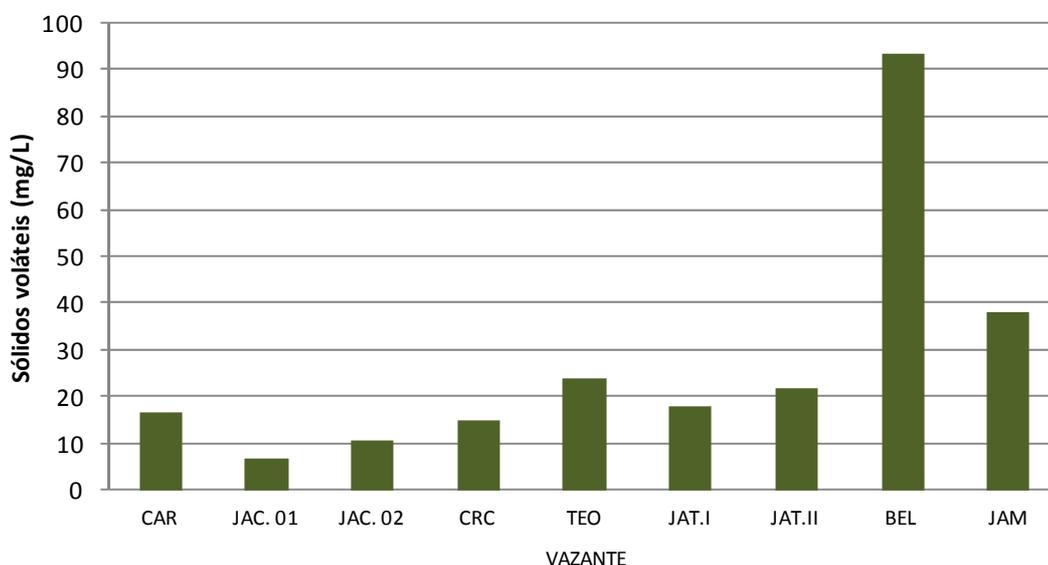


Figura 5.1-32 - Concentrações de sólidos voláteis nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

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 $81,4 \pm 69,9$ mg/L (média \pm DP). Os valores oscilaram entre 17 mg/L (LC.01 superfície) e 197 mg/L (LC.02) (Figura 5.1-33). A estação LC.02, situada na área central do lago Cuniã, apresentou, assim como a estação CUJ, situada no lago Cujubim, elevados teores de sólidos.

Os sólidos em suspensão apresentaram média de $34,6 \pm 24,5$ mg/L (média \pm DP). Os valores oscilaram entre 15 mg/L (LC.02 superfície) e 82,4 mg/L (LC.03) (Figura 5.1-34). Já os sólidos totais dissolvidos variaram de 2 mg/L (LC.01 superfície) a 152 mg/L (LC.02), com valor médio de $46,8 \pm 58,2$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-35). A fração suspensa foi em média superior, tendo respondido por 61% 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, 56% do total. As concentrações de sólidos fixos oscilaram entre 12 mg/L (LC.01 superfície) e 151 mg/L (LC.02), com valor médio de $41,6 \pm 46,6$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-36). Os sólidos voláteis apresentaram média de $39,9 \pm 37,6$ mg/L (média \pm DP), com oscilação dos valores entre 3 mg/L (CC.02) e 100 mg/L (MIG) (Figura 5.1-37).

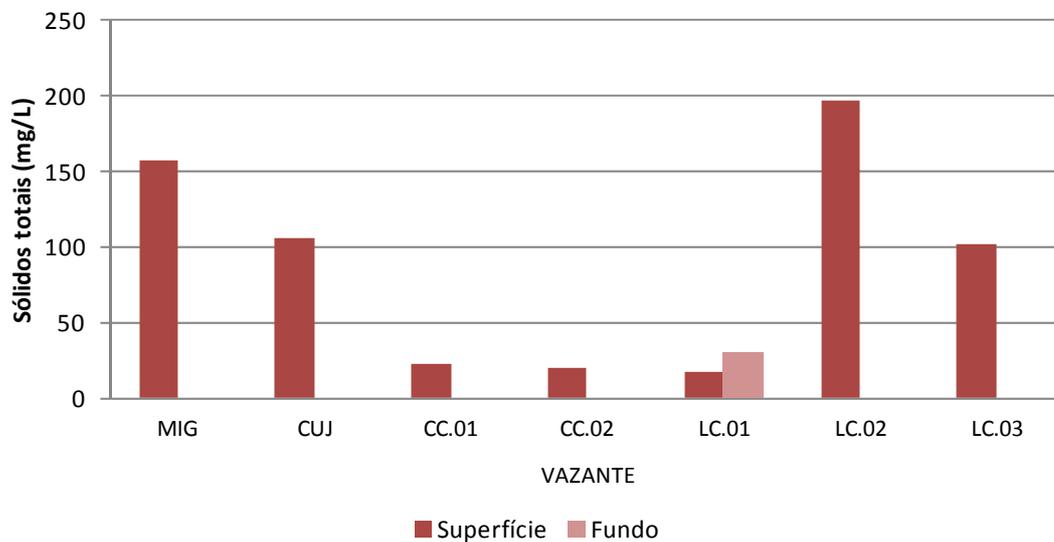


Figura 5.1-33 - Concentrações de sólidos totais nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

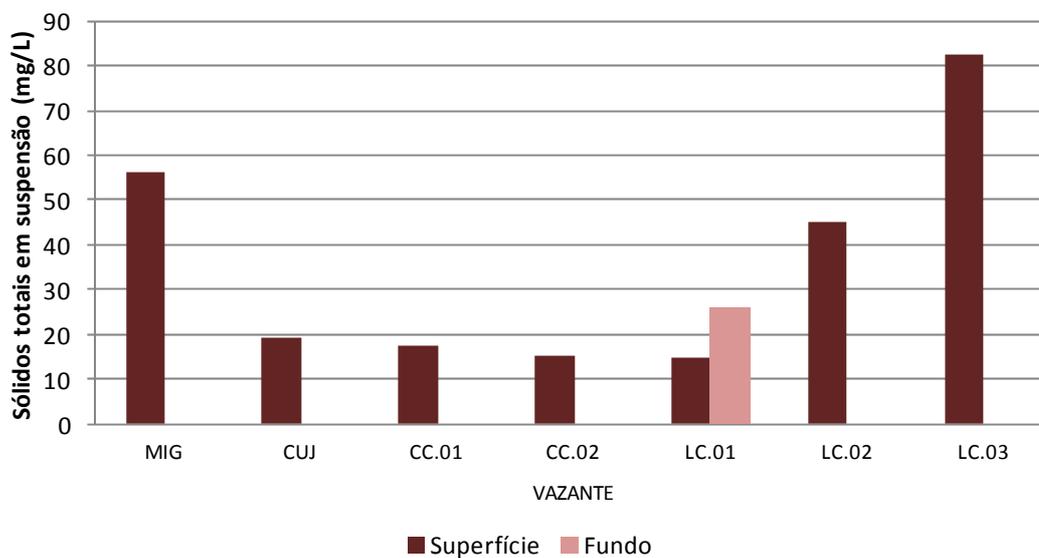


Figura 5.1-34 - Concentrações de sólidos em suspensão nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

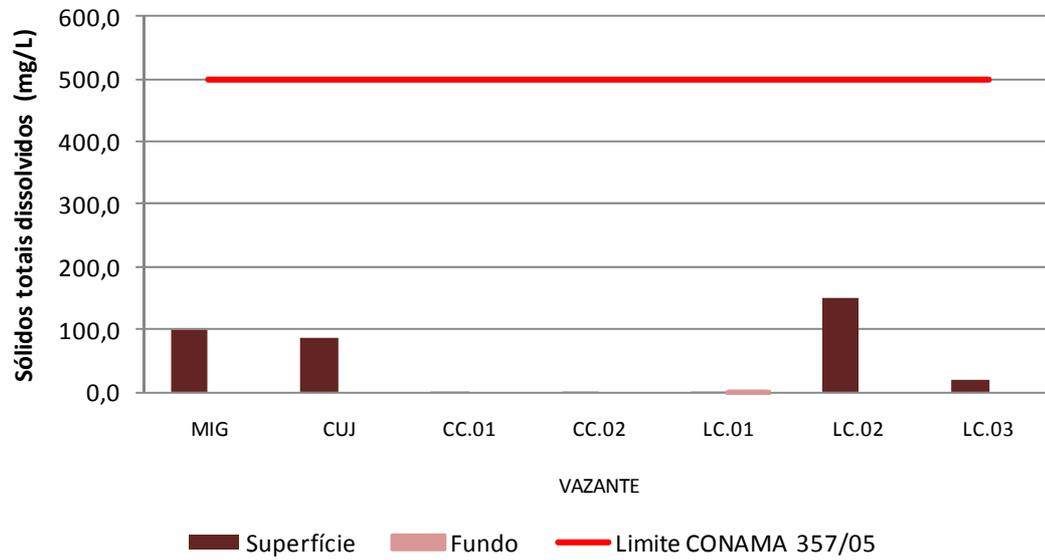


Figura 5.1-35 - Concentrações de sólidos totais dissolvidos nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

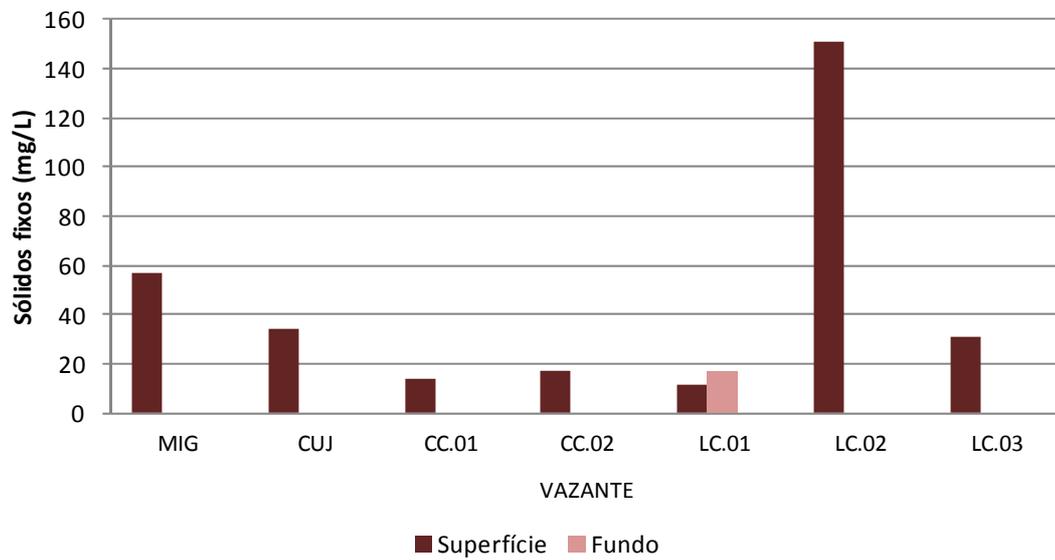


Figura 5.1-36 - Concentrações de sólidos fixos nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

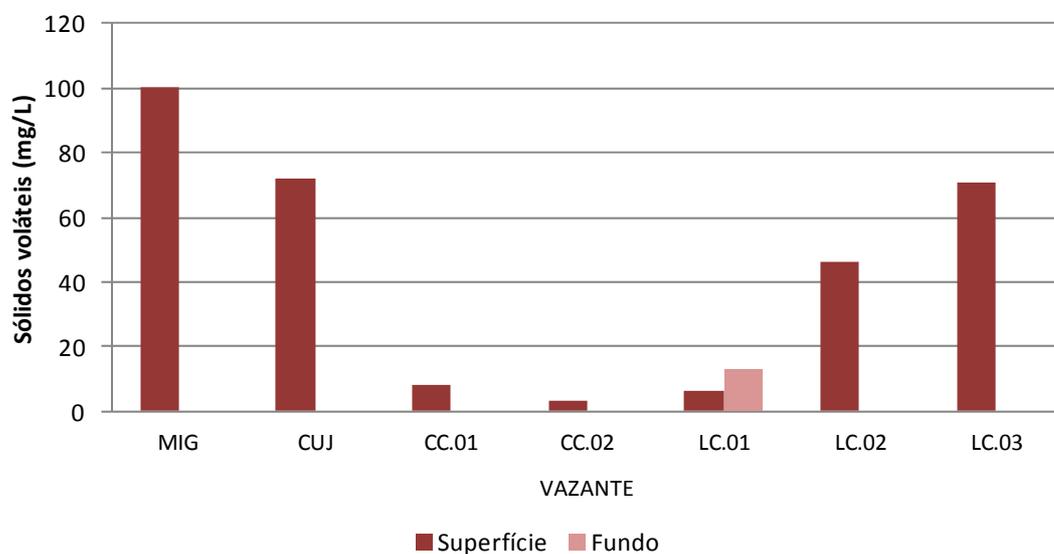


Figura 5.1-37 - Concentrações de sólidos voláteis nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

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

5.1.3 - Físico-químicas

5.1.3.1 - Condutividade elétrica

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

A média da condutividade no rio Madeira foi de $99,9 \pm 10,2 \mu\text{S}/\text{cm}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-38), variando entre $73 \mu\text{S}/\text{cm}$ (JUS.03 fundo) e $106 \mu\text{S}/\text{cm}$ (MON.01 superfície e fundo). Os altos valores de condutividade são característicos de sistemas amazônicos de águas brancas, como é o caso do rio Madeira. Os perfis de condutividade ao longo da coluna d'água indicaram que não há diferença entre superfície e fundo, com exceção da estação JUS.03 que apresentou uma pequena variação (Figura 5.1-39).

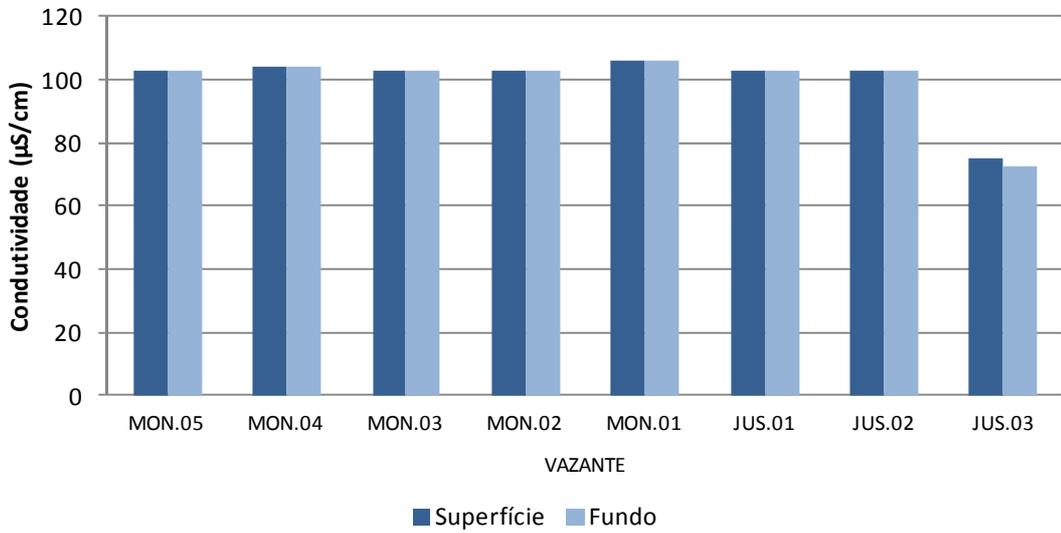


Figura 5.1-38 - Condutividade elétrica no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

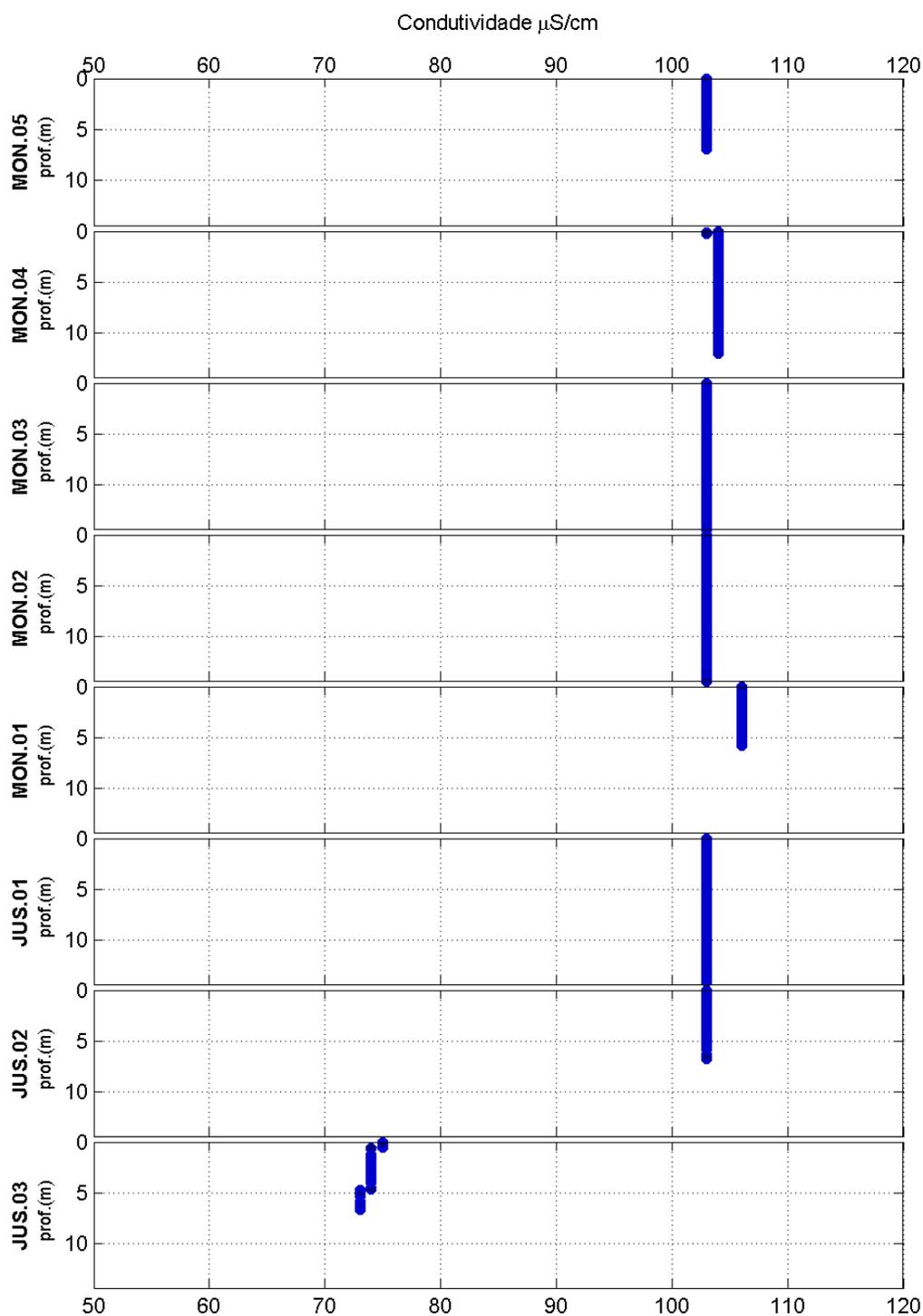


Figura 5.1-39 - Perfis de condutividade elétrica no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

Nos tributários, a condutividade elétrica apresentou valores menores do que os encontrados no rio Madeira. A condutividade média global foi de $10 \pm 4,5 \mu\text{S}/\text{cm}$ (média \pm DP), com valores variando de $5 \mu\text{S}/\text{cm}$ (TEO) a $20 \mu\text{S}/\text{cm}$ (JAM) (Figura 5.1-40). Os perfis de condutividade não indicaram variação vertical (Figura 5.1-41).

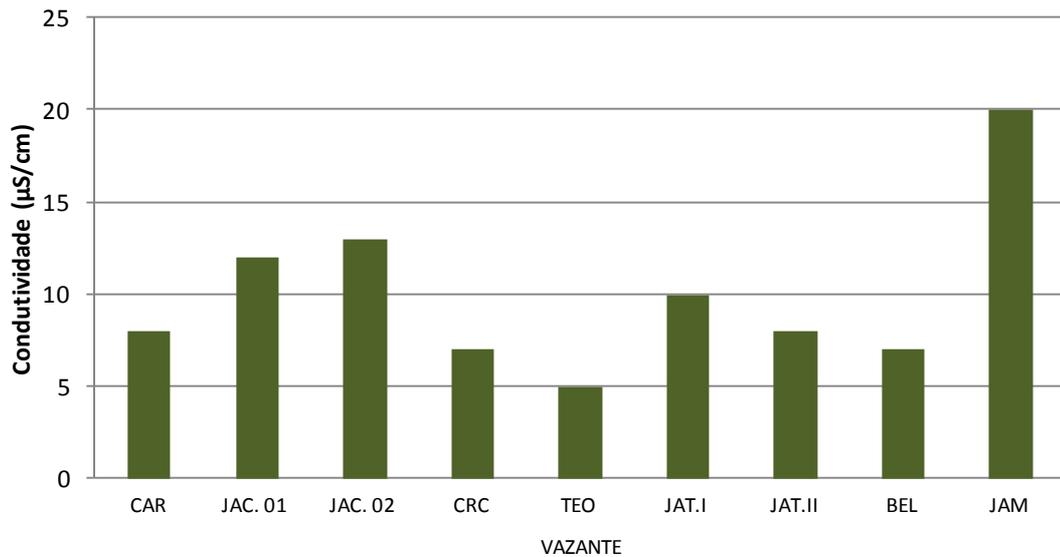


Figura 5.1-40 - Condutividade elétrica nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

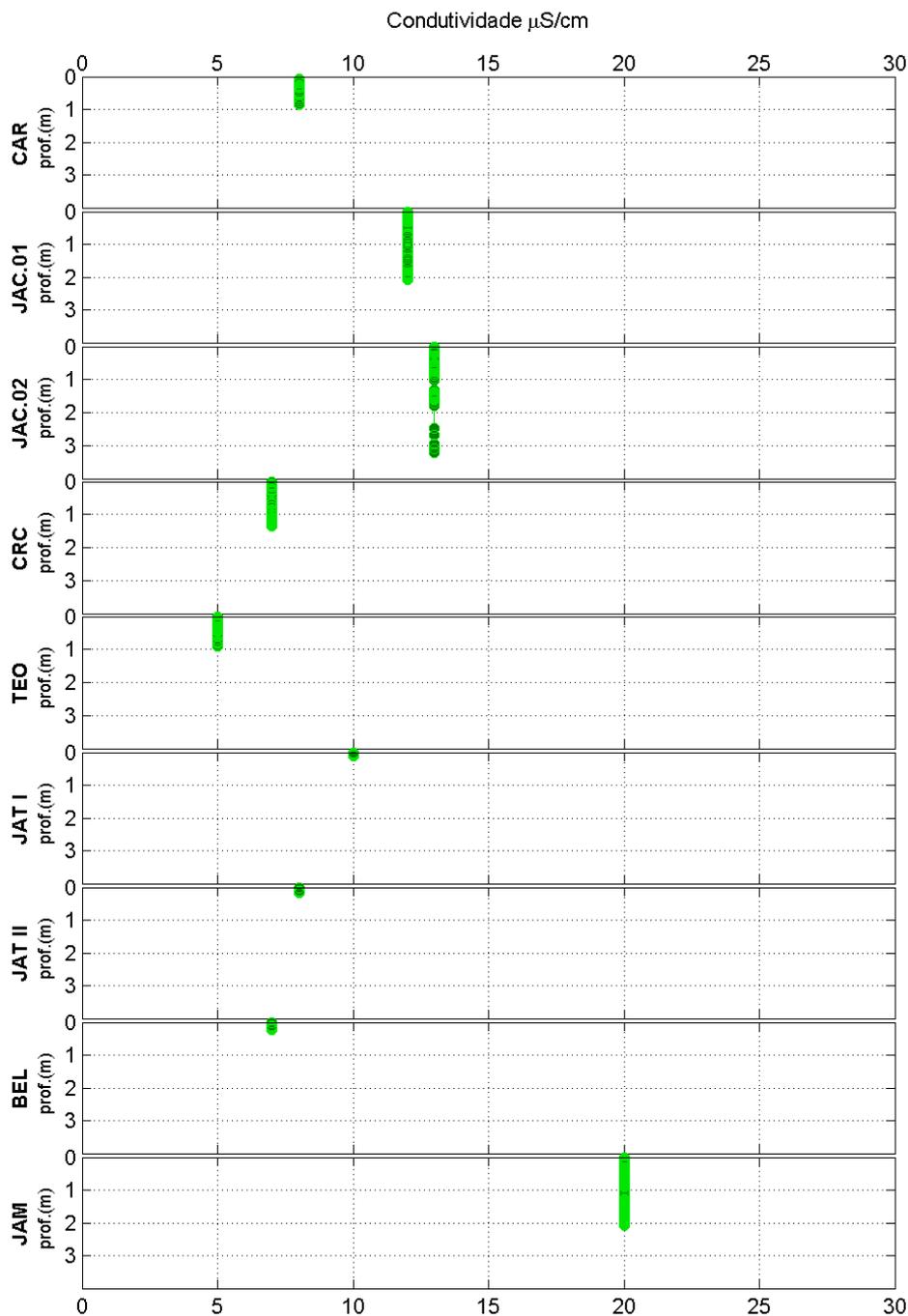


Figura 5.1-41 - Perfis de condutividade elétrica nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

A condutividade dos lagos e canais foi semelhante à dos tributários, com média de $17 \pm 11,7$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ (média \pm DP). O menor valor foi registrado na estação LC.03 e o maior na estação LC.02, com respectivamente $8 \mu\text{S}/\text{cm}$ e $37 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 5.1-42). Os perfis de condutividade elétrica ao longo da coluna d'água dos lagos e canais, assim como para o rio Madeira e os tributários, não indicaram variação vertical dessa variável (Figura 5.1-43).

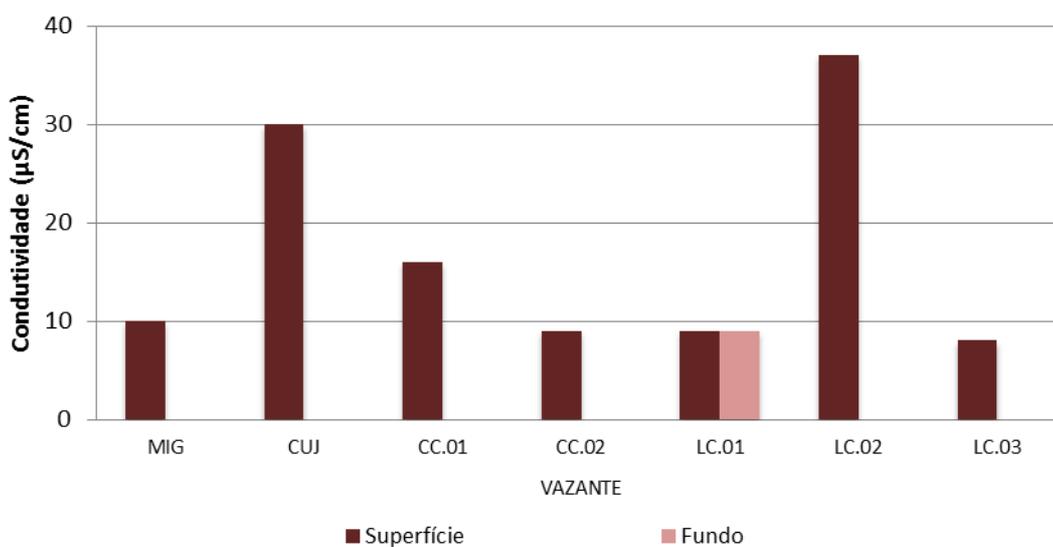


Figura 5.1-42 - Condutividade elétrica nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

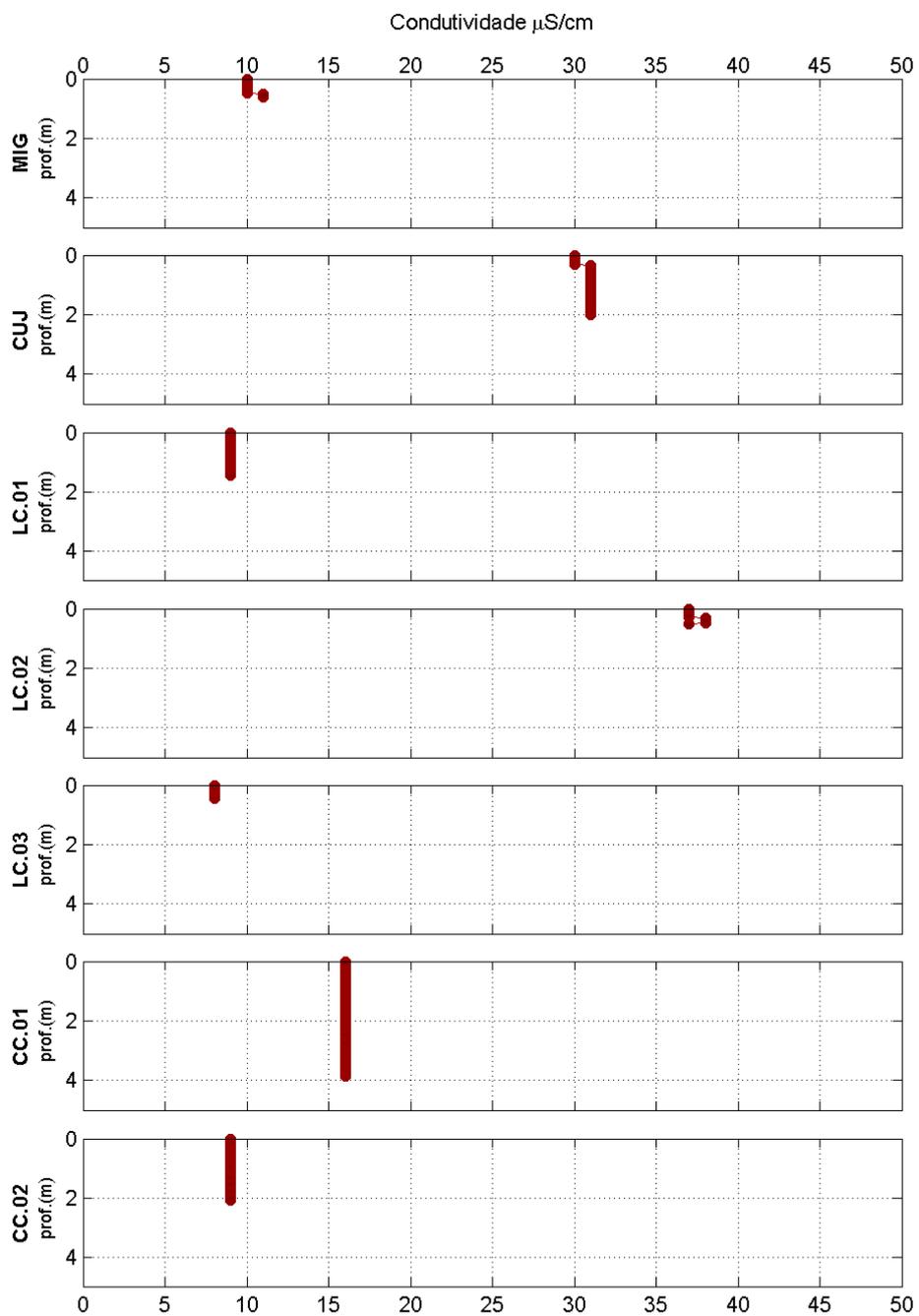


Figura 5.1-43 - Perfis de condutividade elétrica nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

5.1.3.2 - Potencial hidrogeniônico (pH)

No rio Madeira o pH esteve próximo da neutralidade, com valores variando entre 6 e 8 (Figura 5.1-44). A média do período estudado foi de $7,3 \pm 0,1$ (média \pm DP), semelhante ao valor médio relatado no EIA - $6,8 \pm 0,3$ (média \pm DP). O perfil de pH evidencia a pequena variação vertical desta variável nas estações amostradas (Figura 5.1-45).

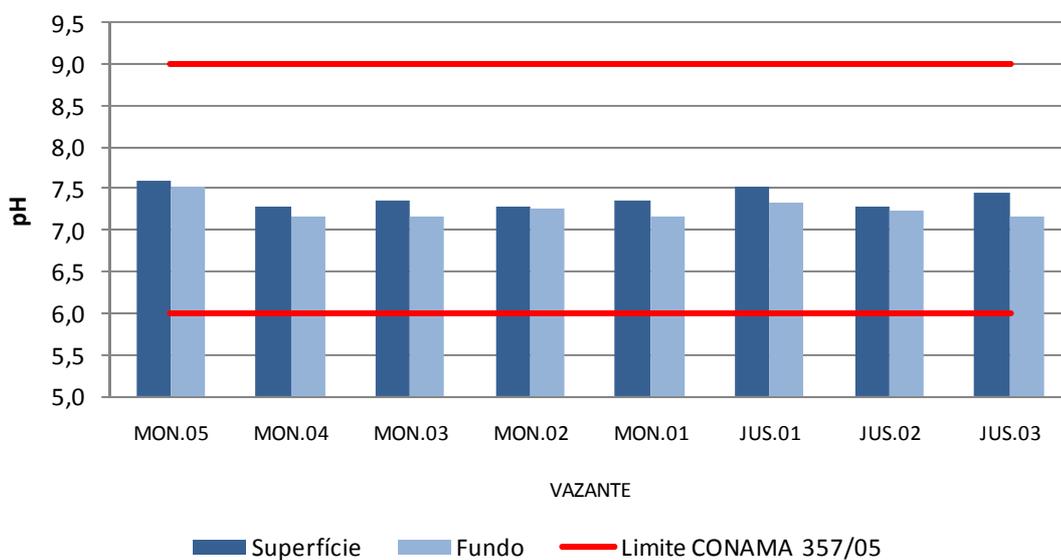


Figura 5.1-44 - Valores de pH no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

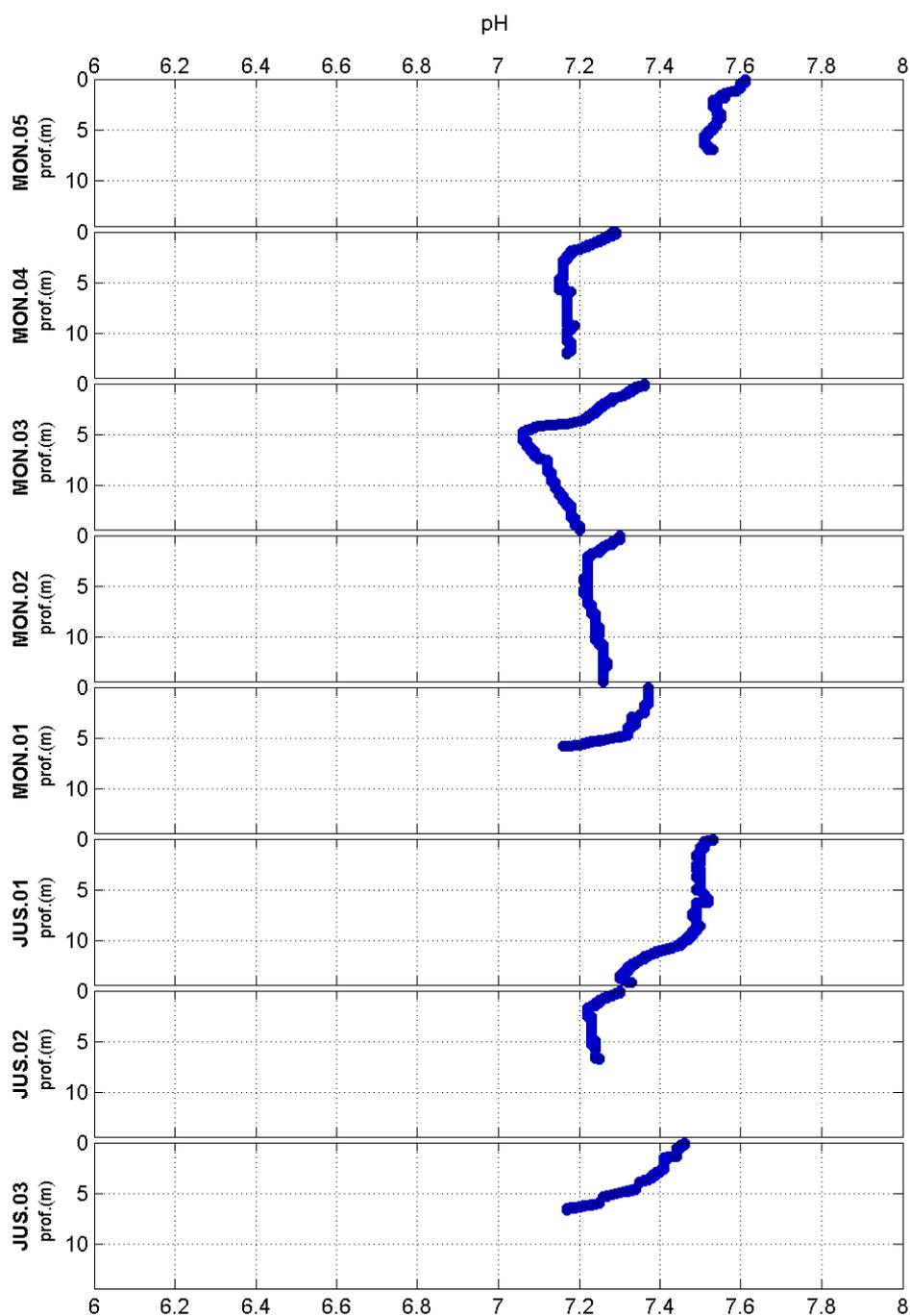


Figura 5.1-45 - Perfis de pH no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

Nos tributários, o pH foi geralmente mais ácido do que no rio Madeira. Os valores nos tributários variaram de 5,2 (TEO) a 7,1 (JAM), com valor médio de $6,1 \pm 0,5$ (média \pm DP) (Figura 5.1-46). Não houve variação vertical significativa nas estações amostradas (Figura 5.1-47).

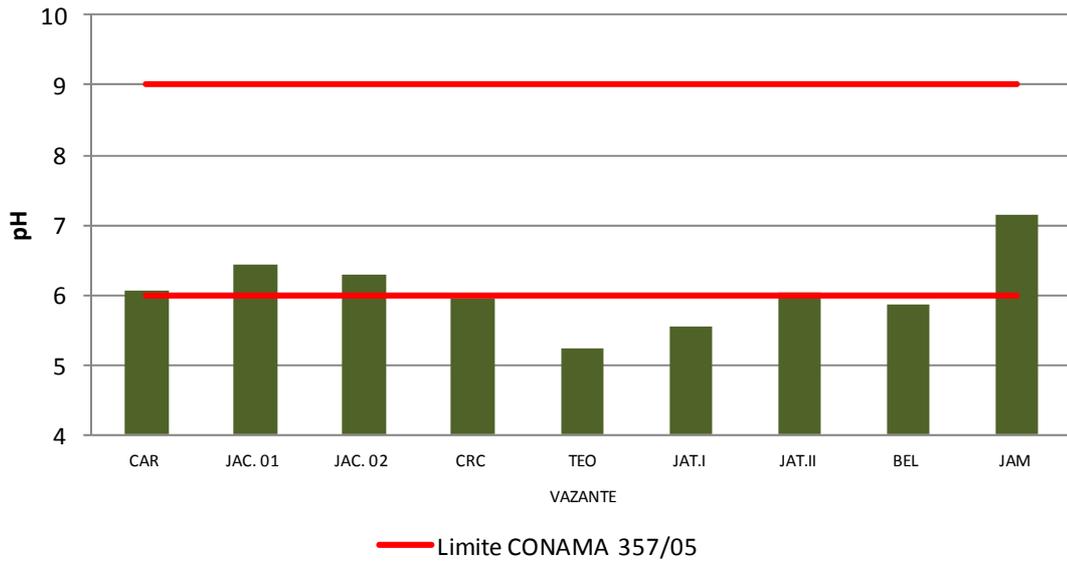


Figura 5.1-46 - Valores de pH nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

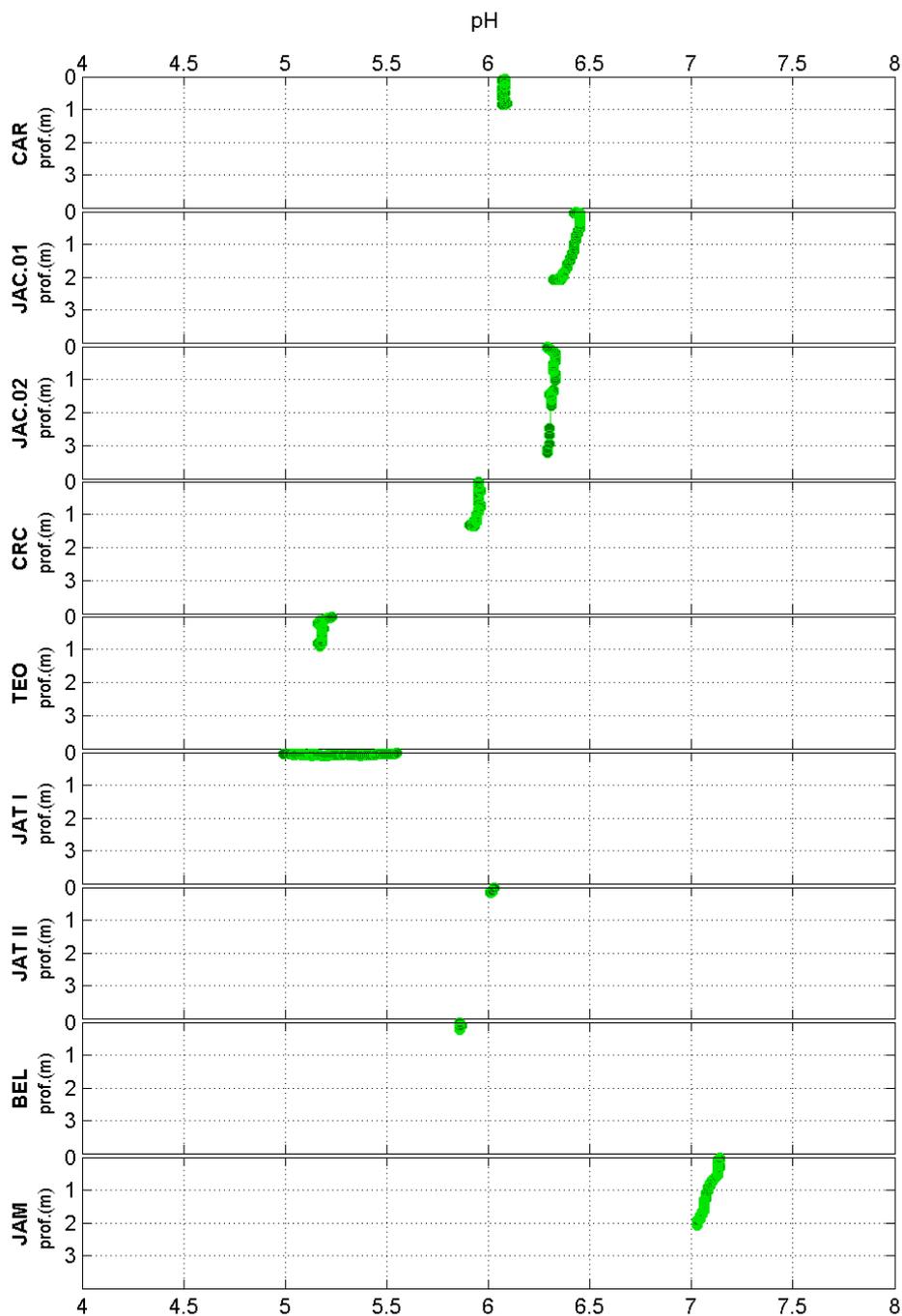


Figura 5.1-47 - Perfis de pH nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

Nos lagos e canais os menores valores foram de 5,8 (CC.01), ao passo que o maior valor foi de 7,4 (CUJ) (Figura 5.1-48). O valor médio foi de $6,5 \pm 0,6$ (média \pm DP). Como no rio Madeira e nos tributários, o pH variou pouco ao longo da coluna d'água nos tributários. A estação CUJ apresentou a maior variação, ocorrendo aumento da acidez com o aumento da profundidade (Figura 5.1-49).

Em sistemas lênticos, o pH tender ser menor no fundo, isso devido ao fato de a respiração sobrepujar a produção primária, uma vez que a luz atua como fator limitante à produção. Com aumento da respiração, há aumento da liberação de gás carbônico, que reage com a água, formando o ácido carbônico, levando à diminuição do pH. Como os rios sofrem constante mistura da massa d'água, esse gradiente vertical é mais discreto. Em ambientes lênticos, entretanto, a ocorrência de estratificação térmica causa aprisionamento de gás carbônico no fundo, diminuindo o pH.

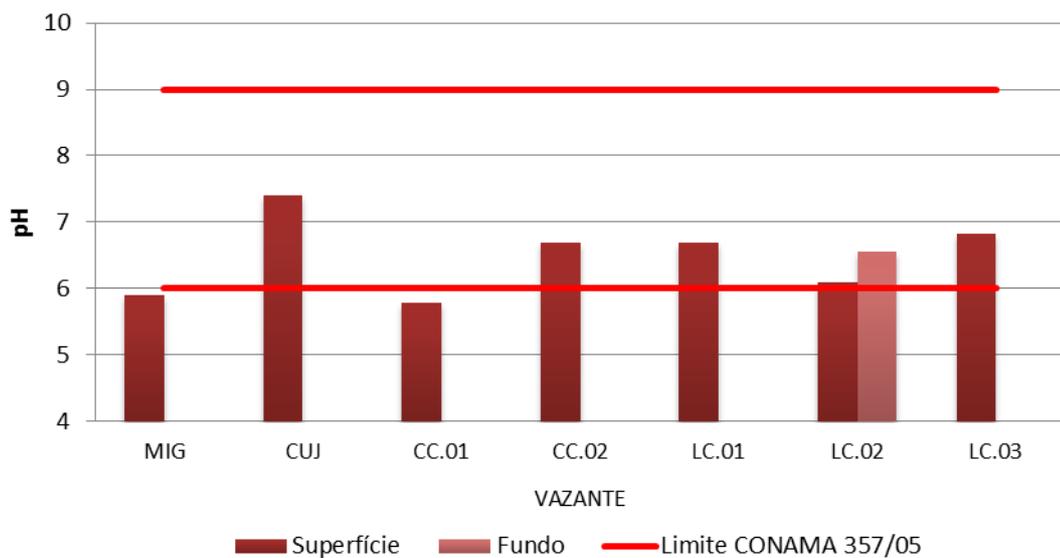


Figura 5.1-48 - Valores de pH nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

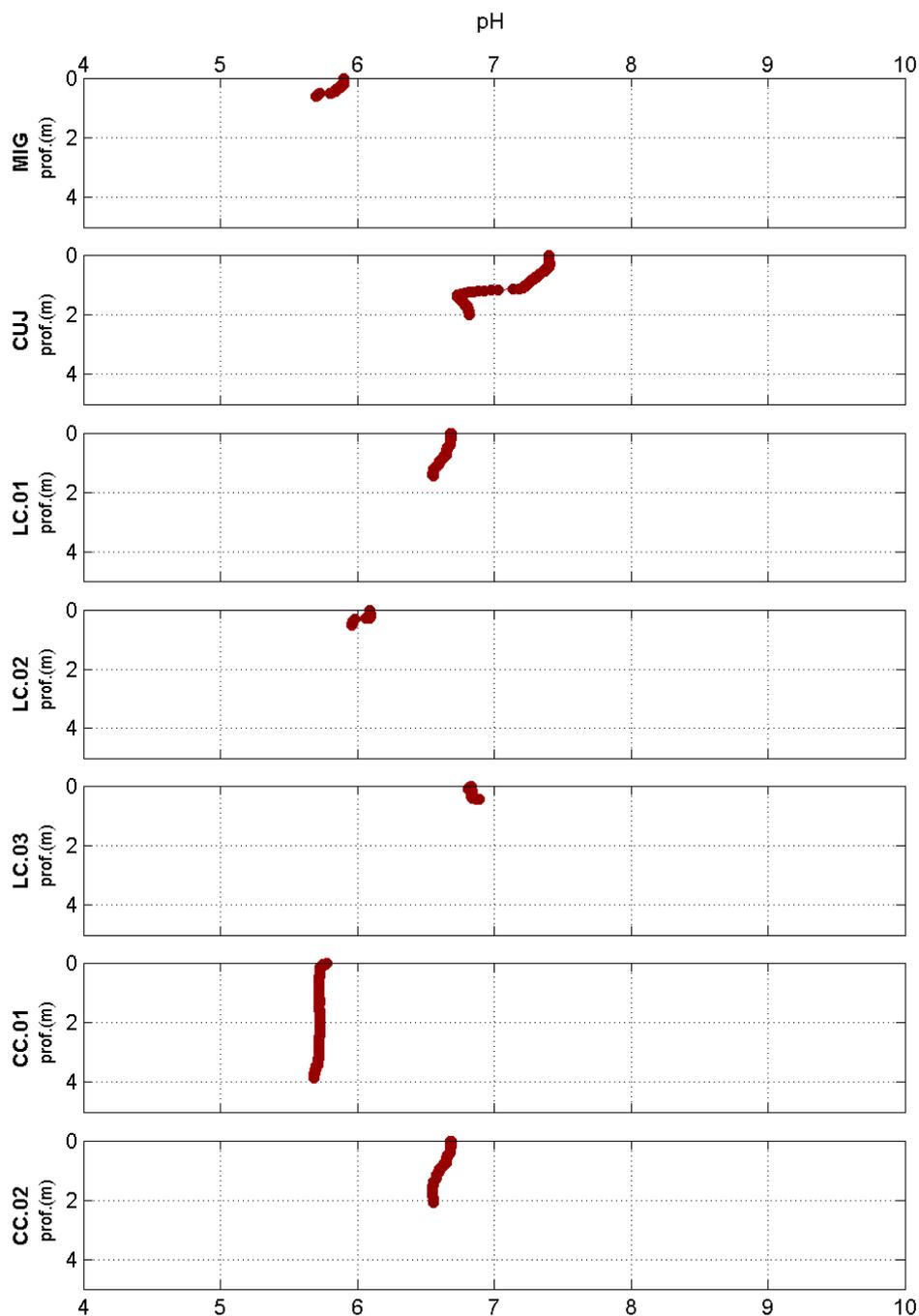


Figura 5.1-49 - Perfis de pH nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

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 a aporte de material orgânico terrestre, que 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).

As concentrações de oxigênio dissolvido (OD) oscilaram entre 6,8 mg/L (JUS.03) e 8,6 mg/L (MON.01), com média de $7,8 \pm 0,6$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-50). O perfil de oxigênio dissolvido (Figura 5.1-51) mostrou que houve pouca variação vertical dessas variáveis, além de demonstrarem que as estações de jusante são mais bem oxigenadas do que as estações de montante, entretanto, a estação JUS.03 não apresentou este padrão nesta campanha.

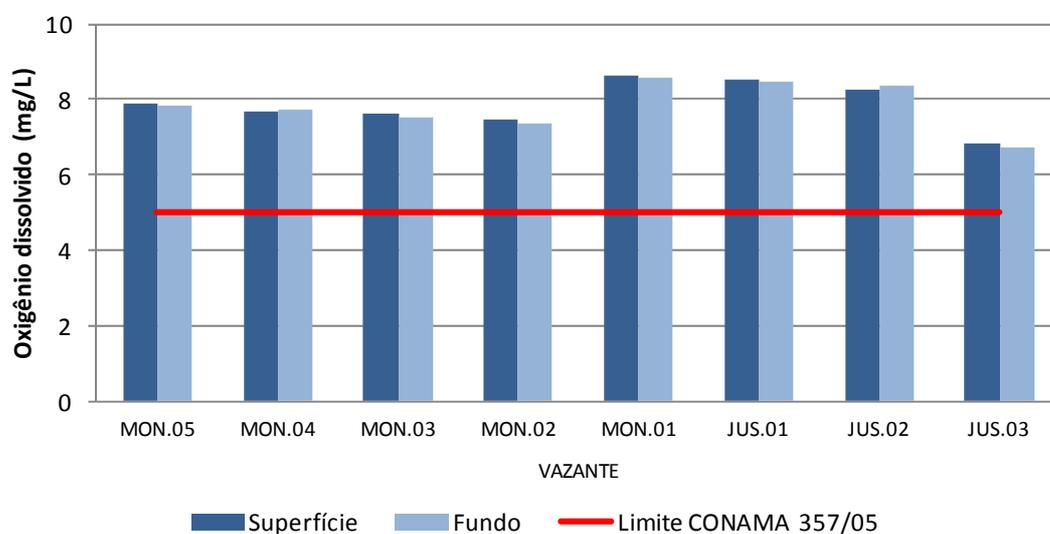


Figura 5.1-50 - Concentrações de oxigênio dissolvido no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

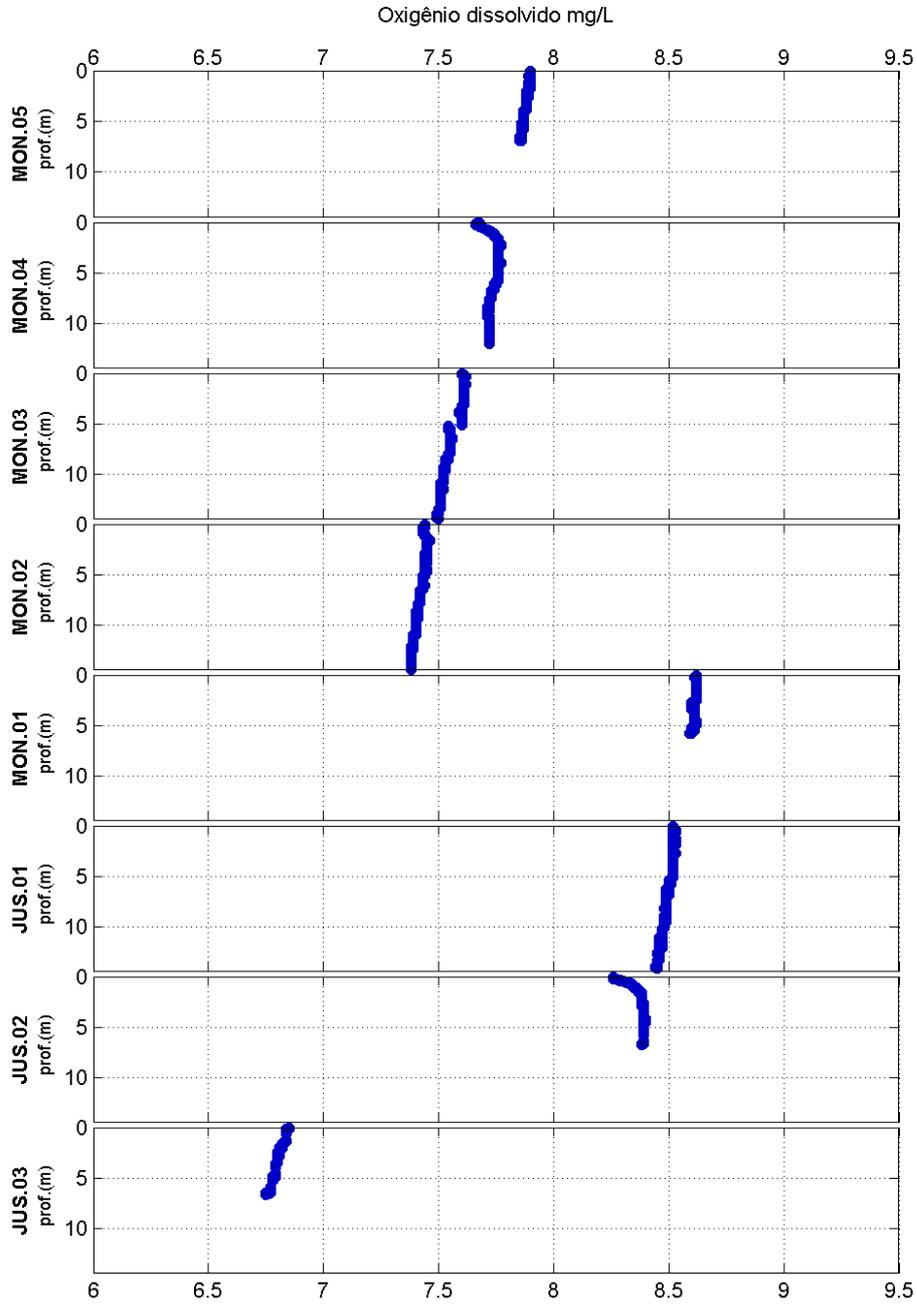


Figura 5.1-51 - Perfis de concentração de oxigênio dissolvido no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

Nos tributários, o oxigênio dissolvido (OD) variou entre 5,2 mg/L (BEL) e 7,1 mg/L (JAC.02), com média de $6,3 \pm 0,6$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-52). O perfil de oxigênio dissolvido mostrou homogeneidade vertical em todos os sistemas estudados (Figura 5.1-53).

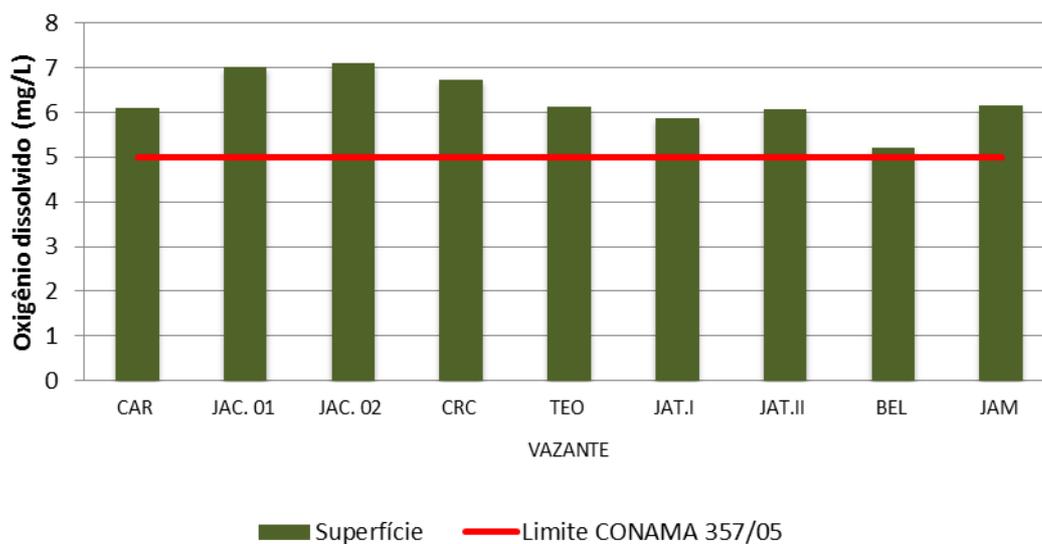


Figura 5.1-52 - Concentrações de oxigênio dissolvido nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

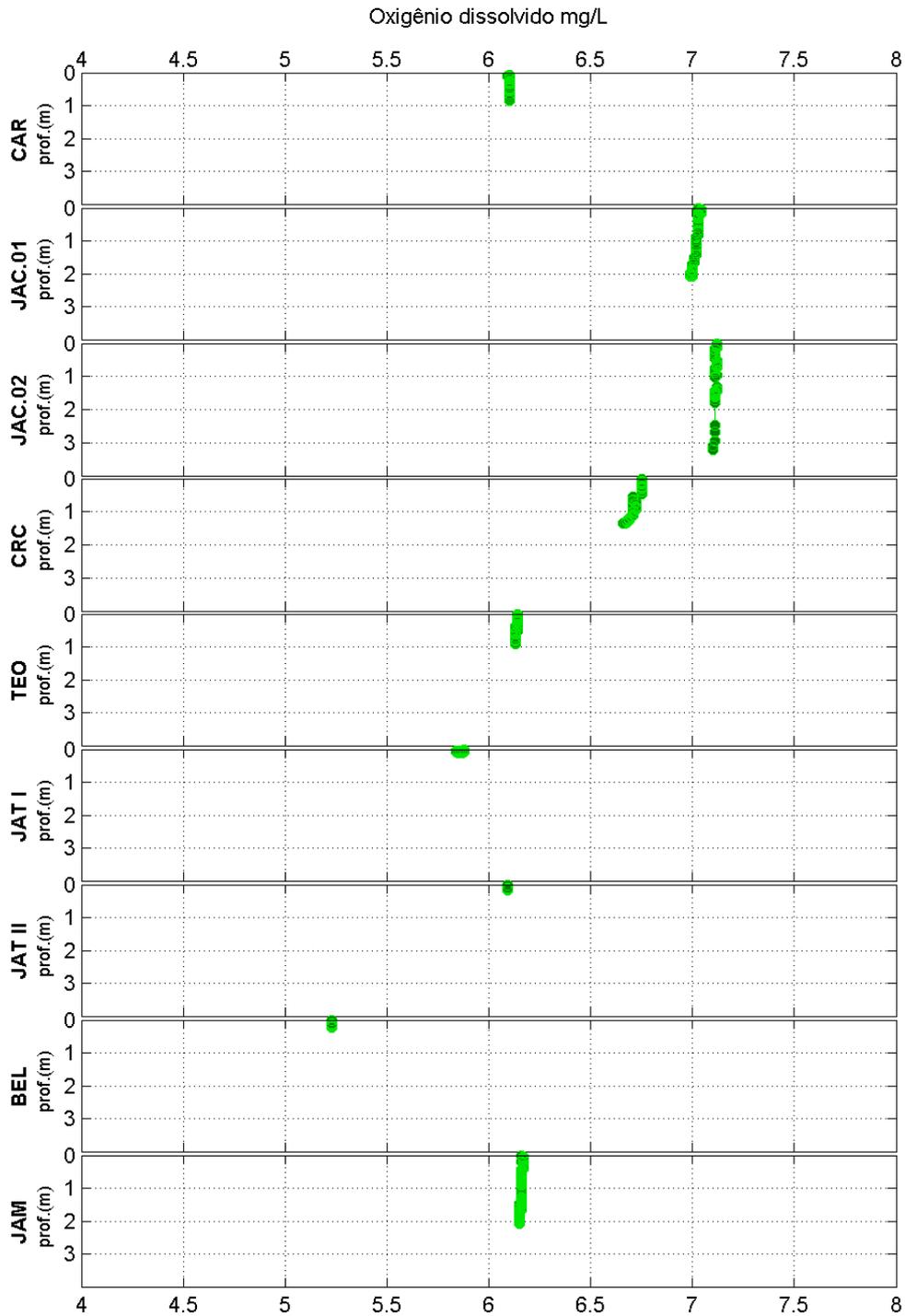


Figura 5.1-53 - Perfis de oxigênio dissolvido nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

Nos lagos e canais, a média do oxigênio dissolvido (OD) foi de $5,03 \pm 2,08$ mg/L (média \pm DP), com as concentrações oscilando entre 1,6 mg/L (LC.02) e 8,0 mg/L (CUJ) (Figura 5.1-54). Na estação LC.02, o baixo valor pode estar relacionado à intensa atividade de degradação de matéria orgânica, ao passo que na estação CUJ o alto valor pode estar relacionado a altos índices de produção fitoplanctônica. O perfil de oxigênio dissolvido mostram que as estações CUJ e MIG apresentaram declínio da concentração de oxigênio com o aumento da profundidade, com oxiclina bem definida. As estações localizadas no lago e no canal do Cuniã apresentaram uma homogênea distribuição vertical do oxigênio (Figura 5.1-55).

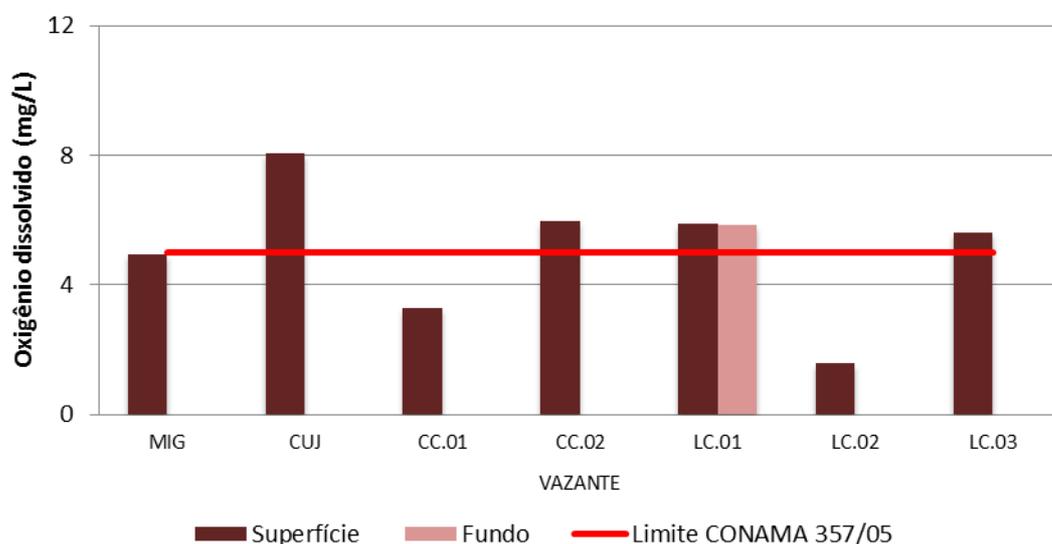


Figura 5.1-54 - Concentrações de oxigênio dissolvido nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

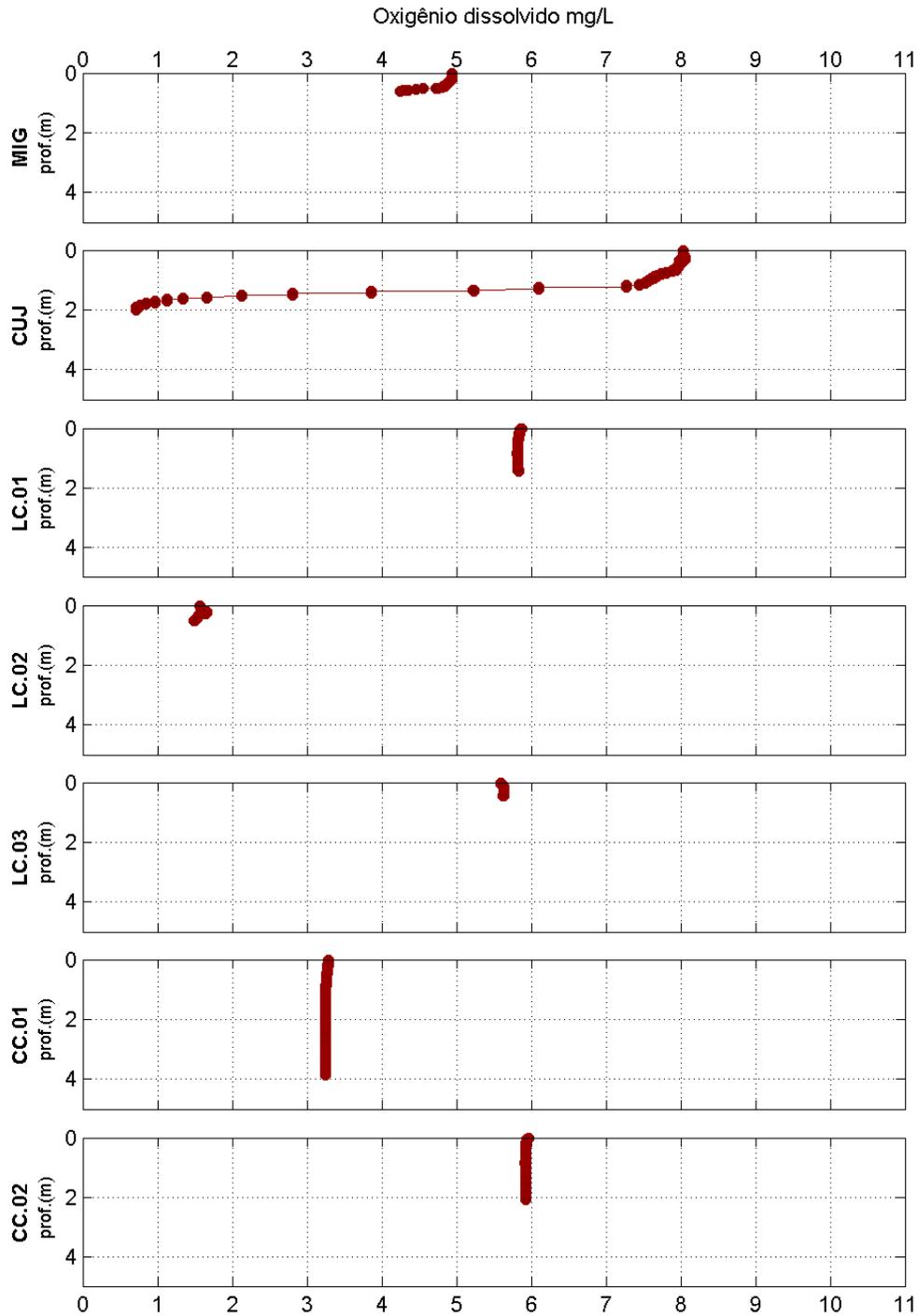


Figura 5.1-55 - Perfis de oxigênio dissolvido nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

As estações MON.01, JUS.01 e JUS.02 apresentaram índice de oxigenação maior do que nas demais estações. Essas estações situam-se a jusante da cachoeira de Santo Antônio, a mais turbulenta corredeira do rio Madeira na região do empreendimento, o que 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).

Assim como nas estações do rio Madeira, as amostras coletadas nos tributários atenderam a concentração mínima de OD para corpos d'água de Classe 2 segundo o Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 (5 mg/L). Já nos lagos e canais as estações CC.01 e LC.02, situadas nas proximidades da desembocadura do canal Cuniã no rio e na área central do lago Cuniã, respectivamente, não atenderam a este limite. A entrada de material de origem terrestre, favorecendo a decomposição e o consequente consumo do oxigênio pode explicar esses valores. Contudo, trata-se de uma condição natural desses ambientes (Melack & Fisher, 1983).

5.1.5 - Químicas I-B

5.1.5.1 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅)

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) informa a quantidade de matéria orgânica e inorgânica em um corpo d'água susceptível à oxidação por via biológica (APHA, 1998). O cálculo da DBO₅ é feito com base nas concentrações de oxigênio no momento da incubação e cinco dias após a incubação da amostra.

Houve pouca variação espacial, com os valores oscilando entre 0,14 mg/L (JUS.01 fundo) e 1,2 mg/L (JUS.03 fundo), com média de $0,5 \pm 0,3$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-56). Os resultados obtidos neste monitoramento foram semelhantes aos descritos no EIA, que registrou média global de $1,1 \pm 0,6$ mg/L (média \pm DP).

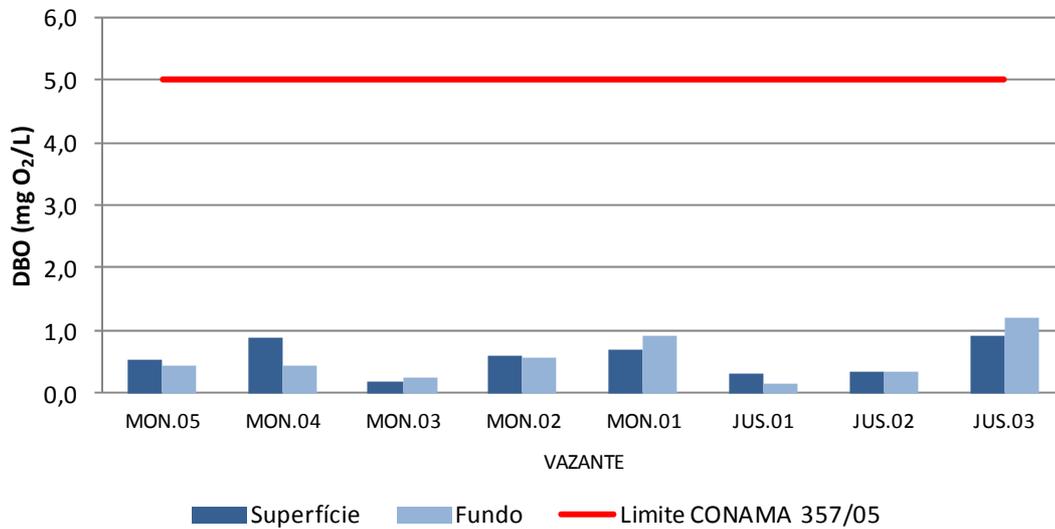


Figura 5.1-56 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

Os tributários apresentaram baixos valores de DBO₅, com uma média de 0,6 ± 0,4 mg/L (média ± DP). A DBO₅ variou de 0,37 mg/L (JAT II) a 1,1 mg/L (TEO) (Figura 5.1-57).

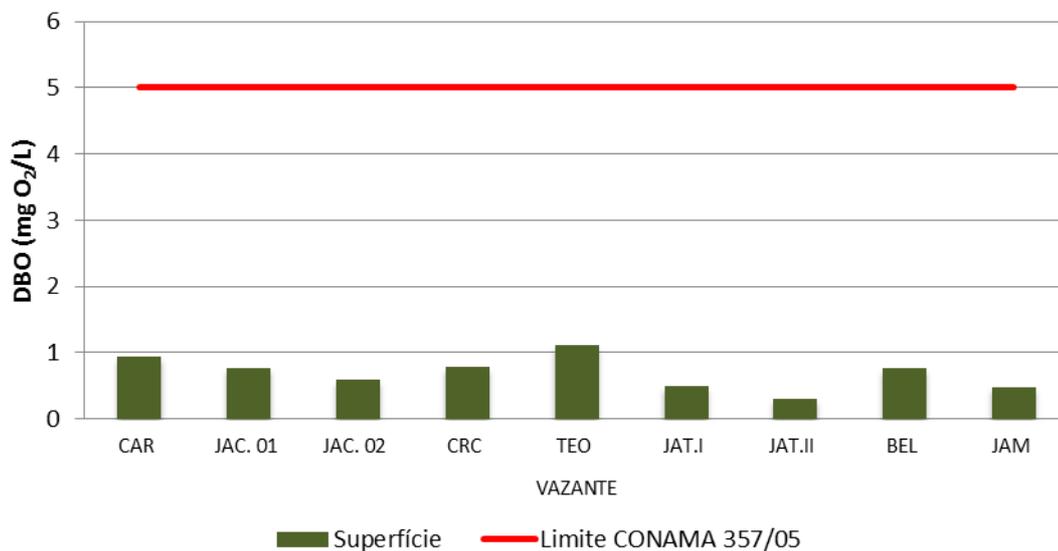


Figura 5.1-57 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

Nos lagos e canais, a DBO₅ variou entre 0,8 mg/L (LC.03) e 33,47 mg/L (LC.02), com valor médio de $5,96 \pm 12,14$ mg/L (média \pm DP). A variação espacial não foi alta, mas foi mais pronunciada do que no rio Madeira e nos tributários (Figura 5.1-58).

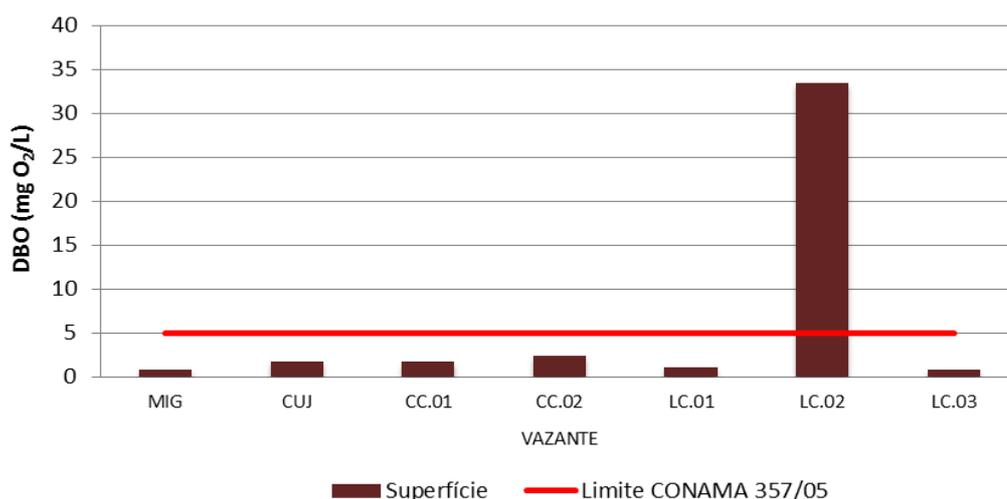


Figura 5.1-58 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

Todas as estações de monitoramento do rio Madeira e dos tributários atenderam à DBO₅ máxima de 5 mg/L prevista no Art.15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de Classe 2. Nos lagos e canais, a estação LC.02 apresentou um alto valor de DBO₅ (33,47 mg/L), que não atendeu ao limite estabelecido pela legislação ambiental.

5.1.6 - Química I-C

5.1.6.1 - 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 variou de 31,6 mg/L (MON.03 superfície) a 65,9 mg/L (JUS.01 superfície e fundo), com um valor médio de $53,9 \pm 9,9$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-59). Os valores encontrados estiveram próximos aos apresentados no EIA, que relata valor médio de 40 ± 16 mg/L (média \pm DP).

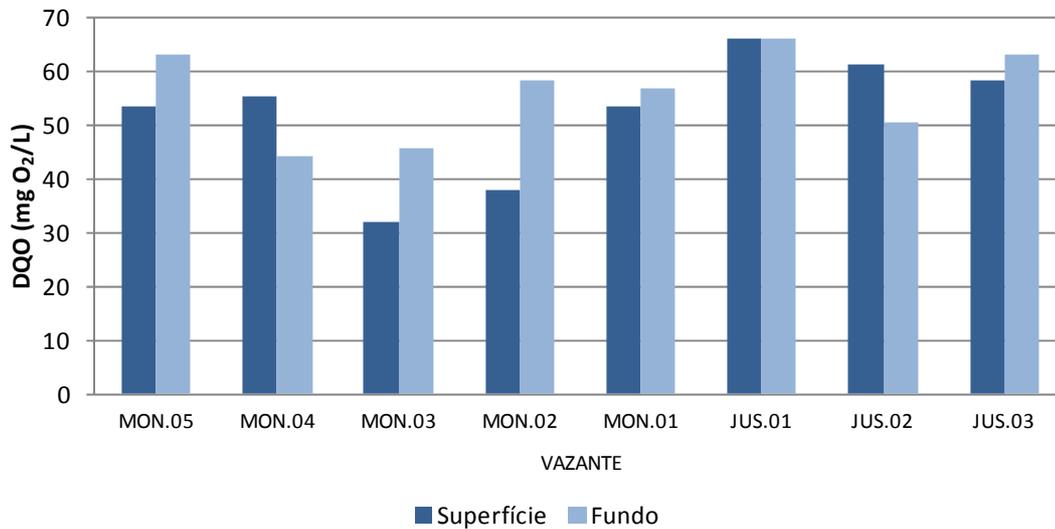


Figura 5.1-59 - Demanda química de oxigênio (DQO) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

A DQO dos tributários foi bastante inferior em relação à do rio Madeira. Os valores oscilaram entre 14,5 mg/L (CRC) e 50,3 mg/L (TEO), com valor médio de $30,5 \pm 11,5$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-60). Por se tratarem de ambientes diferentes e desconectados, a DQO variou bastante entre as estações.

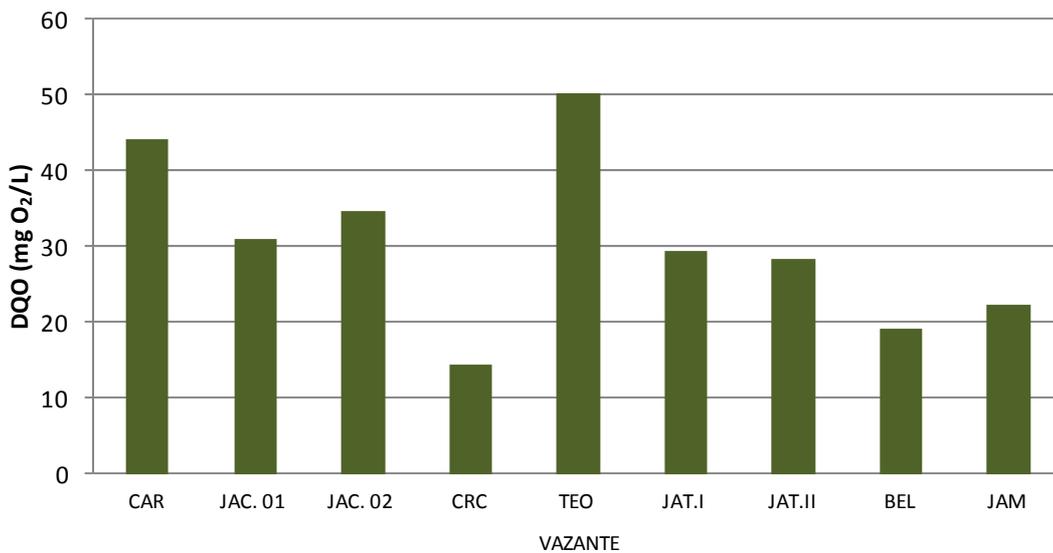


Figura 5.1-60 - Demanda química de oxigênio (DQO) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

Nos lagos e canais, a DQO foi geralmente mais baixa do que no rio Madeira e relativamente parecida com os tributários. Os valores oscilaram entre 31,6 mg/L (LC.01 superfície) e 53,4 mg/L (CUJ), com valor médio de $39,9 \pm 7,5$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-61).

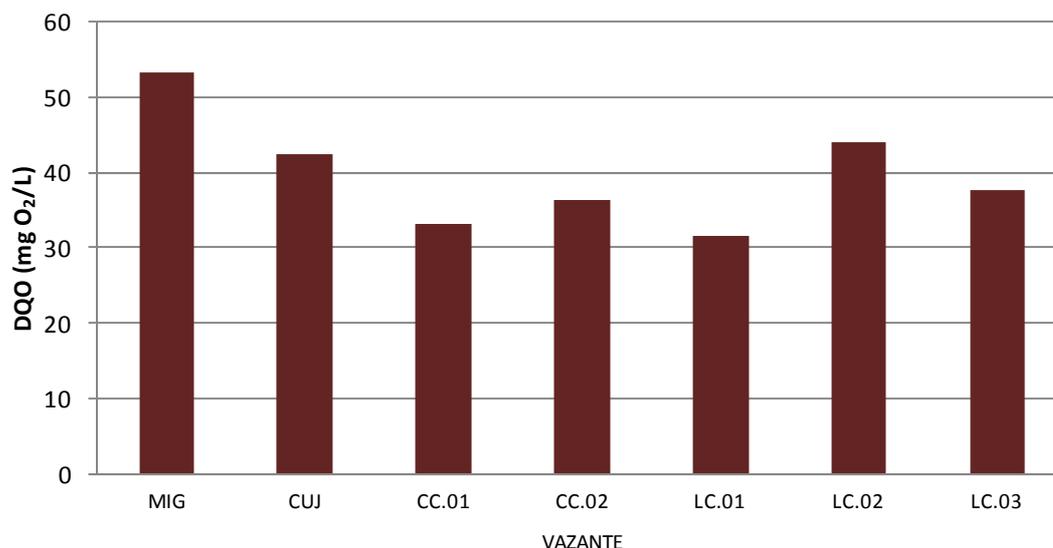


Figura 5.1-61 - Demanda química de oxigênio (DQO) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

5.1.7 - Química I-D

5.1.7.1 - Carbono inorgânico, Carbono orgânico total, Carbono total, Carbono orgânico refratário e Carbono orgânico dissolvido

O carbono inorgânico (CI) apresentou valores mínimo e máximo de 5,2 mg/L (JUS.03 fundo) e 7,4 mg/L (MON.04 superfície), respectivamente. O valor médio foi de $6,9 \pm 0,7$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-62). Houve pouca variabilidade espacial nas concentrações de CI e a variação entre superfície e fundo foi praticamente inexistente, com valores muito próximos.

A média do carbono orgânico total (COT) foi de $3,2 \pm 0,3$ mg/L (média \pm DP), variando entre 2,6 mg/L (JUS.03 fundo) e 3,8 mg/L (MON.03 superfície) (Figura 5.1-63). As concentrações de COT no rio Madeira geralmente atingem seus maiores valores nos períodos de enchente e águas altas e os menores valores nos períodos de vazante e águas baixas. O carbono orgânico dissolvido (COD) apresentou média de $2,4 \pm 0,2$ mg/L (média \pm DP). Os valores oscilaram entre 2,0 mg/L (JUS.01 fundo) e 2,9 mg/L (MON.03 superfície) (Figura 5.1-64).

Não houve equivalência na composição do carbono total (CT) no rio Madeira, A parcela inorgânica contribuiu em média com 68% e a orgânica com 32% do total. O CT não apresentou grande variação espacial, de forma que a concentração média foi $10,1 \pm 1$ mg/L (média \pm DP), variando entre 7,8 mg/L (JUS.03 fundo) e 10,9 mg/L (MON.03 superfície) (Figura 5.1-65).

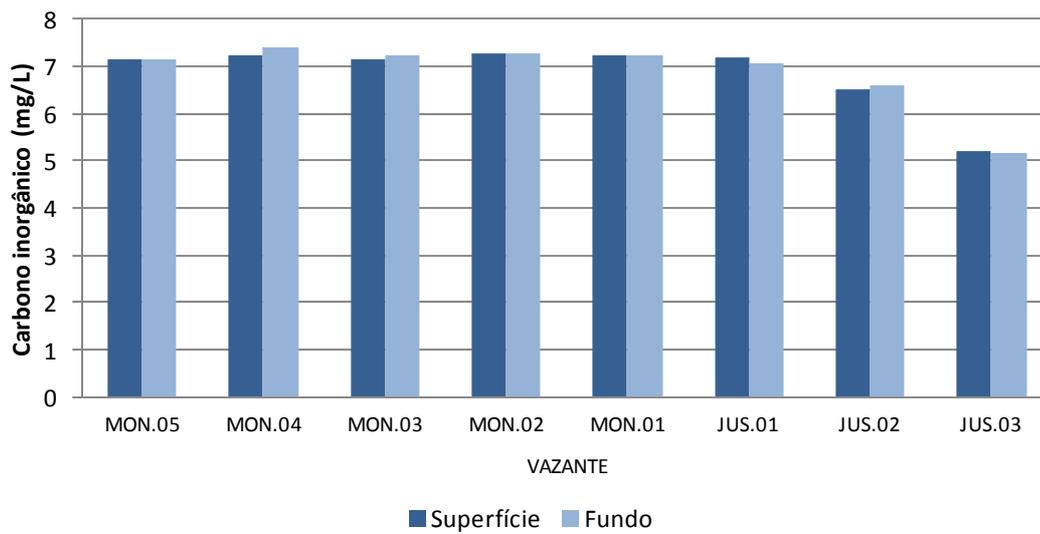


Figura 5.1-62 - Concentrações de carbono inorgânico no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

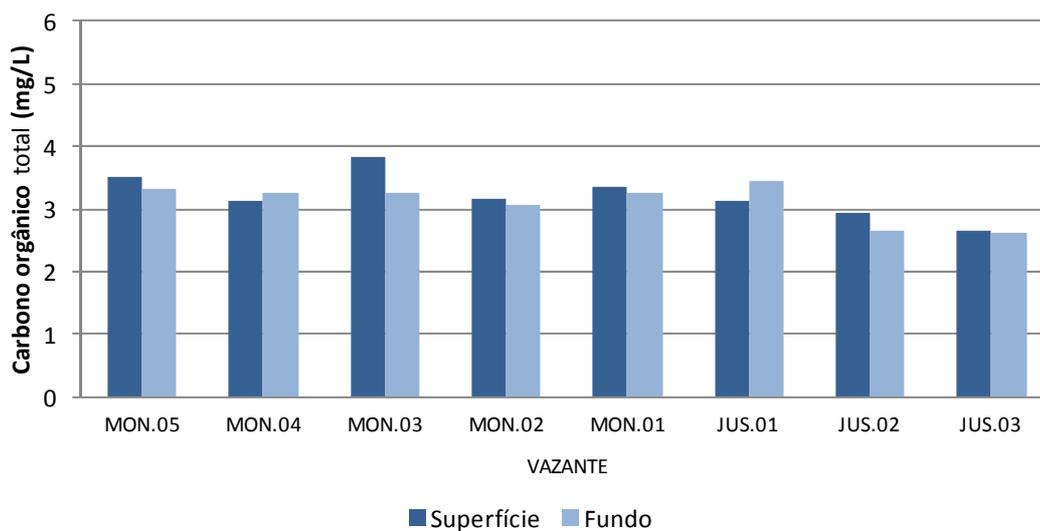


Figura 5.1-63 - Concentrações de carbono orgânico total (COT) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

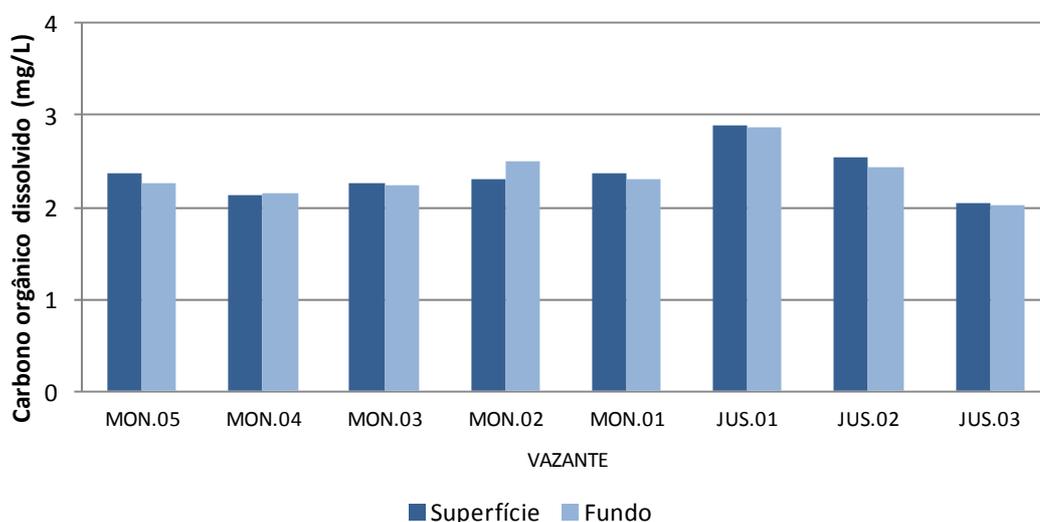


Figura 5.1-64 - Concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

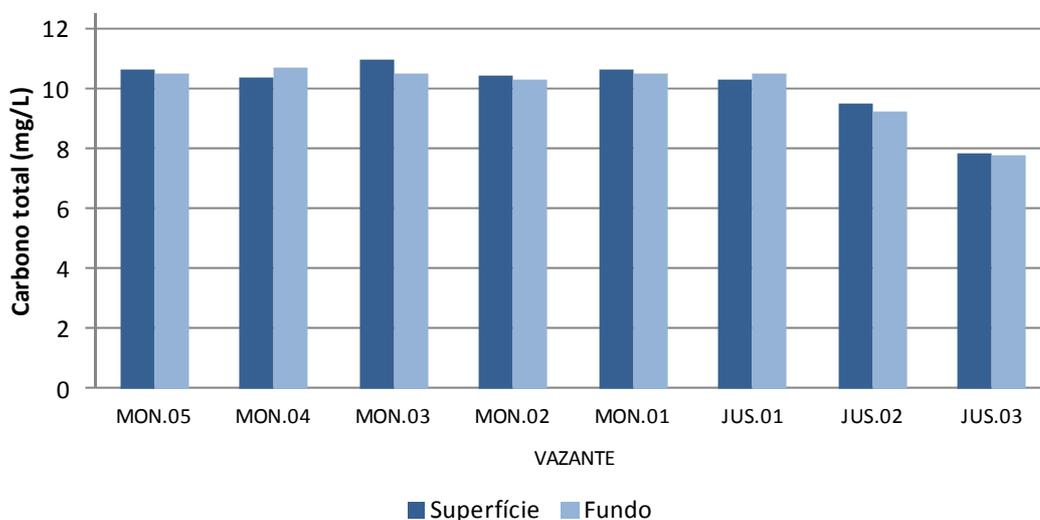


Figura 5.1-65 - Concentrações de carbono total (CT) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

Nos tributários, os valores de carbono inorgânico foram menores que no rio Madeira e semelhantes aos encontrados nos lagos e canais. A concentração média dessa parcela foi de $1,7 \pm 0,4$ mg/L (média \pm DP), de modo que as concentrações oscilaram entre 1,0 mg/L (TEO) e 2,4 mg/L (JAM) (Figura 5.1-66).

As concentrações de carbono orgânico total (COT) oscilaram entre 2,1 mg/L (JAM) e 3,4 mg/L (CAR), com uma média de $2,4 \pm 0,4$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-67). O carbono orgânico dissolvido (COD) apresentou média de $2,1 \pm 0,4$ mg/L (média \pm DP). Os valores oscilaram entre 1,5 mg/L (JAC.02) e 2,9 mg/L (JAC.01) (Figura 5.1-68).

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 58% do carbono total. A concentração média de CT foi de $4,1 \pm 0,5$ mg/L (média \pm DP), sendo que os valores oscilaram entre 3,3 mg/L (TEO) e 5,2 mg/L (CAR) (Figura 5.1-69).

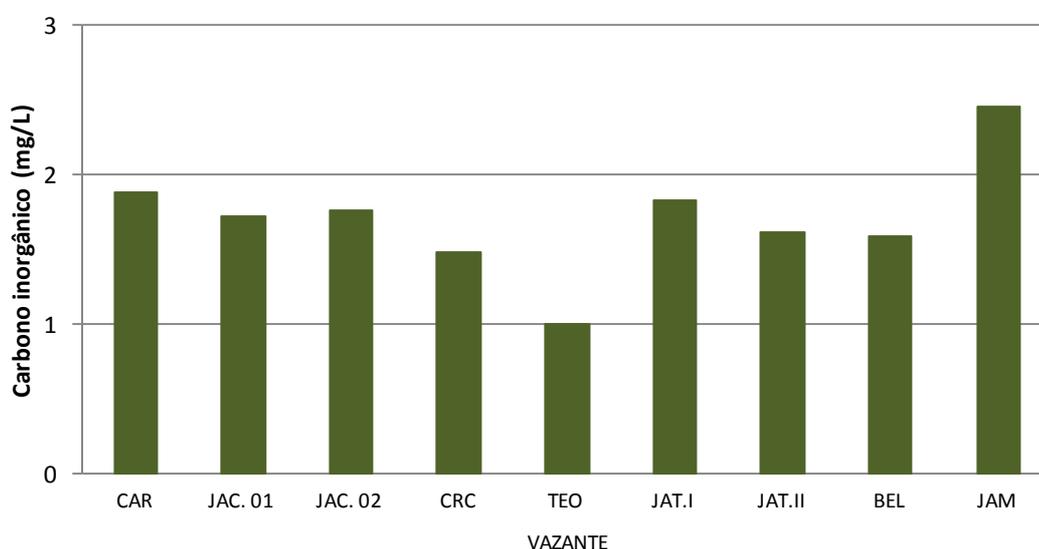


Figura 5.1-66 - Concentrações de carbono inorgânico nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

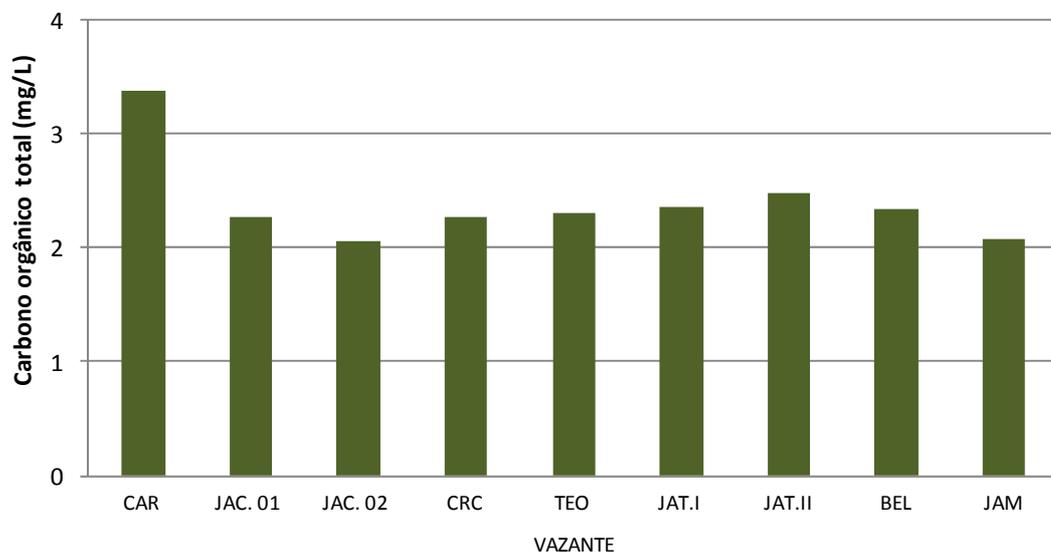


Figura 5.1-67 - Concentrações de carbono orgânico total (COT) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

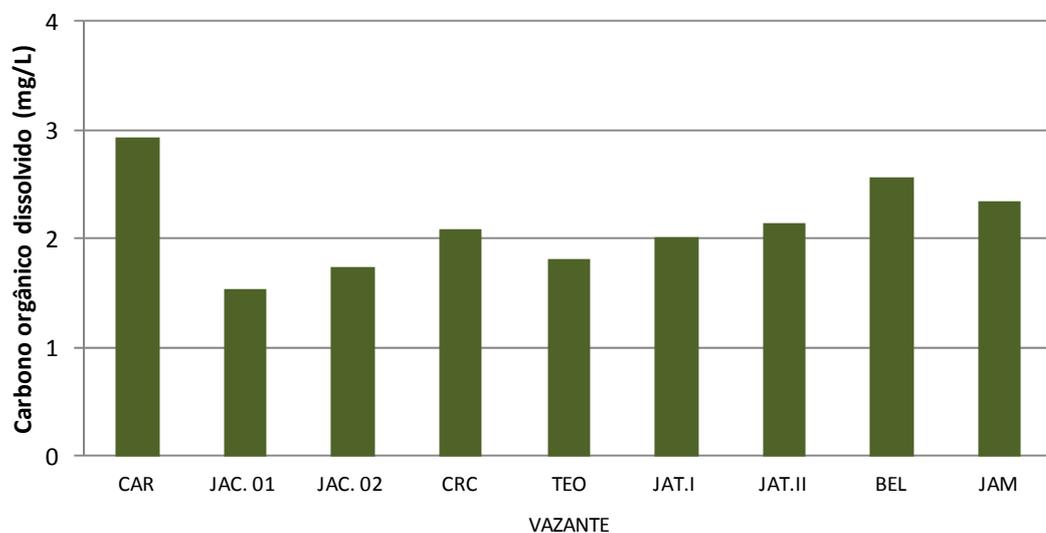


Figura 5.1-68 - Concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

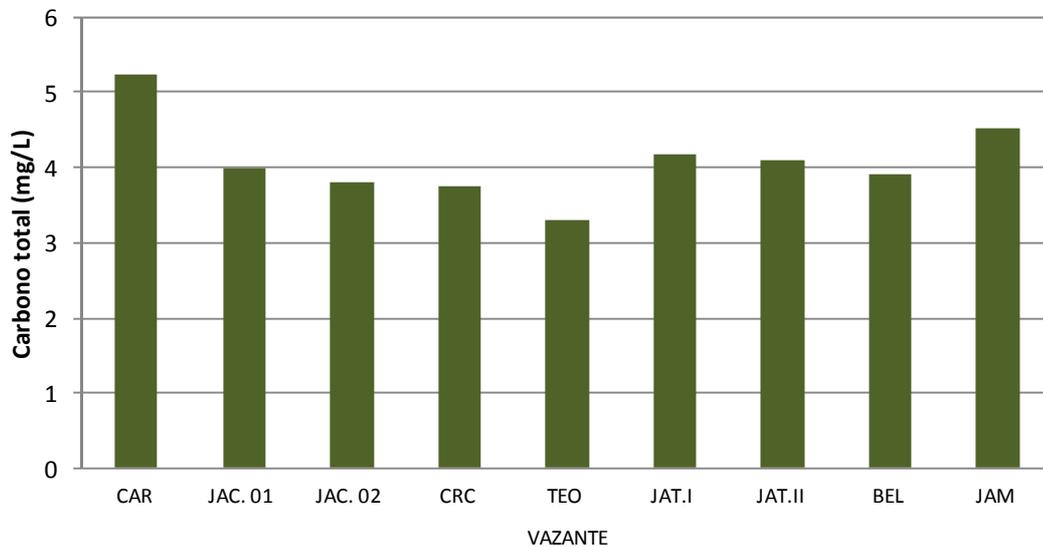


Figura 5.1-69 - Concentrações de carbono total (CT) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

Nos lagos e canais, o carbono inorgânico (CI) apresentou concentração média de $3,2 \pm 2,3$ mg/L (média \pm DP). Os valores de CI oscilaram entre 1,0 mg/L (MIG) a 8,2 mg/L (LC.02) (Figura 5.1-70). As concentrações de carbono orgânico total (COT) oscilaram entre 2,7 mg/L (LC.01 superfície) e 28 mg/L (LC.02), com uma média de $10,2 \pm 8,9$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-71). O carbono orgânico dissolvido (COD) apresentou média de $7,4 \pm 6,5$ mg/L (média \pm DP). Os valores oscilaram entre 2,3 mg/L (LC.01 superfície) a 20 mg/L (LC.02) (Figura 5.1-72). O alto valor encontrado na estação LC.02 é uma condição natural e foi responsável por elevar a média dos lagos e canais. Verifica-se que na estação LC.02 foi registrado uma alta DBO_5 , o que corrobora com a concentração obtida. A maior parte das estações apresentou baixos valores, visto que a mediana foi de 4,5 mg/L.

O carbono total (CT) dos lagos e canais foi composto predominantemente pela parcela orgânica, que respondeu por 76% do total. As concentrações de CT oscilaram entre 5,4 mg/L (LC.01) e 36,2 mg/L (LC.02), com média de $13,4 \pm 11,0$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-73).

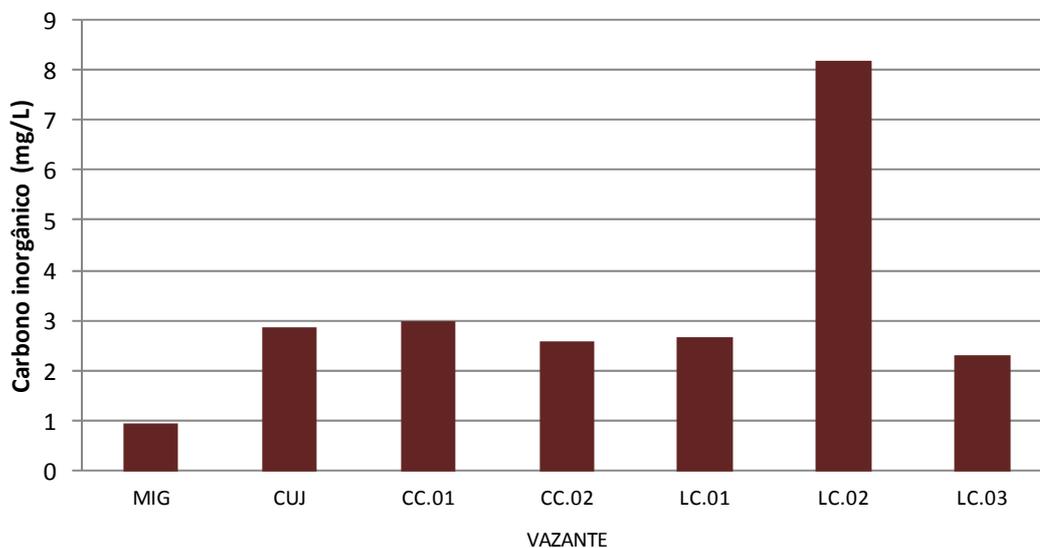


Figura 5.1-70 - Concentrações de carbono inorgânico nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

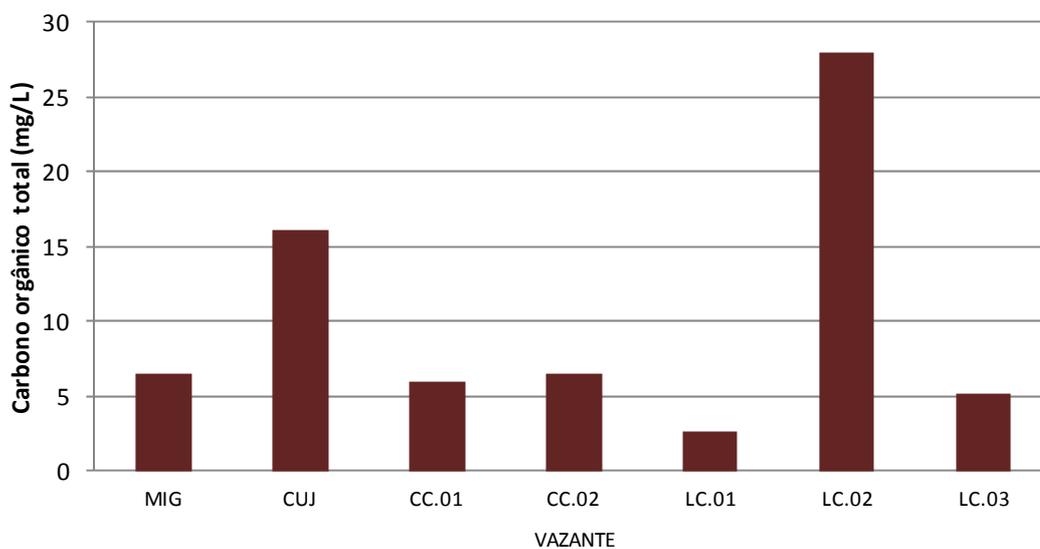


Figura 5.1-71 - Concentrações de carbono orgânico total (COT) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

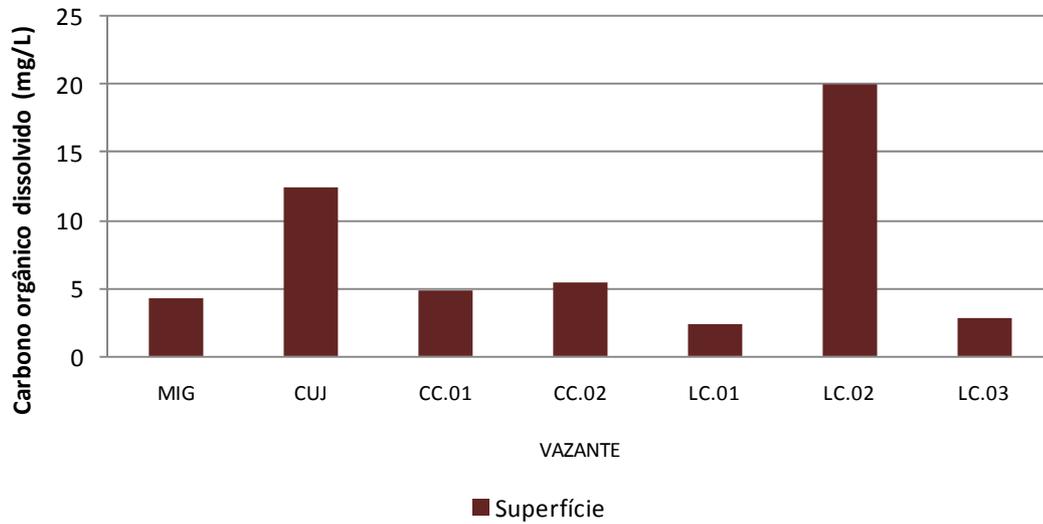


Figura 5.1-72 - Concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

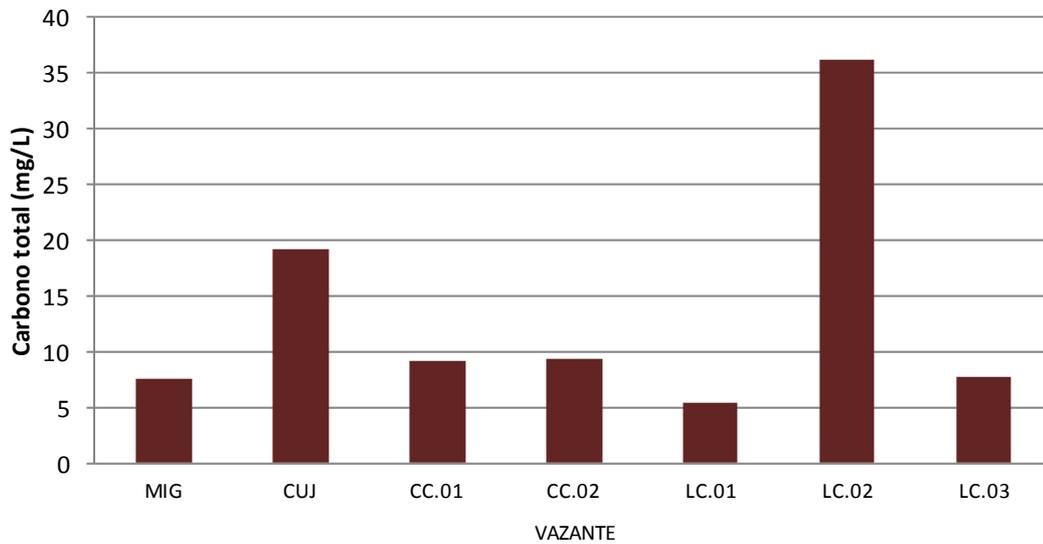


Figura 5.1-73 - Concentrações de carbono total (CT) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

5.1.8 - Química II

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

A alcalinidade mede a capacidade tamponante do sistema. Os valores médios de alcalinidade oscilaram entre 18,1 mg/L (JUS.03 fundo) a 32,9 mg/L (MON.01 fundo), com média de $24,4 \pm 4,2$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-74). Os valores encontrados corroboram o que foi relatado no EIA, onde a alcalinidade média descrita é de $26,4 \pm 2,5$ mg/L (média \pm DP). As principais substâncias responsáveis por conferir alcalinidade aos ecossistemas aquáticos são os bicarbonatos, os carbonatos e os hidróxidos. A distribuição entre as três formas ocorre em função do pH: $4,4 < \text{pH} < 8,3$ (bicarbonatos); $8,3 < \text{pH} < 9,4$ (carbonatos); $\text{pH} > 9,4$ (hidróxidos e carbonatos). Como o pH do rio Madeira esteve sempre entre 4,4 e 8,3, toda a alcalinidade deveu-se aos bicarbonatos.

A dureza da água é consequência de cátions como o cálcio e o magnésio. Os valores da dureza do rio Madeira oscilaram entre 25,1 mg/L (JUS.03 fundo) e 42 mg/L (MON.01 fundo), com média de $36,7 \pm 4,6$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-75). Os valores de dureza permitem classificar as águas do rio Madeira como “mole”. A maior parte da dureza foi conferida pelo cálcio ($19,3 \pm 2,6$ mg/L, média \pm DP). Os valores oscilaram entre 13,2 mg/L (JUS.03 fundo) e 22,8 mg/L (MON.04 fundo) (Figura 5.1-76). Já a dureza devido ao magnésio apresentou média de $17,4 \pm 2$ mg/L (média \pm DP), com os valores oscilando entre 11,9 mg/L (JUS.03 fundo) e 19,5 mg/L (MON.01 fundo) (Figura 5.1-77). No rio Madeira, a variação vertical foi mínima ou ausente para todas as variáveis do sistema tampão.

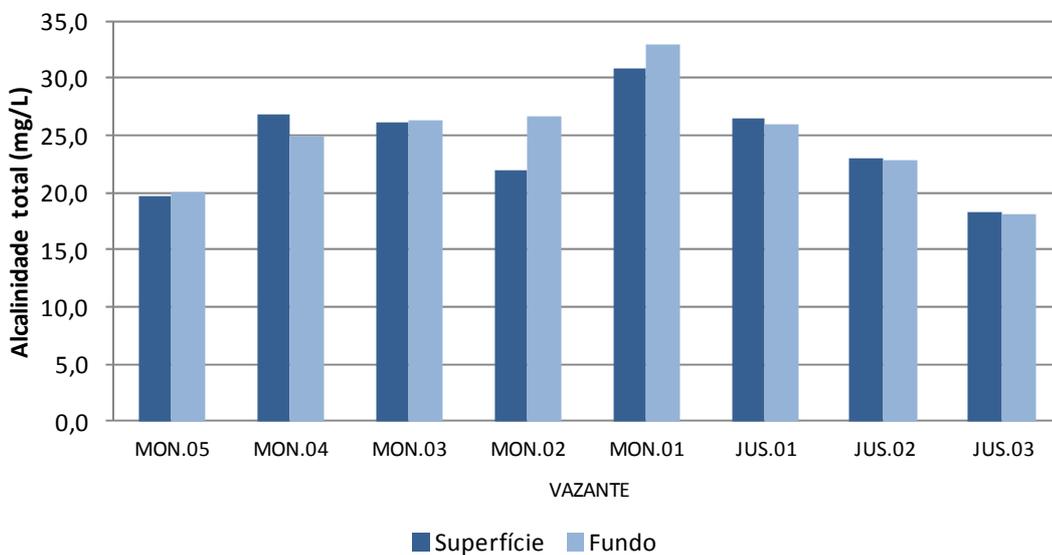


Figura 5.1-74 - Alcalinidade total no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

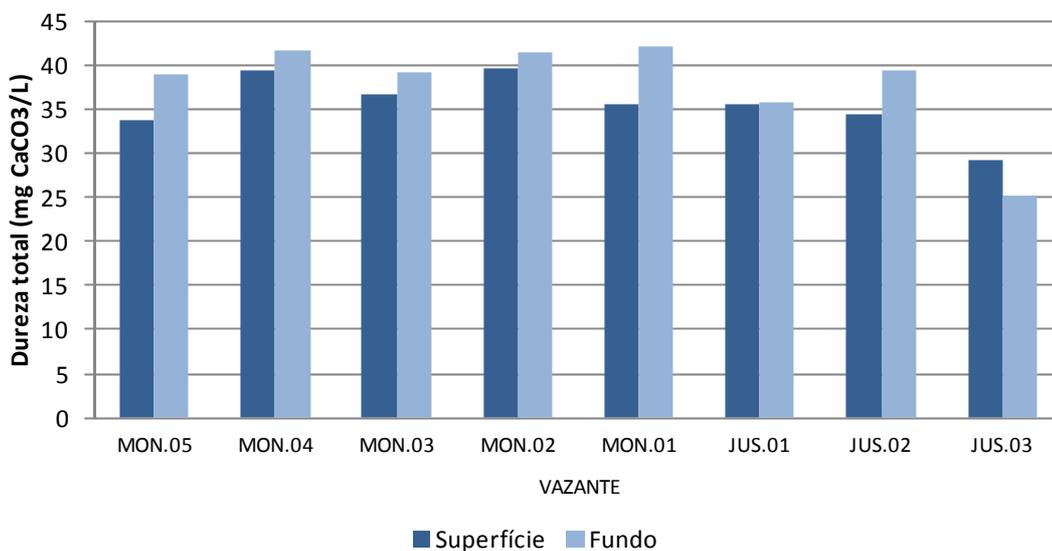


Figura 5.1-75 - Dureza total da água no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

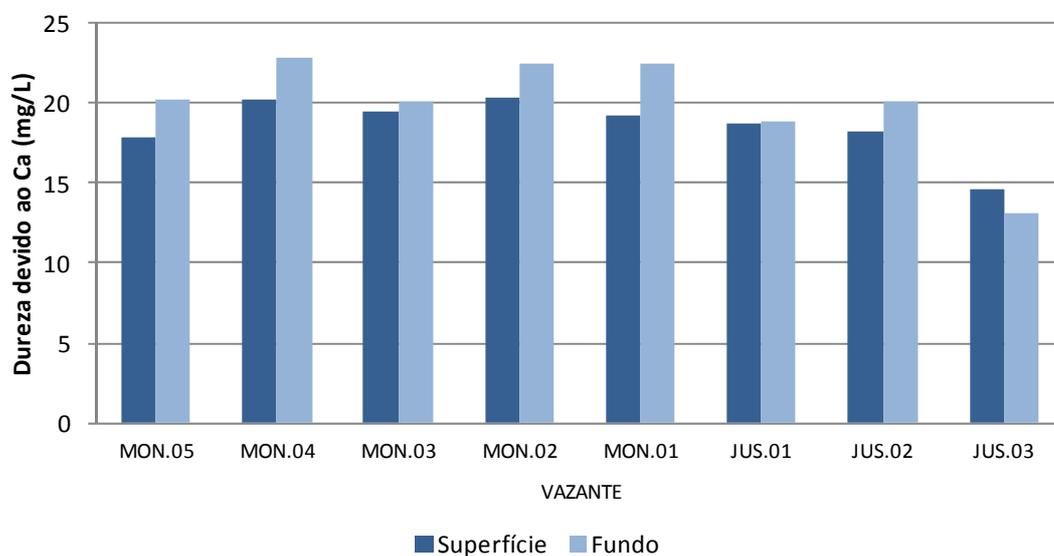


Figura 5.1-76 - Dureza devido ao cálcio no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

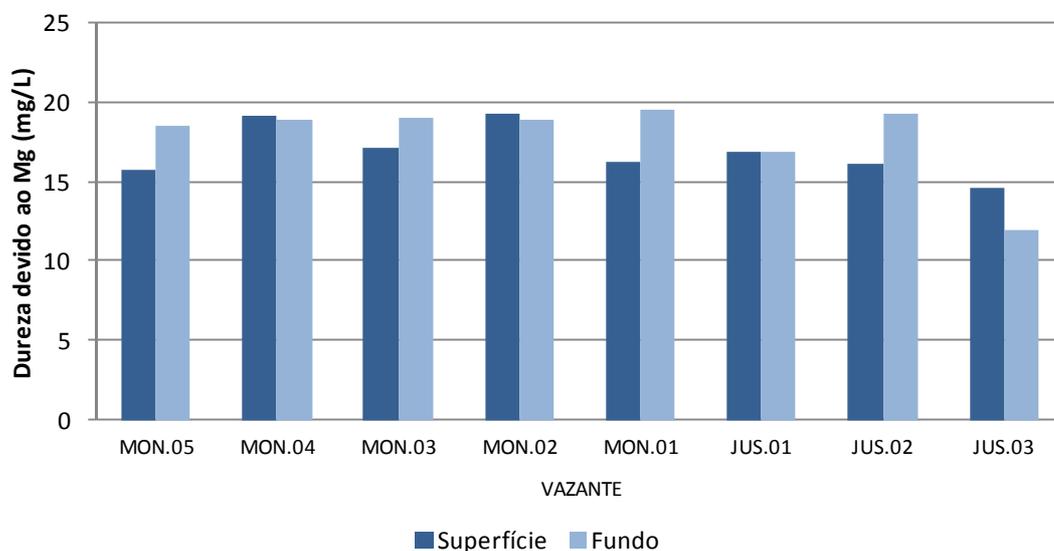


Figura 5.1-77 - Dureza devido ao magnésio no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

A alcalinidade média dos tributários oscilou entre 0,07 mg/L (JAT II) e 15,4 mg/L (JAC.01), com média de $6,3 \pm 6,8$ mg/L (média \pm DP). (Figura 5.1-78). Como o pH situou-se sempre entre 4,4 e 8,3, toda a alcalinidade dos tributários foi devida ao bicarbonato. Nas estações CRC, TEO e BEL a alcalinidade esteve abaixo do limite de quantificação.

A dureza da água apresentou média de $2,5 \pm 1,9$ mg/L (média \pm DP), com os valores oscilando entre 0,6 mg/L (TEO) e 6 mg/L (JAM) (Figura 5.1-79). A dureza dos tributários deveu-se principalmente ao magnésio, que teve média de $1,6 \pm 1,2$ mg/L (média \pm DP), variando entre 0,6 mg/L (CRC e TEO) e 3,6 mg/L (JAT I e II) (Figura 5.1-80). Já a dureza devido ao cálcio oscilou entre 0,8 mg/L (BEL) e 3,92 mg/L (JAM), com média global de $2,4 \pm 3,2$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-81). As águas dos tributários podem ser classificadas como “mole”. A variação espacial elevada apresentada pelos tributários é natural, uma vez que trata-se de ambientes diferentes.

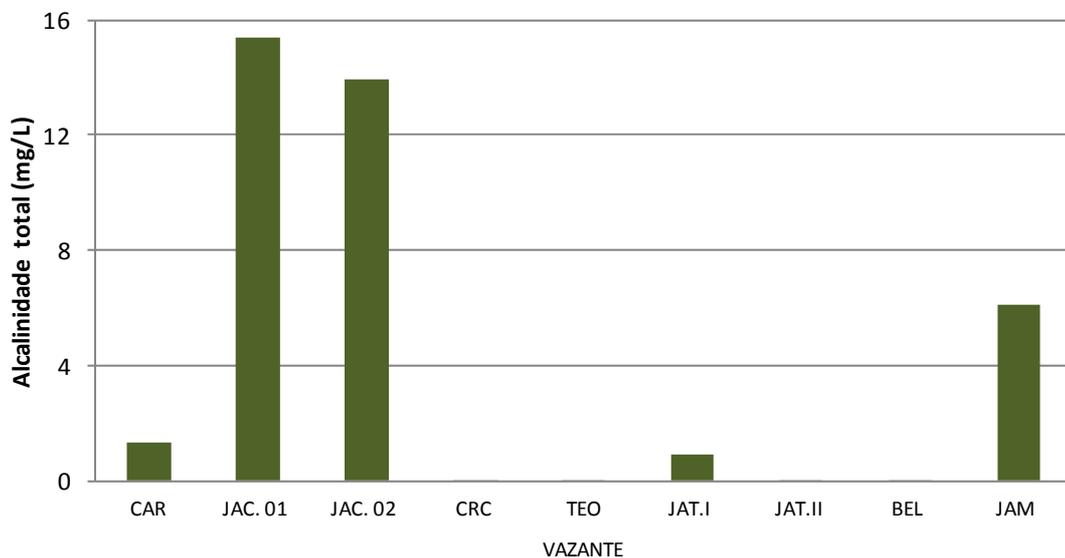


Figura 5.1-78 - Alcalinidade total nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

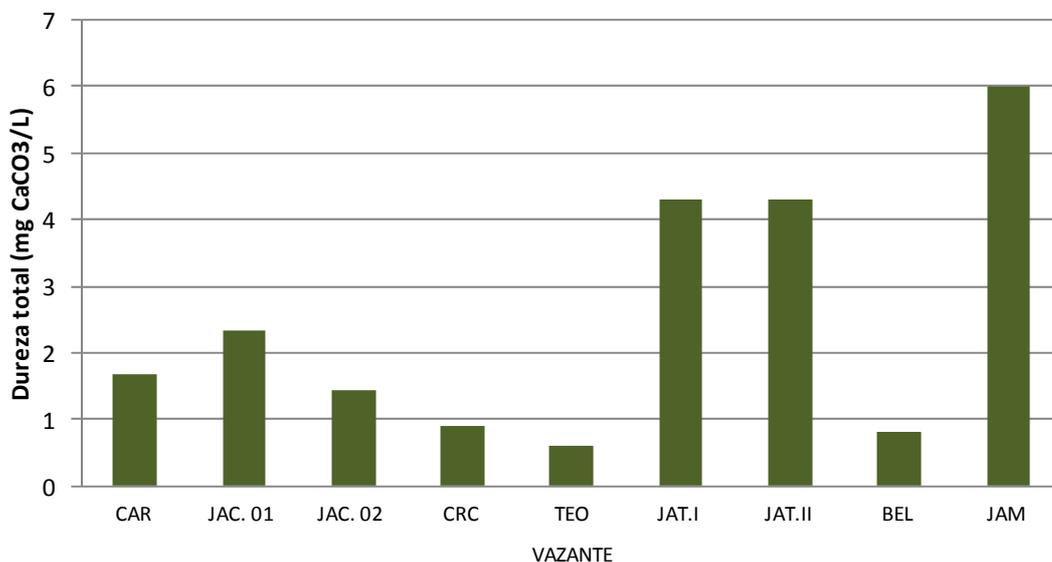


Figura 5.1-79 - Dureza total da água nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

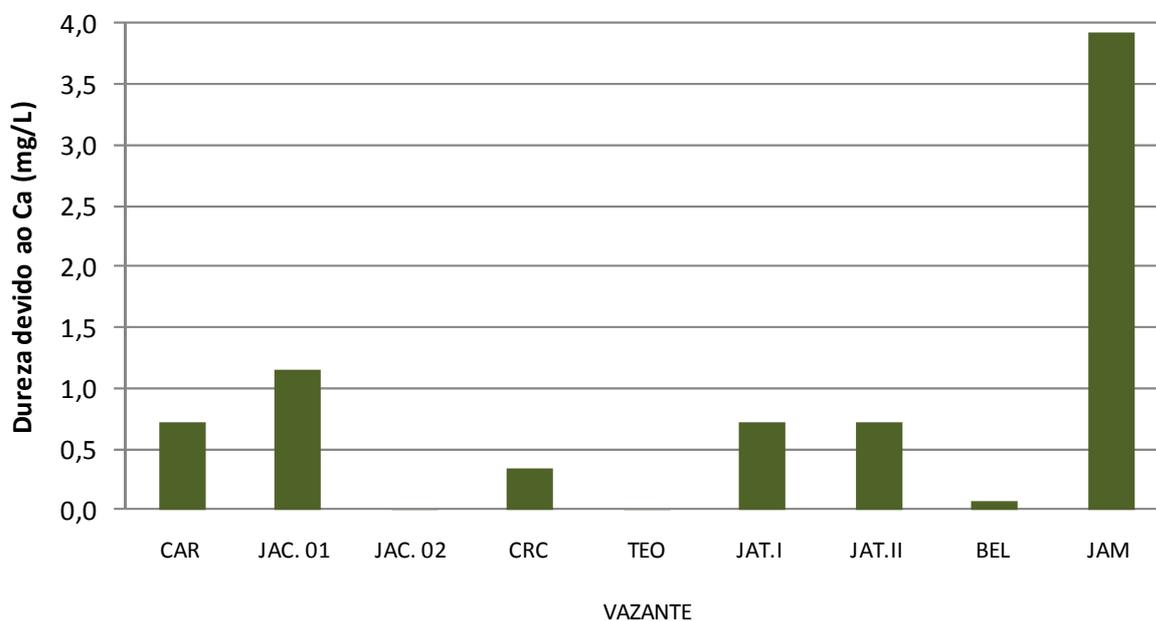


Figura 5.1-80 - Dureza devido ao cálcio nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

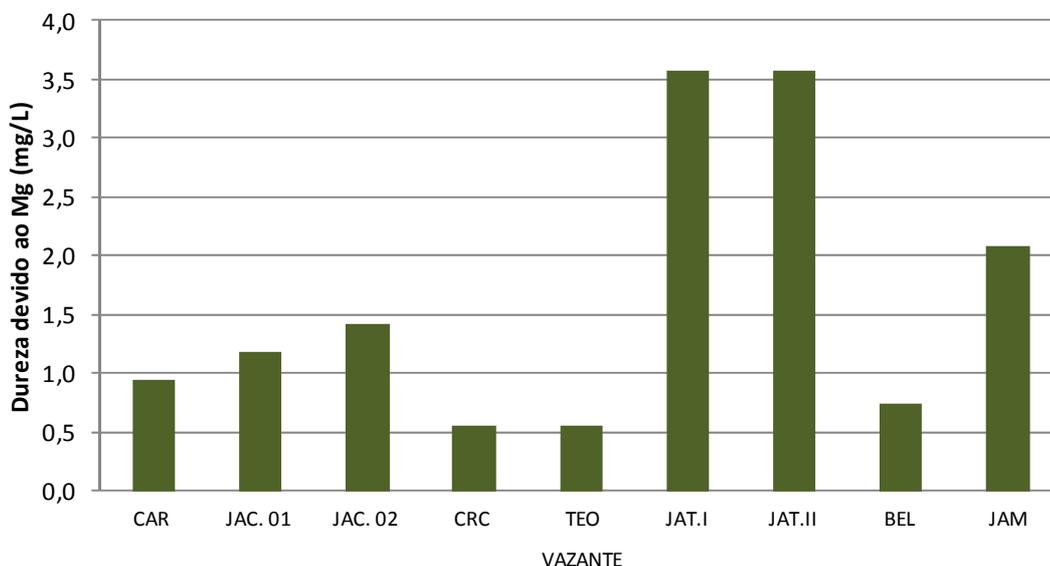


Figura 5.1-81 - Dureza devido ao magnésio nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

Dentre os três tipos de ambientes amostrados, os lagos e canais foram os que apresentaram os menores valores de alcalinidade. Os valores da alcalinidade oscilaram entre 1,2 mg/L (CC.02) e 6,9 mg/L (CUJ), com valor médio de $4,3 \pm 2,6$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-82). Como o pH dos lagos e canais situou-se sempre entre 4,4 e 8,3, toda a alcalinidade foi devida ao bicarbonato.

A dureza da água dos lagos e canais oscilou entre 1,4 mg/L (LC.01 superfície) e 18,2 mg/L (CUJ), com média de $6,2 \pm 6,6$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-83). Assim como observado nos tributários, a maior parte da dureza dos lagos e canais foi conferida pelo magnésio. A dureza devido ao magnésio oscilou entre 1,4 mg/L (LC.01 superfície) e 11 mg/L (CUJ), com média de $4,0 \pm 3,8$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-84). Já a dureza devido ao cálcio apresentou valor médio de $2,2 \pm 2,8$ mg/L (média \pm DP), com os valores oscilando entre 0,02 mg/L (superfície) e 7,1 mg/L (CUJ) (Figura 5.1-85). As águas dos lagos e canais podem ser classificadas como “moles”.

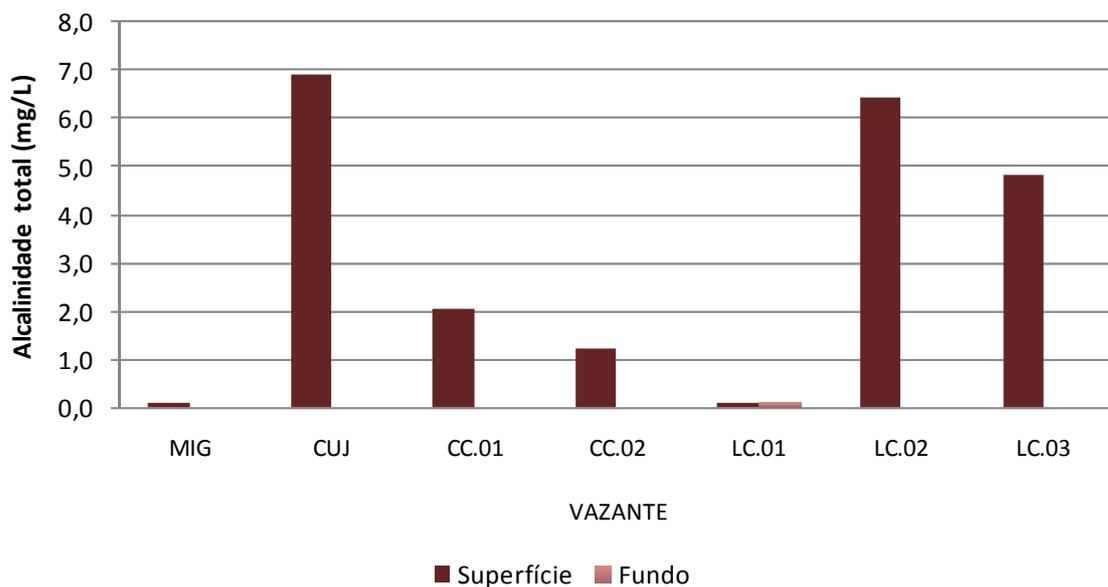


Figura 5.1-82 - Alcalinidade total nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

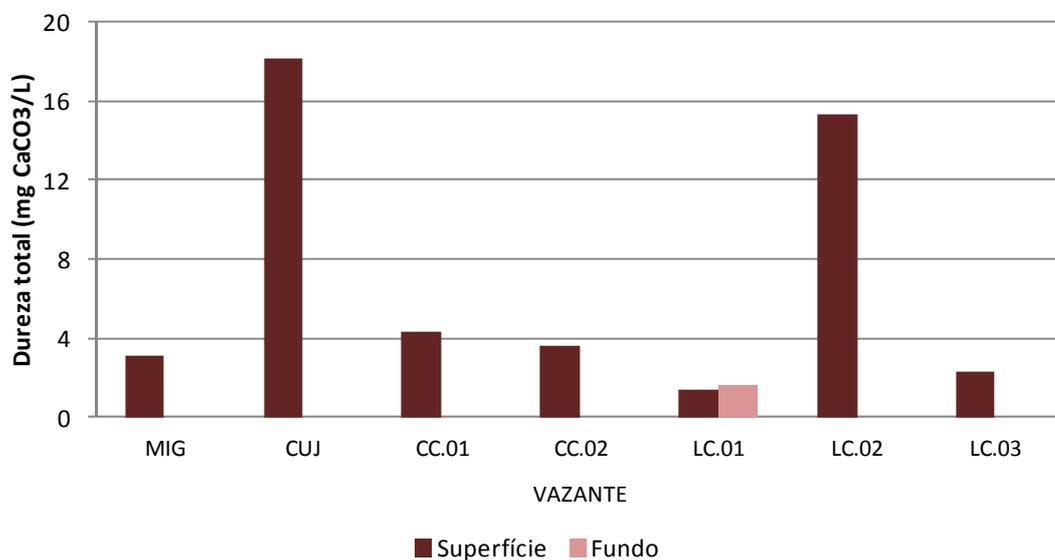


Figura 5.1-83 - Dureza total da água nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

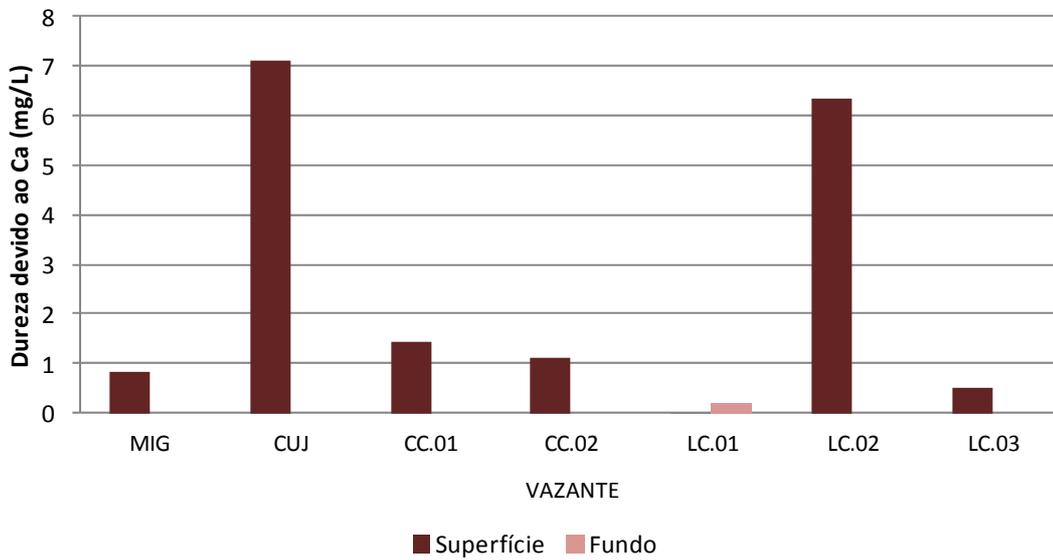


Figura 5.1-84 - Dureza devido ao cálcio nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

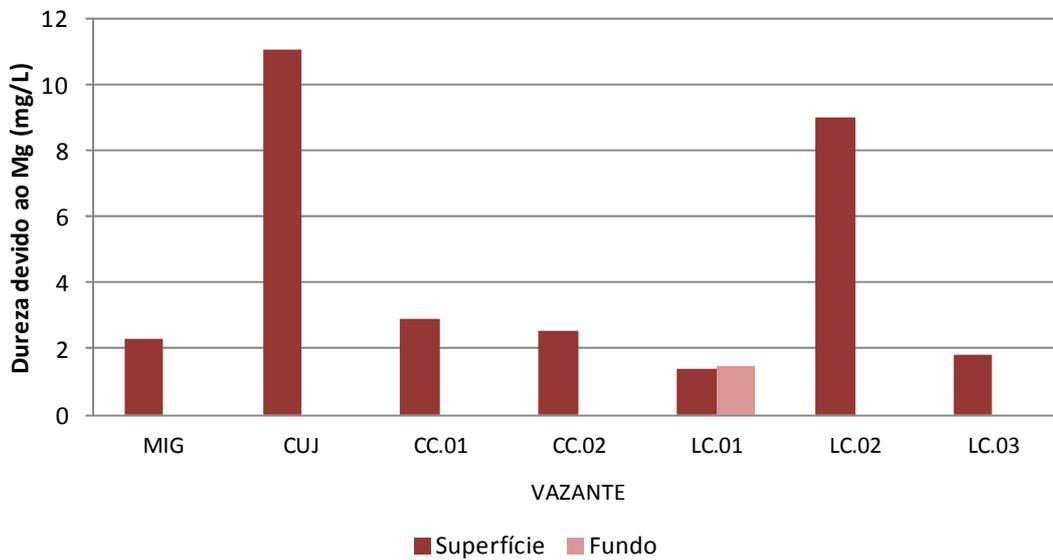


Figura 5.1-85 - Dureza devido ao magnésio nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

5.1.9 - Químicas III

5.1.9.1 - 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 bicarbonato, respectivamente (**Quadro 5.1-1**). Em média, os cátions mais abundantes foram o cálcio (43%), o magnésio (23%), o sódio (22%) e o potássio (12%), ao passo que os ânions foram o bicarbonato (56%), o sulfato (41%) e o cloreto (3%). Esses valores de contribuição foram bastante semelhantes aos descritos no EIA.

A concentração média de sódio (Na^+) foi de $4,2 \pm 2,5$ mg/L (média \pm DP) (**Figura 5.1-86**), variando entre 2,7 mg/L (JUS.03 fundo) e 4,5 mg/L (MON.01 fundo). O potássio (K^+) praticamente não variou espacialmente, oscilando entre 1,9 mg/L (JUS.02 superfície) e 2,5 mg/L (JUS.03 superfície). Esse cátion apresentou média de $2,2 \pm 0,1$ mg/L (média \pm DP) (**Figura 5.1-87**).

As concentrações médias de cálcio oscilaram entre 5,3 mg/L (JUS.03 fundo) e 9,2 mg/L (MON.04 fundo), com média de $7,7 \pm 1,0$ mg/L (média \pm DP) (**Figura 5.1-88**). O magnésio (Mg^{2+}) apresentou concentração média de $4,2 \pm 0,5$ mg/L (média \pm DP) sendo que os valores oscilaram entre 2,9 mg/L (JUS.03 fundo) e 4,7 mg/L (MON.01 fundo) (**Figura 5.1-89**).

O cloreto (Cl^-) apresentou concentrações que variaram entre 1,0 mg/L (JUS.03 fundo) e 1,7 mg/L (MON.04 fundo), com uma média igual a $1,4 \pm 0,2$ mg/L (média \pm DP) (**Figura 5.1-90**). A concentração média de sulfato (SO_4^{2-}) foi de $18,6 \pm 3,5$ mg/L (média \pm DP). Os valores oscilaram entre 11,4 mg/L (JUS.01 fundo) e 20,9 (MON.04 fundo) mg/L (**Figura 5.1-91**).

O bicarbonato (HCO_3^-) foi o ânion mais abundante. As concentrações oscilaram entre 20 mg/L (JUS.03 superfície e fundo) e 29 mg/L (MON.04 fundo), com média de $25,6 \pm 2,4$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-92).

Quadro 5.1-1 - Composição iônica, em porcentagem, no rio Madeira, tributários e lagos e canais no período de vazante (agosto/2011).

Íons %											
Vazante											
Madeira	Cátions	Na^+	22	Tributários	Cátions	Na^+	23,0	Lagos e Canais	Cátions	Na^+	20,6
		Ca^{2+}	43			Ca^{2+}	13,3			Ca^{2+}	18,7
		K^+	12			K^+	48,3			K^+	40,0
		Mg^{2+}	23			Mg^{2+}	15,4			Mg^{2+}	20,7
		Total	100			Total	100			Total	100
	Ânions	HCO_3^-	56		Ânions	HCO_3^-	100		Ânions	HCO_3^-	66
		Cl^-	3			Cl^-	0			Cl^-	34
		SO_4^{2-}	41			SO_4^{2-}	0			SO_4^{2-}	0
		Total	100			Total	100			Total	100

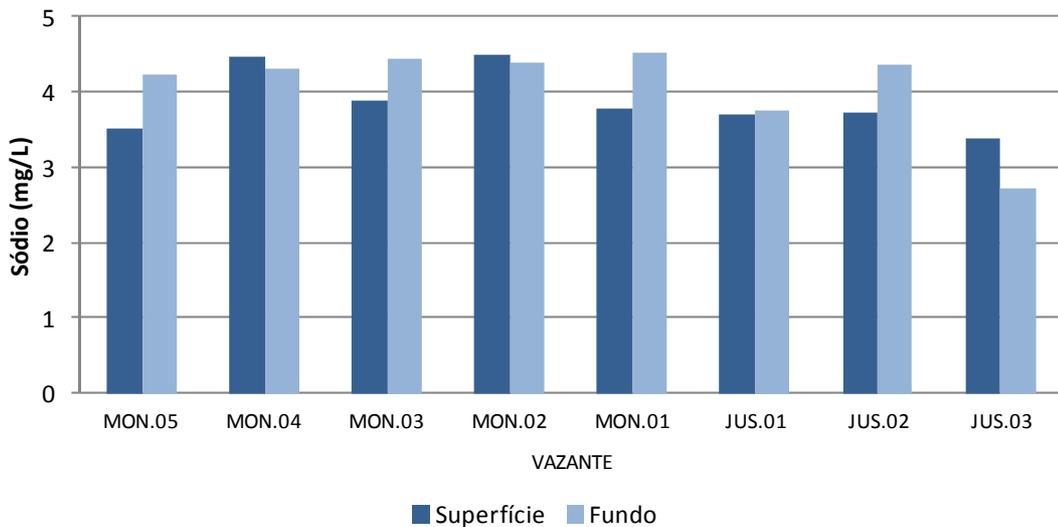


Figura 5.1-86 - Concentrações de sódio (Na^+) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

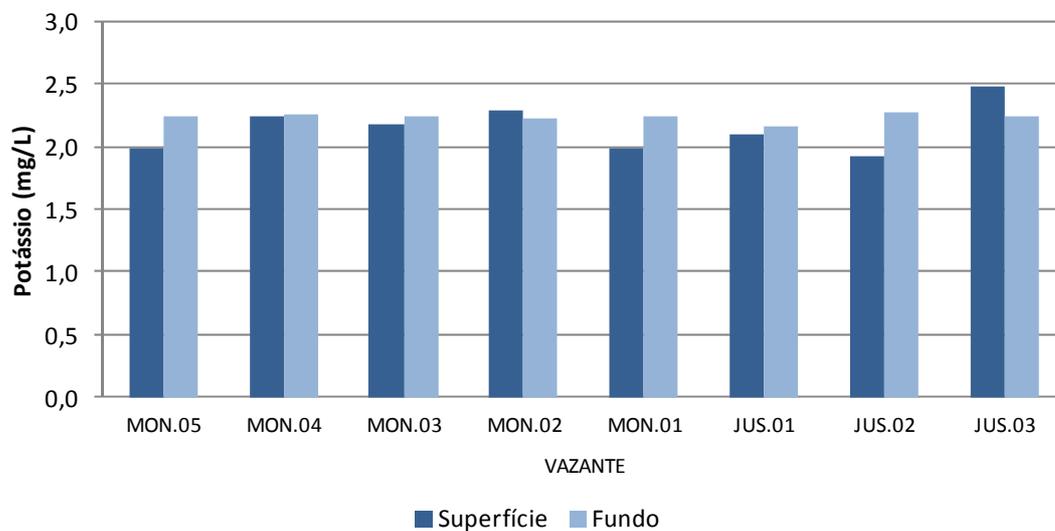


Figura 5.1-87 - Concentrações de potássio (K^+) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

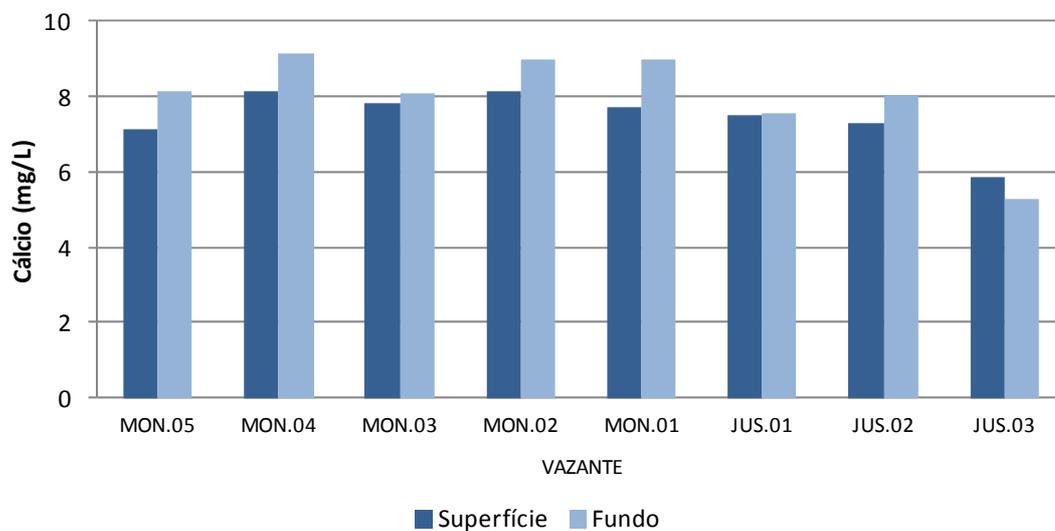


Figura 5.1-88 - Concentrações de cálcio (Ca^{2+}) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

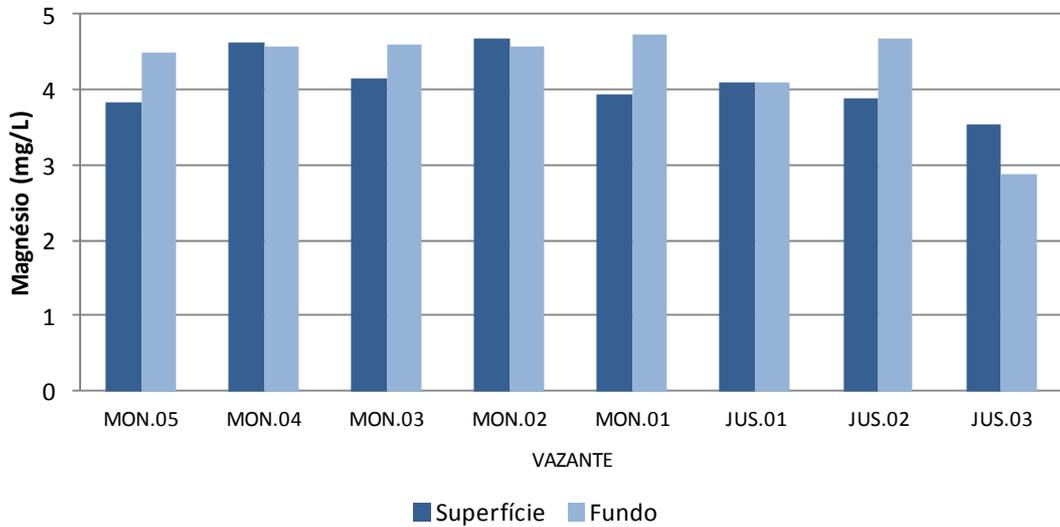


Figura 5.1-89 - Concentrações de magnésio (Mg^{2+}) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

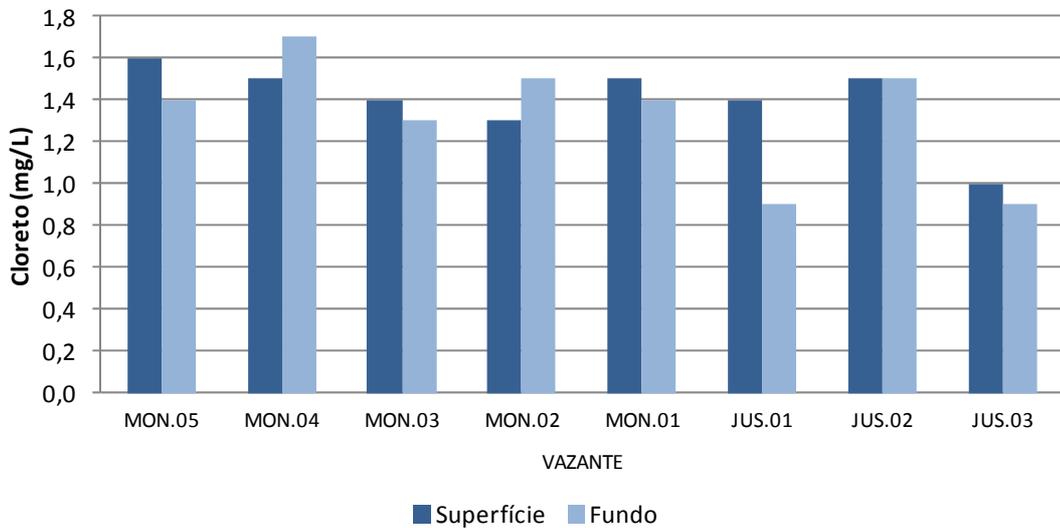


Figura 5.1-90 - Concentrações de cloreto (Cl^-) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

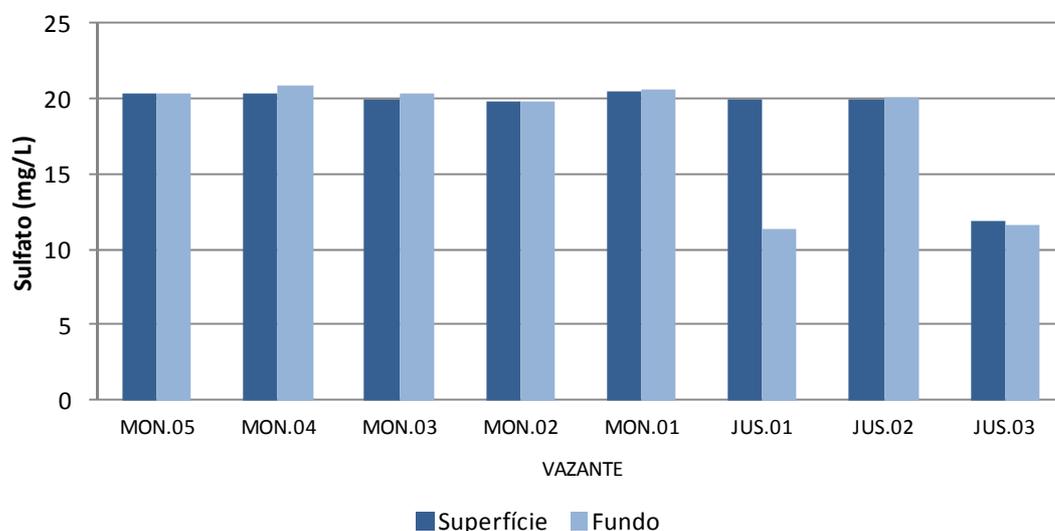


Figura 5.1-91 - Concentrações de sulfato (SO_4^{2-}) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

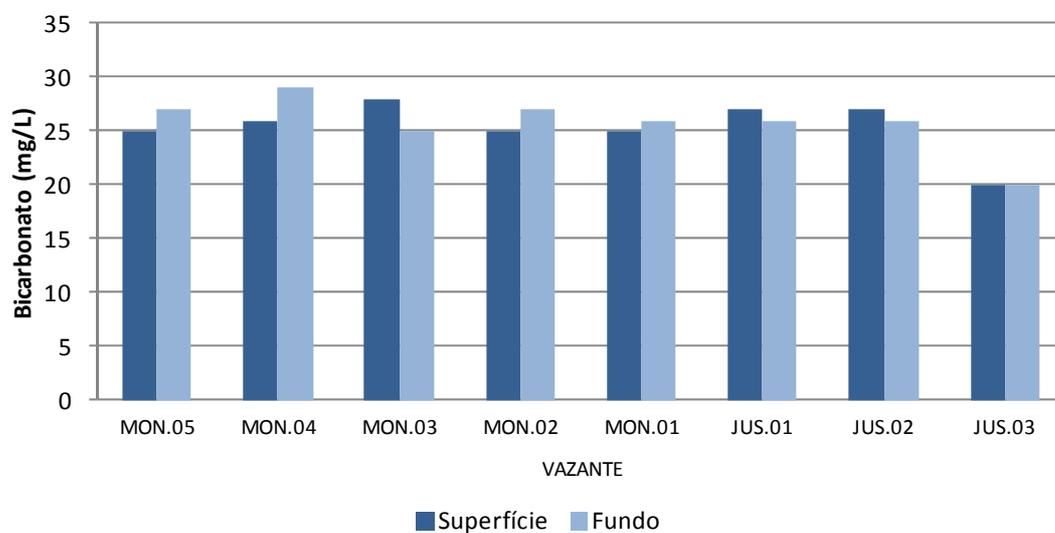


Figura 5.1-92 - Concentrações de bicarbonato (HCO_3^-) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

Nos tributários, o potássio foi o cátion com maior abundância média (48,3%), seguido do sódio (23%), do magnésio (15,4%) e do cálcio (13,3%). Em relação aos ânions, o mais abundante foi o bicarbonato (100%), já que o sulfato e o cloreto não foram detectados (Quadro 5.1-1).

Os tributários apresentaram, em geral, baixas concentrações de sódio (Na^+). As concentrações variaram de 0,3 mg/L (BEL) a 1,3 mg/L (JAM), com média de $0,6 \pm 0,3$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-93). O potássio (K^+), apresentou concentrações médias que oscilaram entre 0,5 mg/L (CAR) e 1,9 mg/L (JAT I). Esses valores produziram uma média de $1,2 \pm 0,5$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-94).

A concentração média de cálcio foi de $0,4 \pm 0,5$ mg/L (média \pm DP), sendo que os valores médios oscilaram entre 0,03 mg/L (BEL) e 1,6 mg/L (JAM) (Figura 5.1-95). As concentrações de magnésio (Mg^{2+}) oscilaram entre 0,1 mg/L (CRC e TEO) e 0,9 mg/L (JAT I e II), com média de $0,4 \pm 0,5$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-96).

O íon cloreto (Cl^-) não foi detectado nos tributários. O mesmo aconteceu com o íon sulfato (SO_4^{2-}).

O bicarbonato (HCO_3^-), ânion mais abundante, apresentou concentração média de $2,5 \pm 3,0$ mg/L (média \pm DP). As concentrações desse ânion oscilaram entre 0,5 mg/L (média \pm DP) e 8 mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-97).

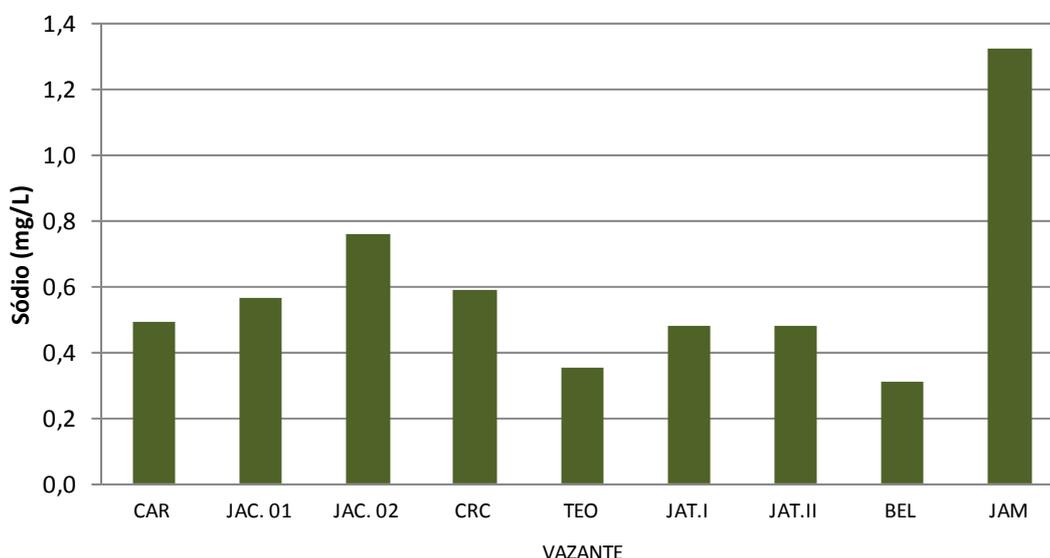


Figura 5.1-93 - Concentrações de sódio (Na^+) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

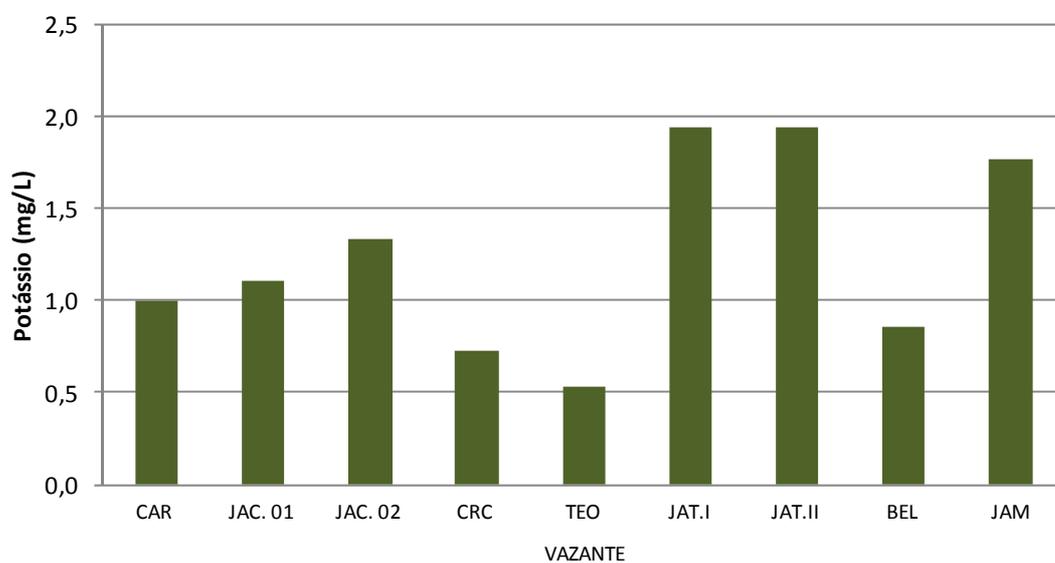


Figura 5.1-94 - Concentrações de potássio (K^+) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

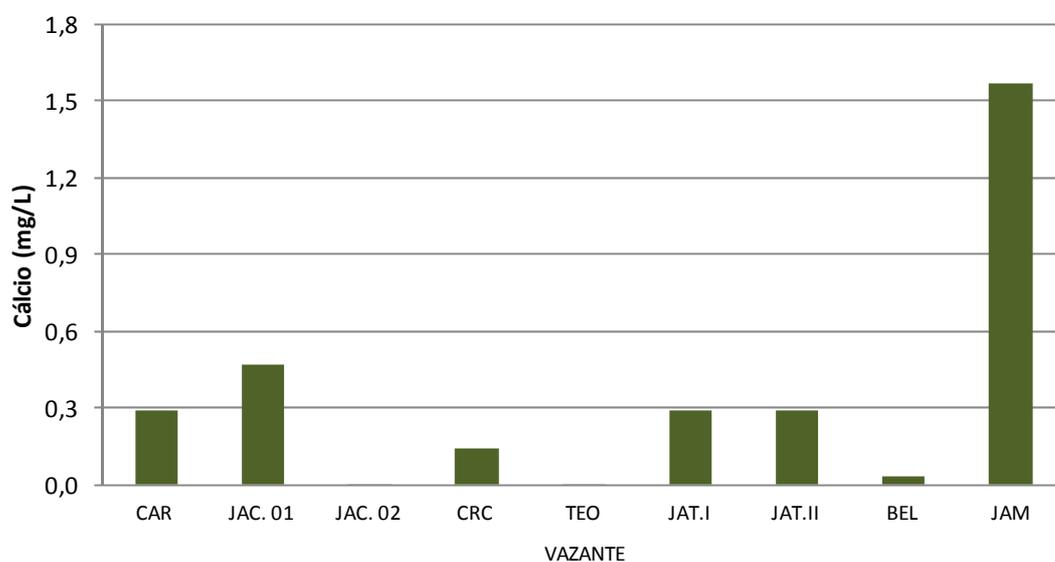


Figura 5.1-95 - Concentrações de cálcio (Ca^{2+}) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

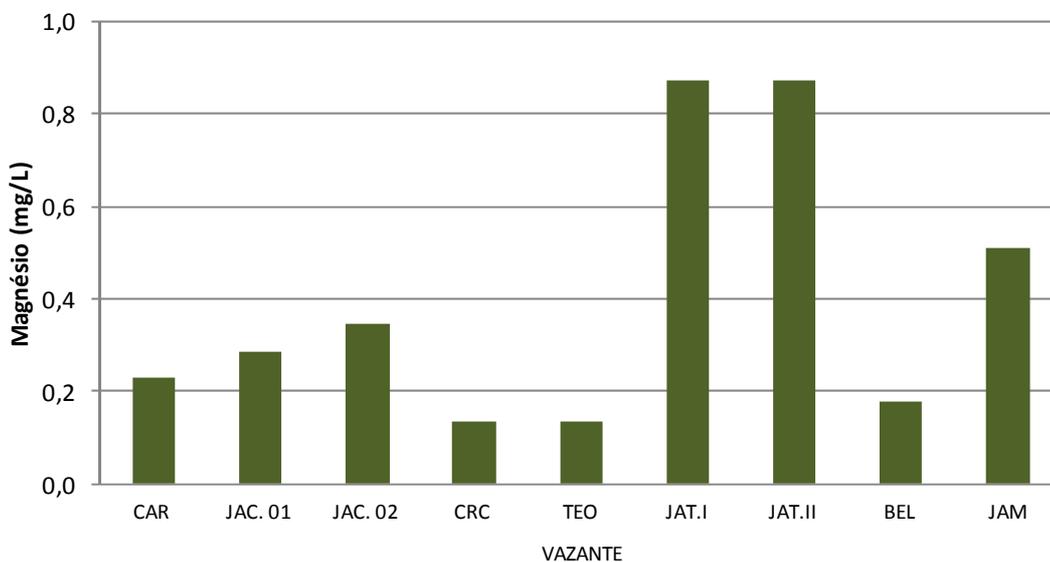


Figura 5.1-96 - Concentrações de magnésio (Mg^{2+}) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

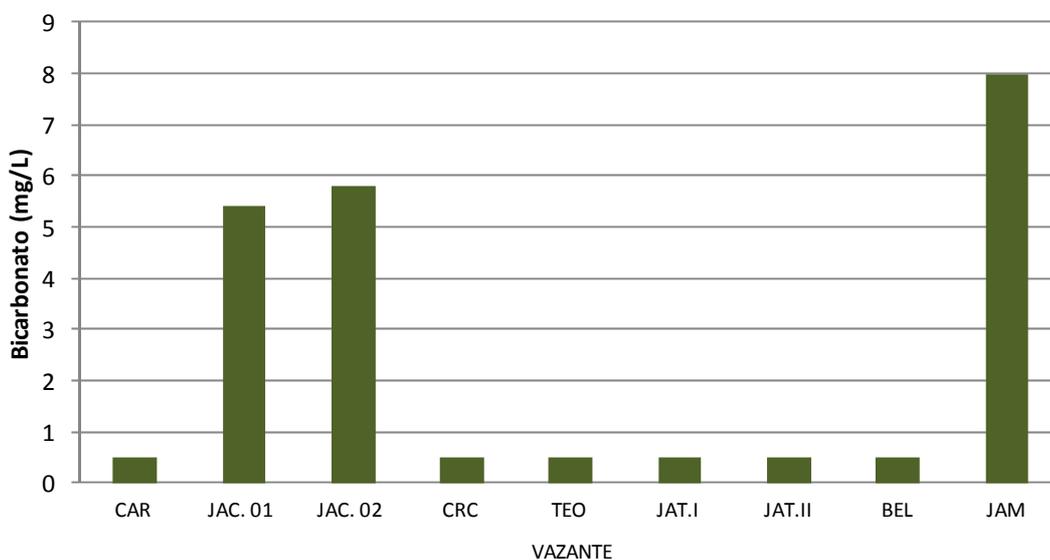


Figura 5.1-97 - Concentrações de bicarbonato (HCO_3^-) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

Nos lagos e canais, assim como nos tributários, o potássio foi o cátion com mais abundância (40%), seguido do magnésio (20,7%), do sódio (20,6%) e do cálcio (18,7%). Em relação aos ânions, o bicarbonato foi o mais abundante (66%), seguido pelo sulfato (34%), o cloreto esteve abaixo do limite de detecção. A contribuição de cada um dos cátions e ânions é demonstrada no **Quadro 5.1-1**.

O sódio (Na^+) apresentou concentrações bastante modestas nos lagos e canais, tendo apresentado uma média de $1,0 \pm 0,8$ mg/L (média \pm DP). As concentrações oscilaram entre 0,4 mg/L (LC.01) e 2,6 mg/L (CUJ) (Figura 5.1-98). O potássio (K^+) também apresentou baixas concentrações, com valores variando entre 1,0 mg/L (LC.02) e 3,8 mg/L (CUJ) e uma média de $1,9 \pm 0,8$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-100).

O cálcio (Ca^{2+}) apresentou concentrações que oscilaram entre 0,1 mg/L (LC.01 superfície e fundo) e 2,9 mg/L (CUJ), exibindo uma média de $1,0 \pm 1,2$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-100). Em relação ao magnésio (Mg^{2+}), as concentrações variaram entre 0,3 mg/L (LC01 superfície) e 2,7 mg/L (CUJ), com média de $1,0 \pm 0,9$ mg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-101).

O ânion cloreto (Cl^-) não foi detectado no período de estudo. O mesmo foi observado em relação ao sulfato (SO_4^{2-}), que só apresentou concentrações detectáveis nas estações MIG (1,6 mg/L) e LC.02 (6,6 mg/L). O bicarbonato (HCO_3^-) foi o ânion mais abundante, tendo apresentado concentração média de $3,9 \pm 3,9$ mg/L (média \pm DP). As concentrações desse íon oscilaram entre 0,5 mg/L (CC.02, LC.01 e LC.03) e 9 mg/L (CUJ) (Figura 5.1-102).

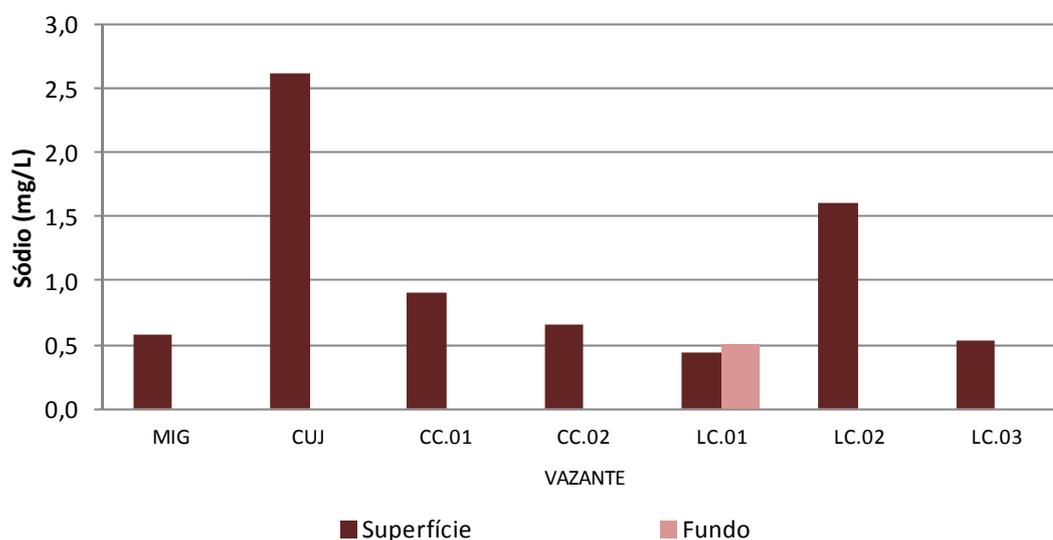


Figura 5.1-98 - Concentrações de sódio (Na^+) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

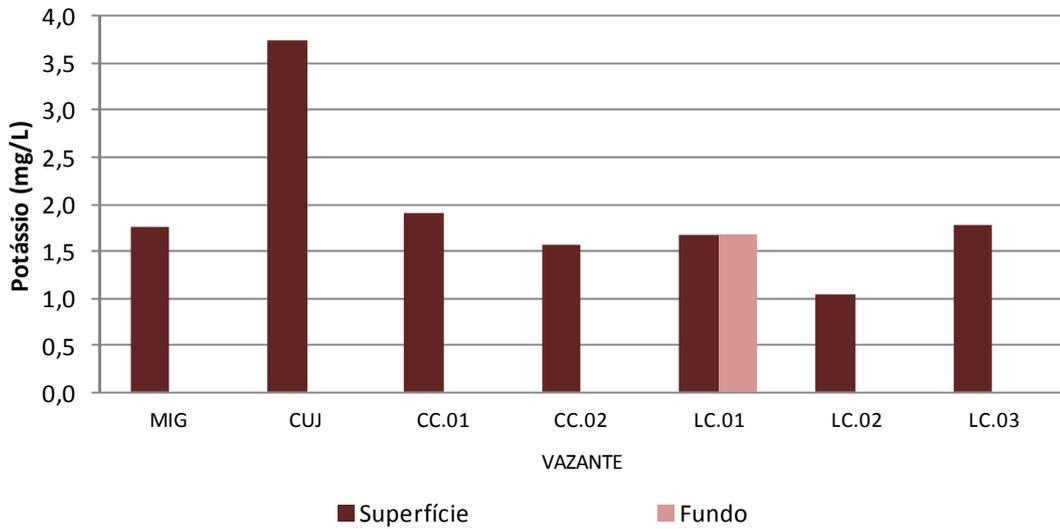


Figura 5.1-99 - Concentrações de potássio (K^+) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

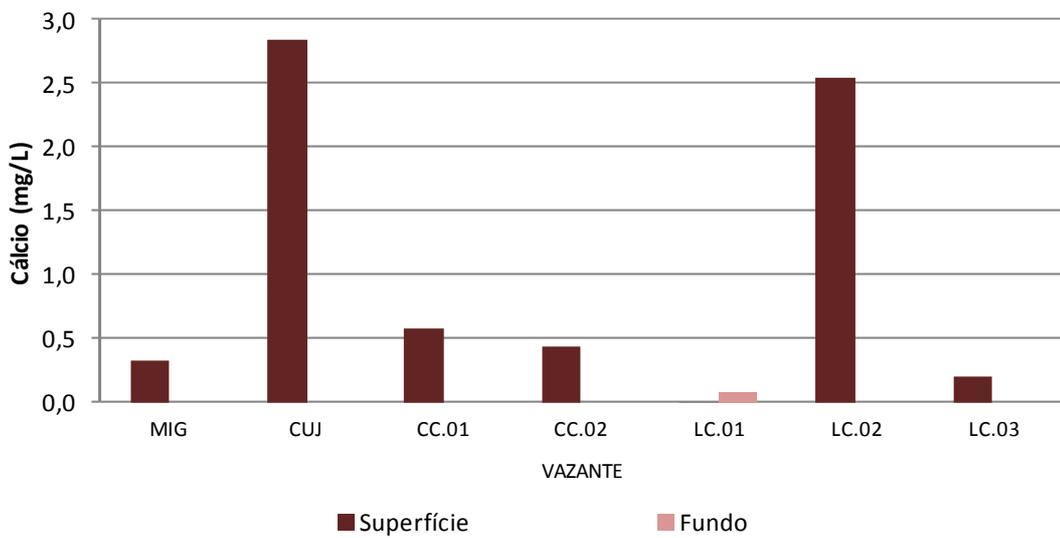


Figura 5.1-100 - Concentrações de cálcio (Ca^{2+}) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

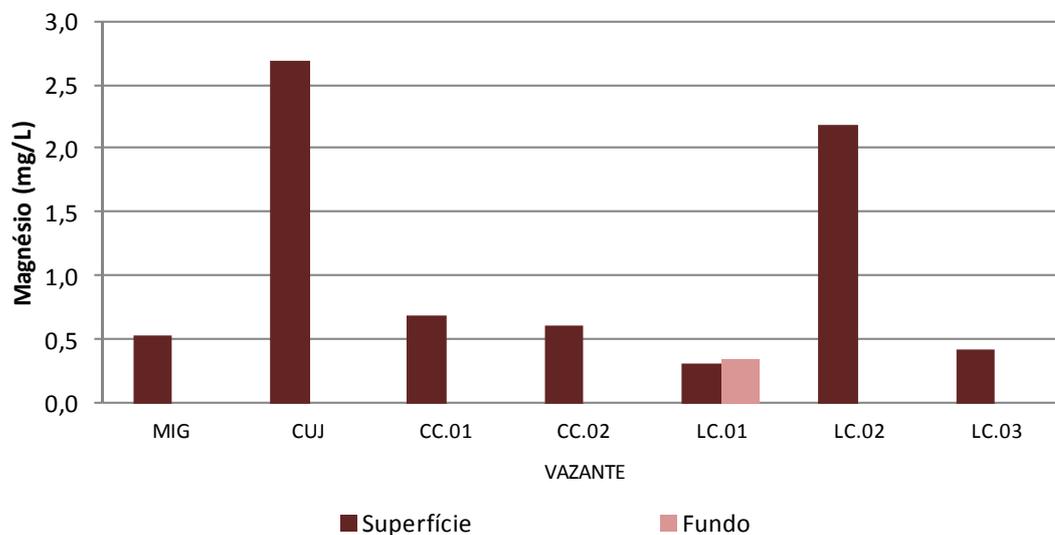


Figura 5.1-101 - Concentrações de magnésio (Mg^{2+}) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

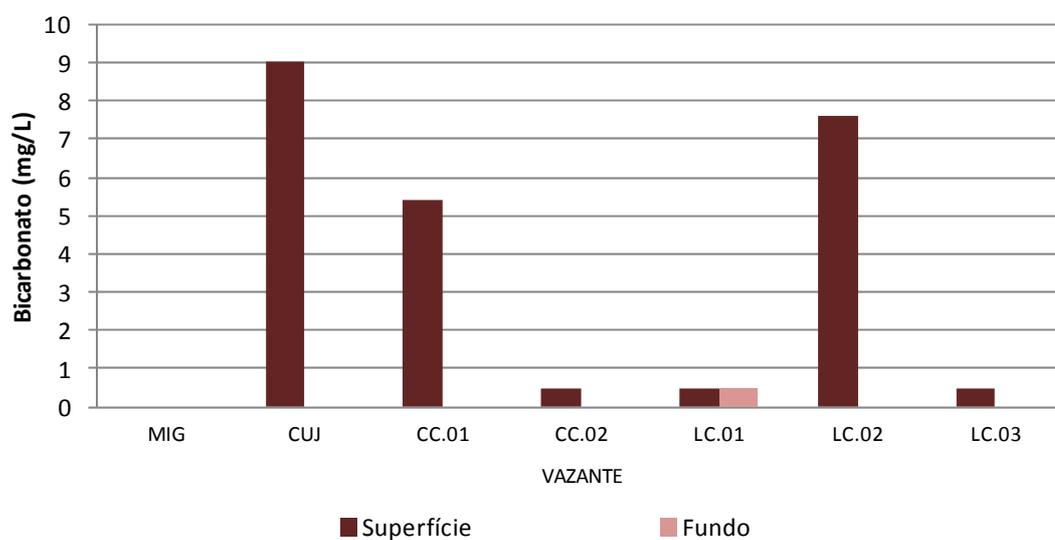


Figura 5.1-102 - Concentrações de bicarbonato (HCO_3^-) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

5.1.10 - Químicas IV

5.1.10.1 - 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 91% dessa fração. As concentrações de nitrato variaram entre 178 $\mu\text{g/L}$ (MON.01 superfície) a 542 $\mu\text{g/L}$ (MON.01 fundo), com média de $468 \pm 82 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) (**Figura 5.1-103**).

As concentrações de nitrogênio amoniacal oscilaram entre 17 $\mu\text{g/L}$ (MON.04 superfície) a 33 $\mu\text{g/L}$ (MON.01 superfície), com média de $25 \pm 4 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) (**Figura 5.1-104**).

O nitrito apresentou concentração média de $18,2 \pm 13,1 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP), variando entre 1,5 $\mu\text{g/L}$ (MON.02 superfície) a 33 $\mu\text{g/L}$ (MON.03 superfície) (**Figura 5.1-105**). O nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), que é a soma das concentrações de nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrito, apresentou concentração média de $511 \pm 84 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) (**Figura 5.1-106**). O NID foi em média 71% do nitrogênio total, sendo o restante composto pela fração orgânica.

A concentração média de nitrogênio orgânico total foi de $234 \pm 180 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP), variando entre 64 $\mu\text{g/L}$ (MON.05 superfície) a 805 $\mu\text{g/L}$ (MON.04 superfície) (**Figura 5.1-107**). O nitrogênio orgânico dissolvido variou entre 29 $\mu\text{g/L}$ (MON.01 superfície) a 460 $\mu\text{g/L}$ (MON.04 superfície), com média de $120 \pm 103 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) (**Figura 5.1-108**).

O nitrogênio particulado apresentou concentração média de $142 \pm 83 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP), oscilando entre 47 $\mu\text{g/L}$ (MON.01 superfície) a 388 $\mu\text{g/L}$ (MON.04 superfície) (**Figura 5.1-109**). A fração particulada foi em média 18% do nitrogênio total, estando o restante na fração dissolvida. O nitrogênio total dissolvido variou entre 241 $\mu\text{g/L}$ (MON.01 superfície) a 964 $\mu\text{g/L}$ (MON.04

superfície), com média de $632 \pm 142 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-110). O nitrogênio total apresentou concentração média de $745 \pm 211 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP), variando entre $278 \mu\text{g/L}$ (MON.01 superfície) a $1309 \mu\text{g/L}$ (MON.04 superfície) (Figura 5.1-111).

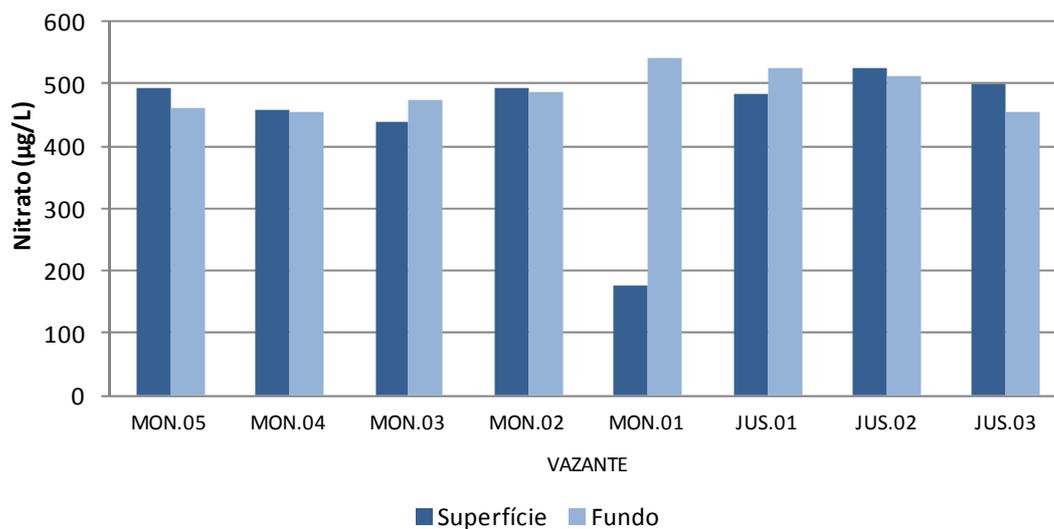


Figura 5.1-103 - Concentrações de nitrato no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

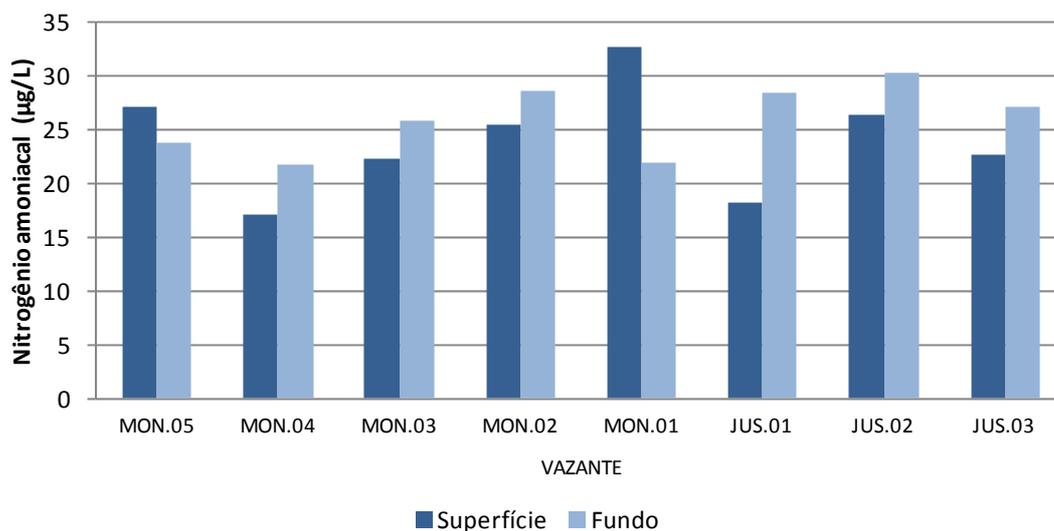


Figura 5.1-104 - Concentrações de nitrogênio amoniacal no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

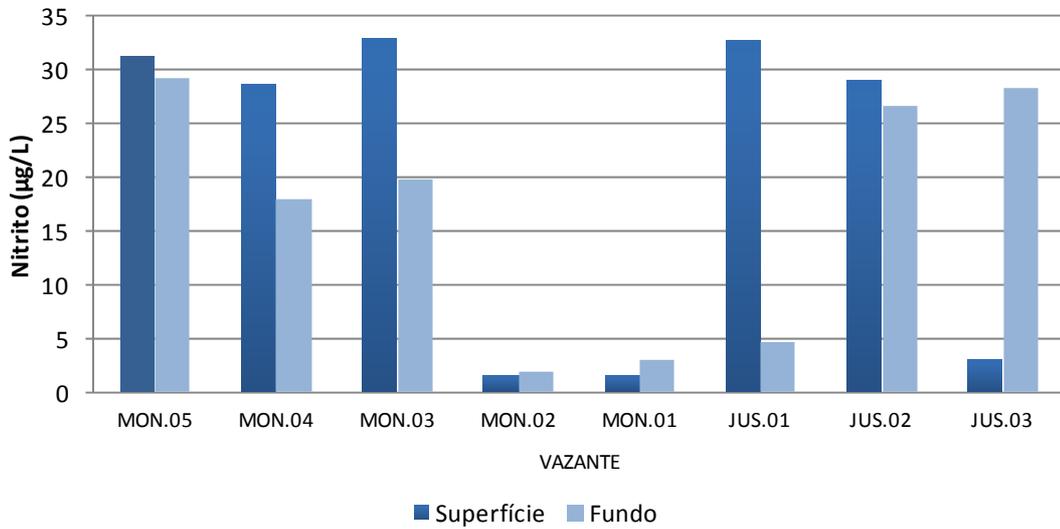


Figura 5.1-105 - Concentrações de nitrito no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

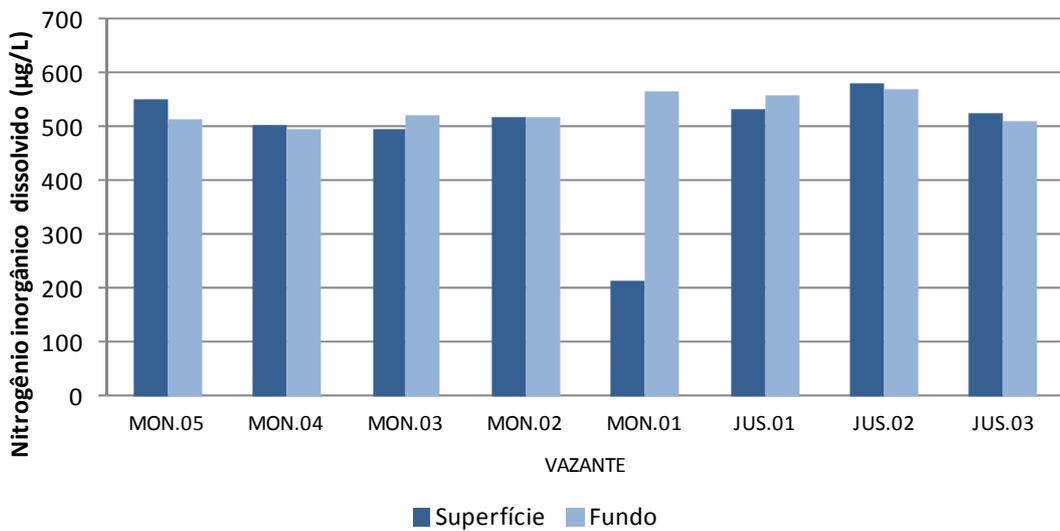


Figura 5.1-106 - Concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

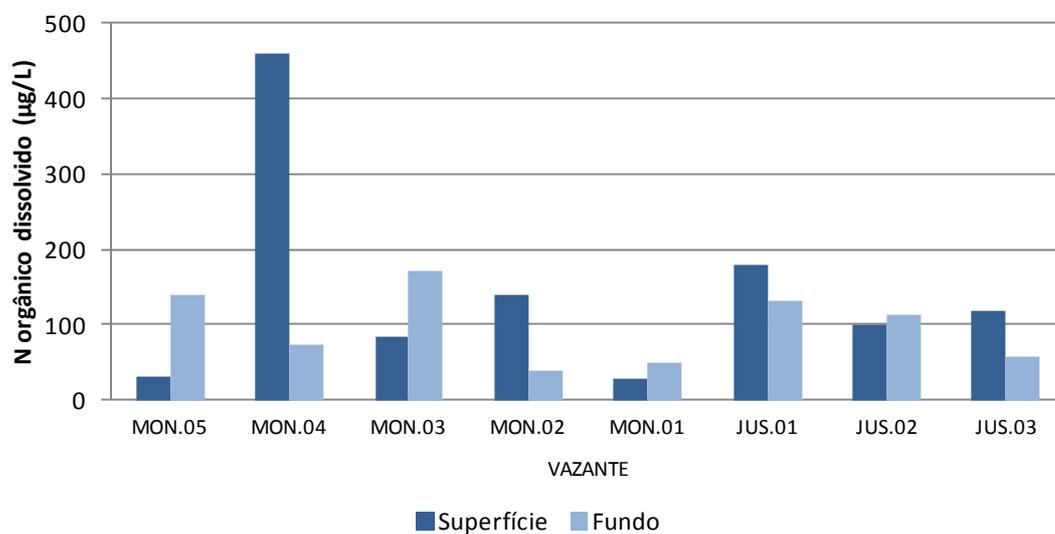


Figura 5.1-107 - Concentrações de nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

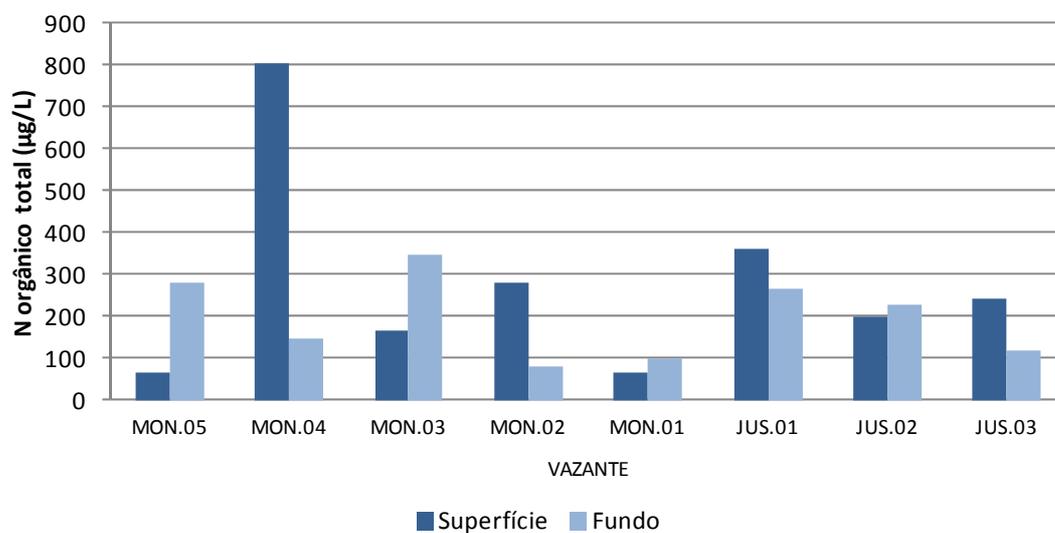


Figura 5.1-108 - Concentrações de nitrogênio orgânico total (NOT) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

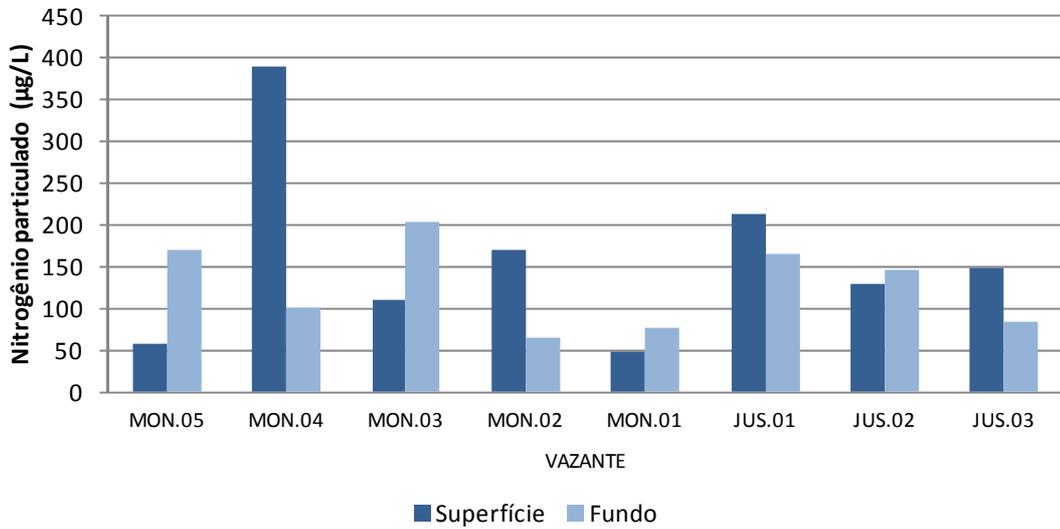


Figura 5.1-109 - Concentrações de nitrogênio particulado (NP) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

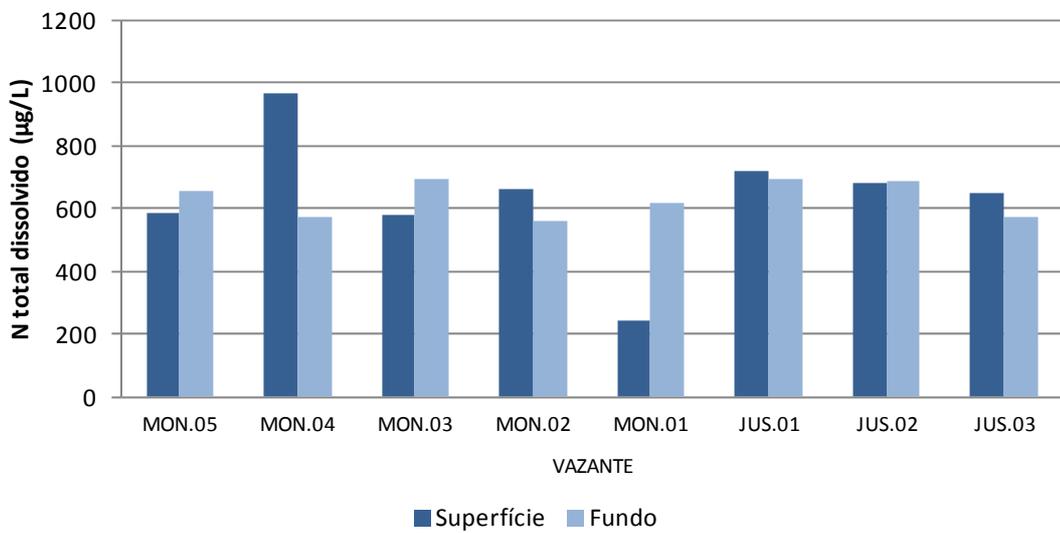


Figura 5.1-110 - Concentrações de nitrogênio total dissolvido (NTD) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

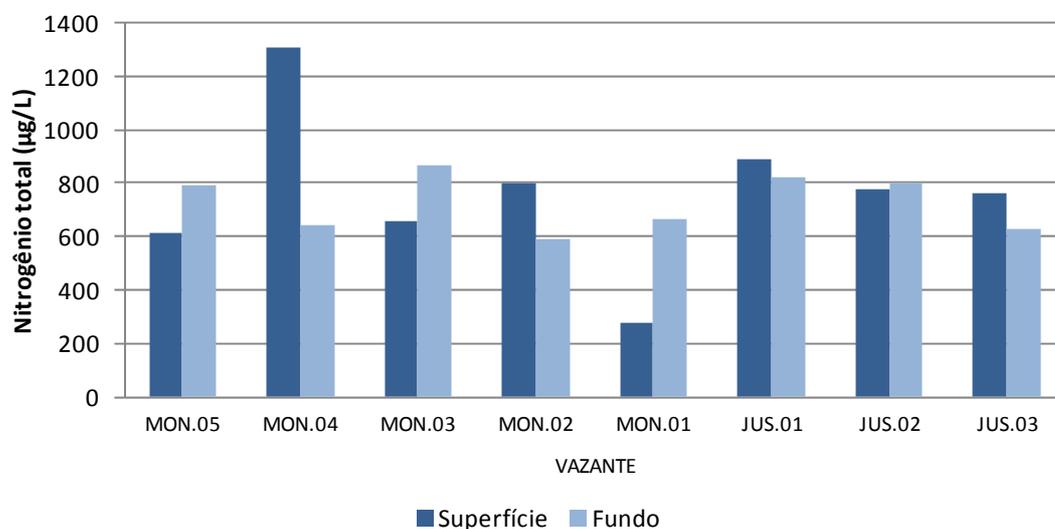


Figura 5.1-111 - Concentrações de nitrogênio total (NT) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

Nos tributários, o nitrato foi a fração que mais contribuiu para o nitrogênio inorgânico dissolvido, tendo sido em média 90% dessa fração, porcentagem semelhante à encontrada para o rio Madeira. As concentrações de nitrato variaram entre 191 µg/L (JAC.02) a 475 µg/L (CAR), com média de 344 ± 98 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-112).

As concentrações de nitrogênio amoniacal oscilaram entre 22 µg/L (JAC.01) a 37 µg/L (BEL), com média de 27 ± 6 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-113).

O nitrito apresentou concentração média de $10,8 \pm 6,4$ µg/L (média \pm DP), variando entre 1,6 µg/L (BEL) a 17,6 µg/L (JAC.02) (Figura 5.1-114). O nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) apresentou concentração média de 382 ± 100 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-115). O NID foi em média 74% do nitrogênio total, sendo o restante composto pela fração orgânica.

A concentração média de nitrogênio orgânico total foi de 147 ± 114 µg/L (média \pm DP), variando entre 43 µg/L (CAR) a 348 µg/L (TEO) (Figura 5.1-116). O nitrogênio orgânico dissolvido variou entre 22 µg/L (CAR) a 287 µg/L (TEO), com média de 91 ± 86 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-117).

O nitrogênio particulado apresentou concentração média de 77 ± 47 µg/L (média \pm DP), oscilando entre 39 µg/L (CRC) a 192 µg/L (JAT I) (Figura 5.1-118). A fração particulada foi em média 14% do nitrogênio total, estando o restante na fração dissolvida. O nitrogênio total dissolvido variou

entre 293 µg/L (JAC.02) a 755 µg/L (TEO), com média de 472 ± 142 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-119). O nitrogênio total apresentou concentração média de 529 ± 162 µg/L (média \pm DP), variando entre 343 µg/L (JAC.02) a 816 µg/L (TEO) (Figura 5.1-120).

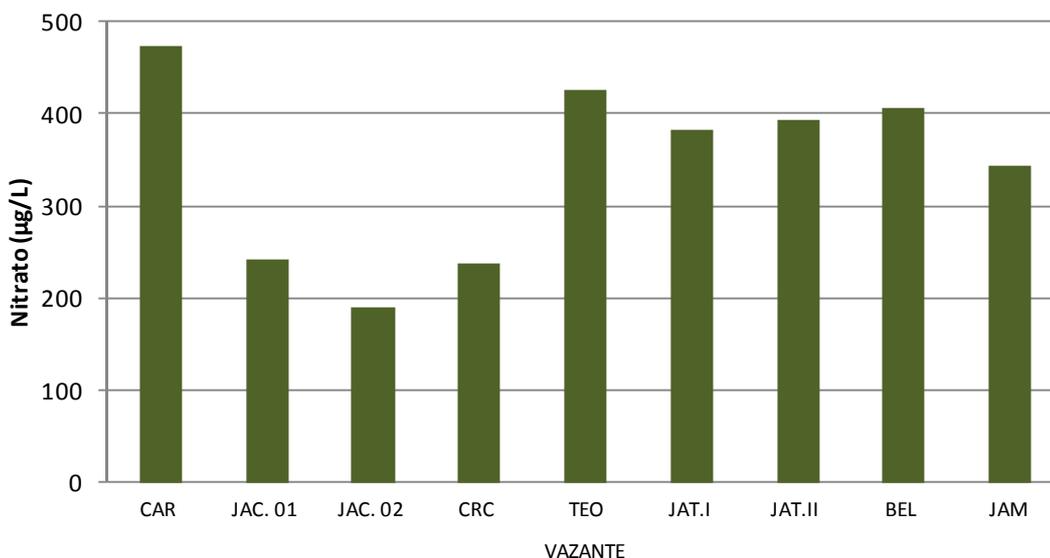


Figura 5.1-112 - Concentrações de nitrato nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

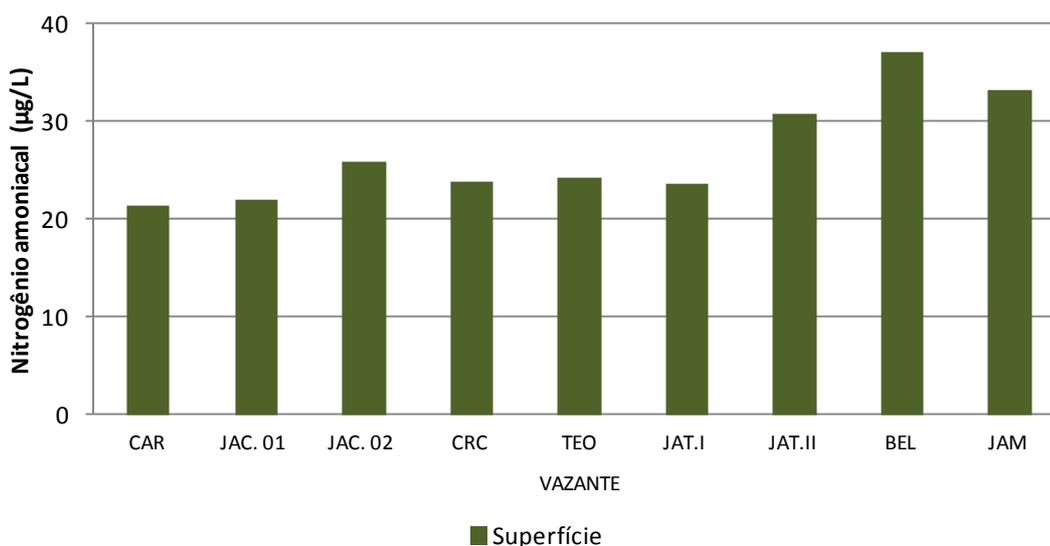


Figura 5.1-113 - Concentrações de nitrogênio amoniacoal nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

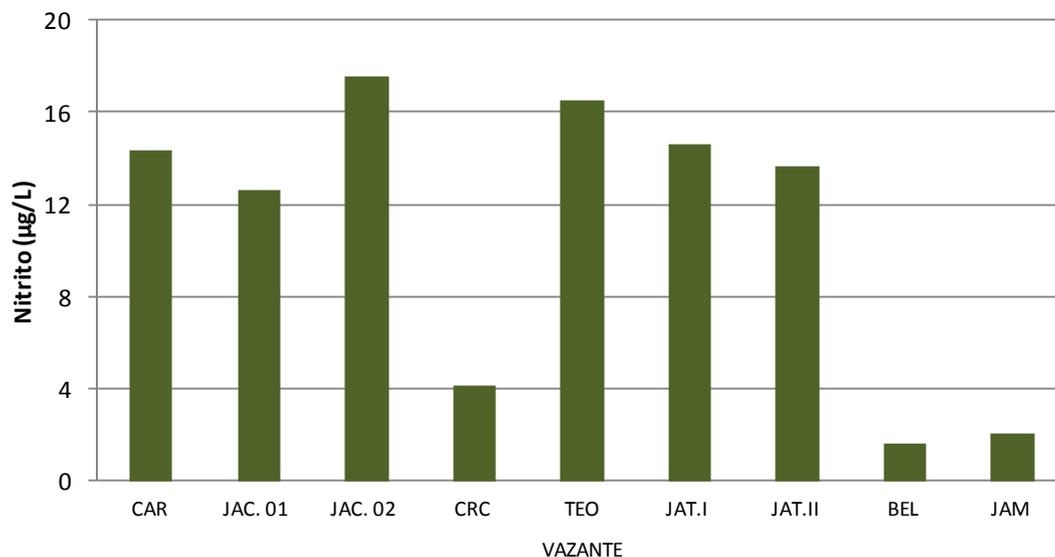


Figura 5.1-114 - Concentrações de nitrito nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

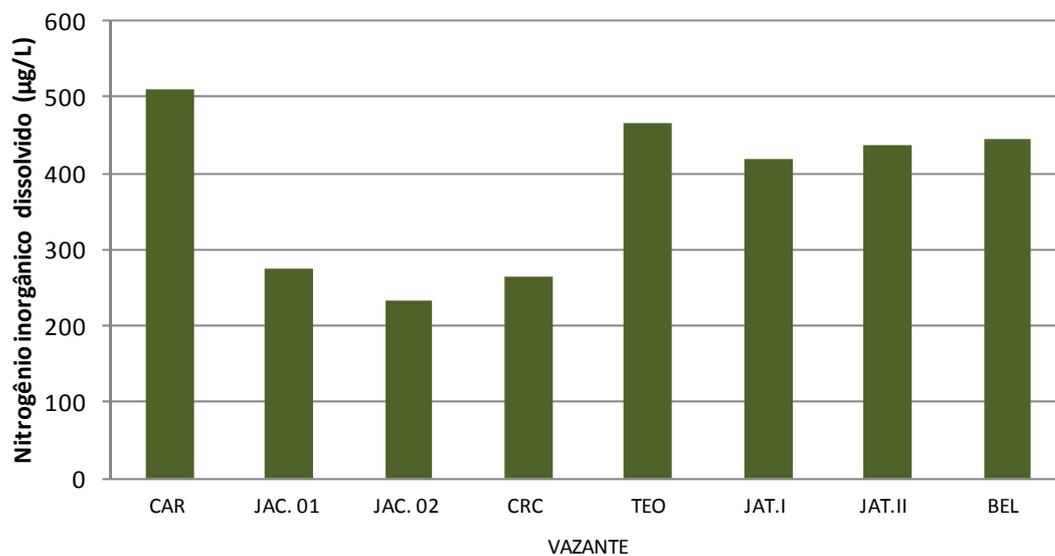


Figura 5.1-115 - Concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

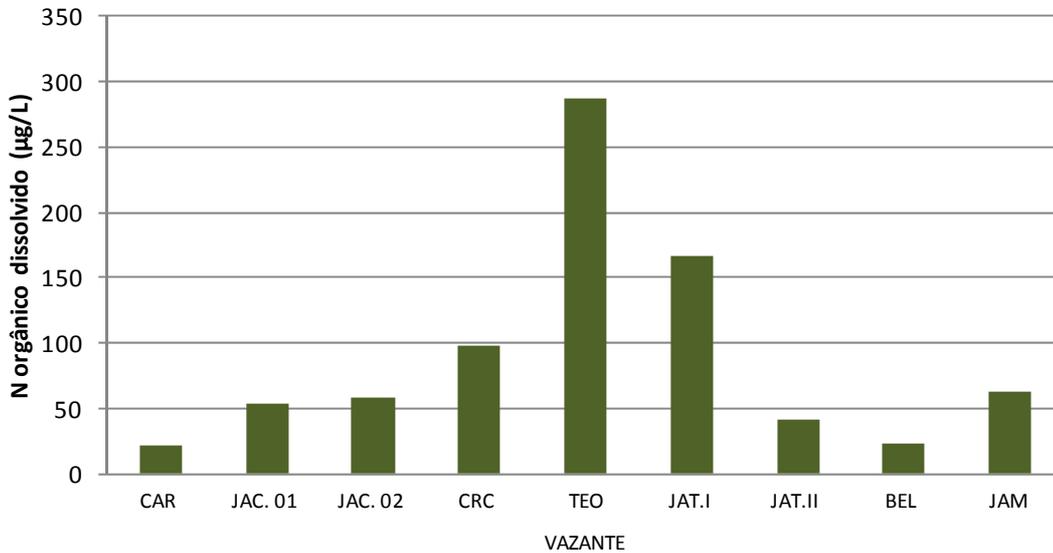


Figura 5.1-116 - Concentrações de nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

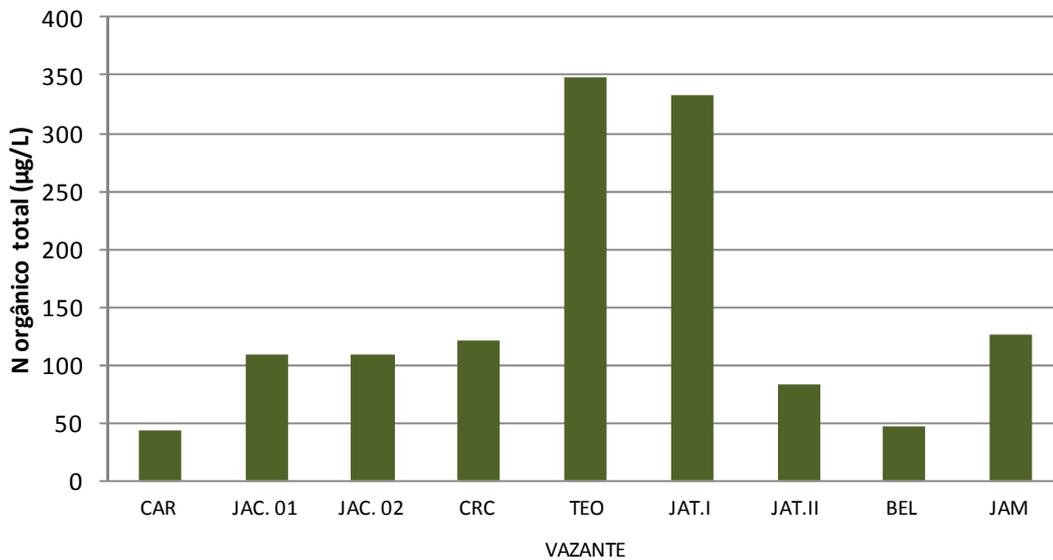


Figura 5.1-117 - Concentrações de nitrogênio orgânico total (NOT) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

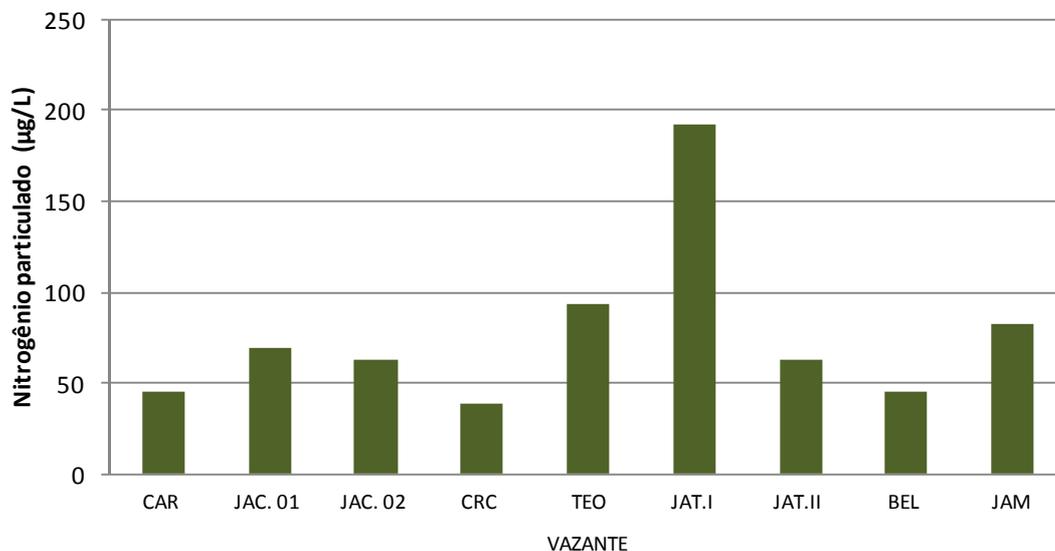


Figura 5.1-118 - Concentrações de nitrogênio particulado (NP) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

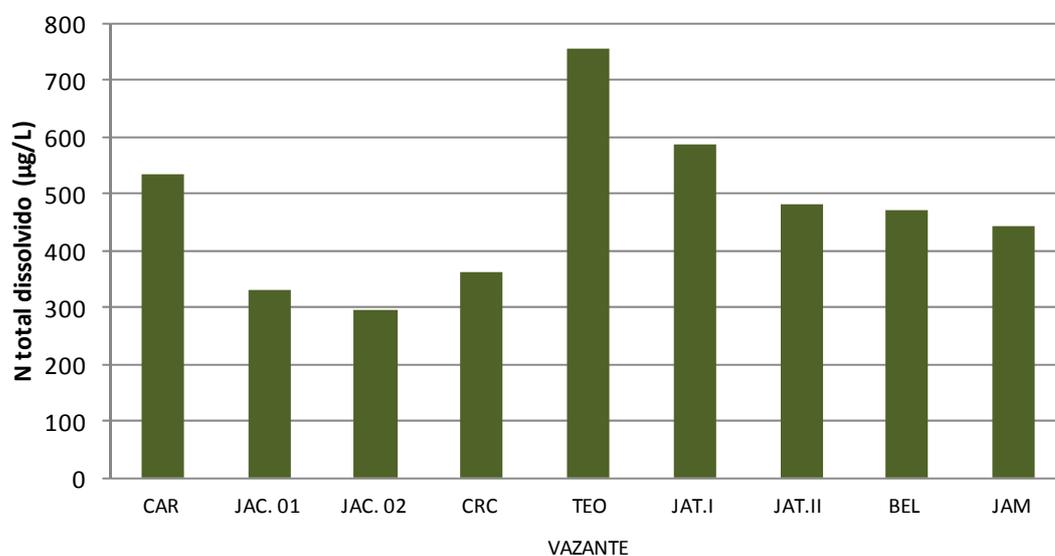


Figura 5.1-119 - Concentrações de nitrogênio total dissolvido (NTD) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

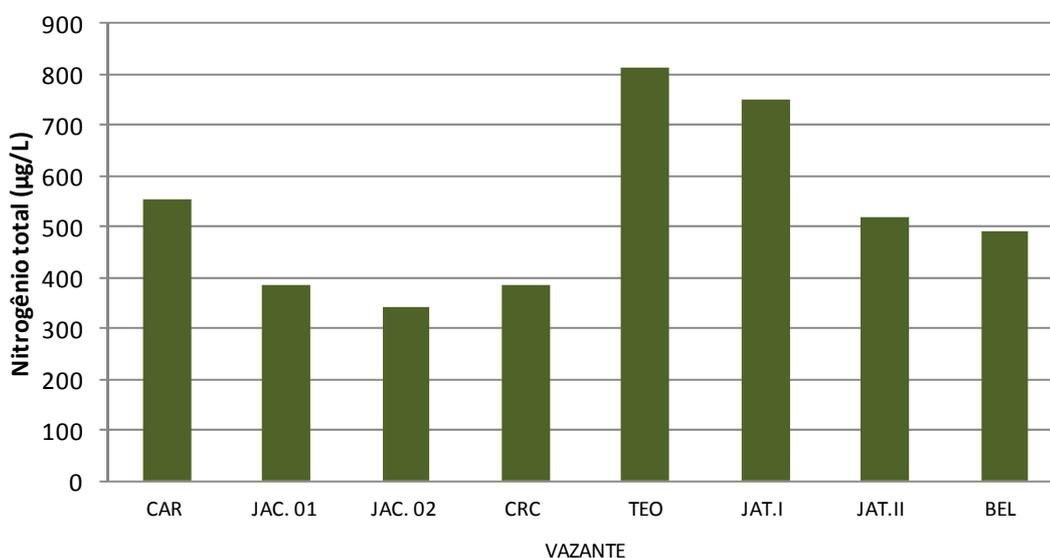


Figura 5.1-120 - Concentrações de nitrogênio total (NT) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

Nos lagos e canais, o nitrato foi a fração que mais contribuiu para o nitrogênio inorgânico dissolvido, tendo sido em média 92% dessa fração, porcentagem semelhante à encontrada para o rio Madeira e para os tributários. As concentrações de nitrato variaram entre 262 µg/L (LC.01 superfície) a 2053 µg/L (LC.02), com média de 746 ± 596 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-121).

As concentrações de nitrogênio amoniacal oscilaram entre 18 µg/L (LC.03) a 92 µg/L (CC.02), com média de 46 ± 33 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-122).

O nitrito apresentou concentração média de $2,2 \pm 0,2$ µg/L (média \pm DP), variando entre 1,9 µg/L (MIG) a 2,6 µg/L (LC.03) (Figura 5.1-123). O nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) apresentou concentração média de 794 ± 594 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-124). O NID foi em média 75% do nitrogênio total, sendo o restante composto pela fração orgânica.

A concentração média de nitrogênio orgânico total foi de 323 ± 363 µg/L (média \pm DP), variando entre 66 µg/L (LC.03) a 987 µg/L (CUJ) (Figura 5.125). O nitrogênio orgânico dissolvido variou entre 33 µg/L (LC.03) a 494 µg/L (CUJ), com média de 162 ± 182 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-126).

O nitrogênio particulado apresentou concentração média de 204 ± 210 µg/L (média \pm DP), oscilando entre 49 µg/L (LC.03) a 563 µg/L (CUJ) (Figura 5.1-127). A fração particulada foi em

média 17% do nitrogênio total, estando o restante na fração dissolvida. O nitrogênio total dissolvido variou entre 350 µg/L (LC.01 fundo) a 2489 µg/L (LC.02), com média de 956 ± 743 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-128). O nitrogênio total apresentou concentração média de 1117 ± 903 µg/L (média \pm DP), variando entre 400 µg/L (LC.01 fundo) a 2899 µg/L (LC.02) (Figura 5.1-129).

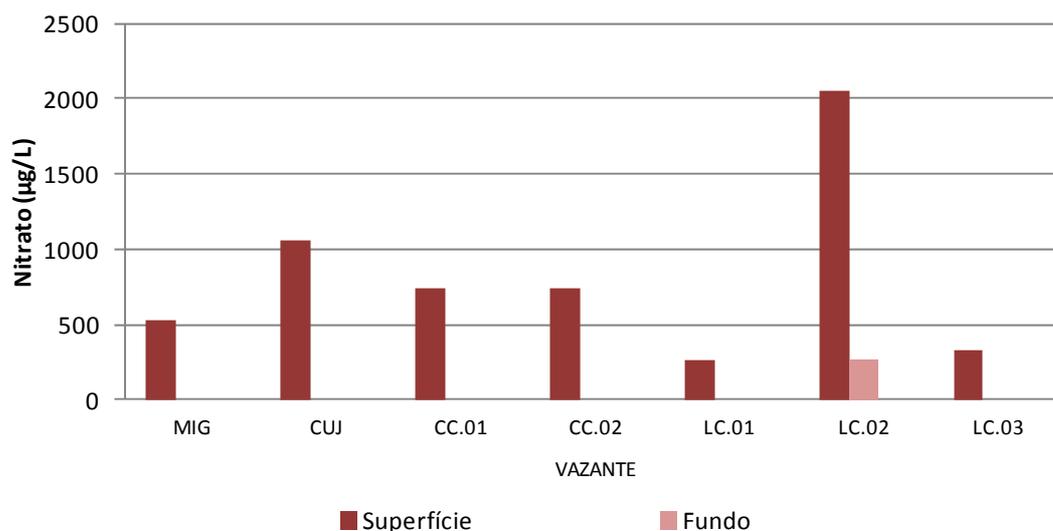


Figura 5.1-121 - Concentrações de nitrato nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

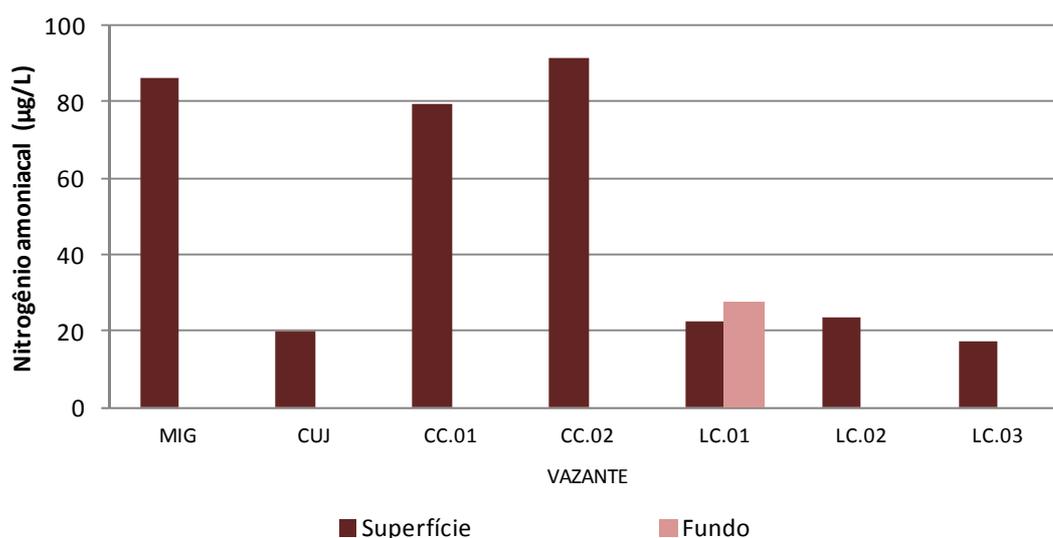


Figura 5.1-122 - Concentrações de nitrogênio amoniacal nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

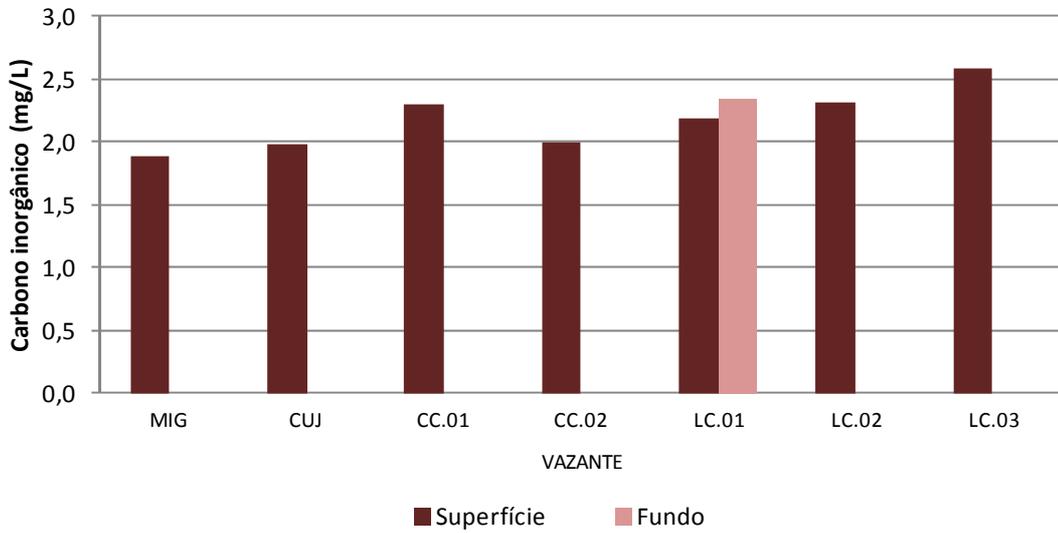


Figura 5.1-123 - Concentrações de nitrito nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

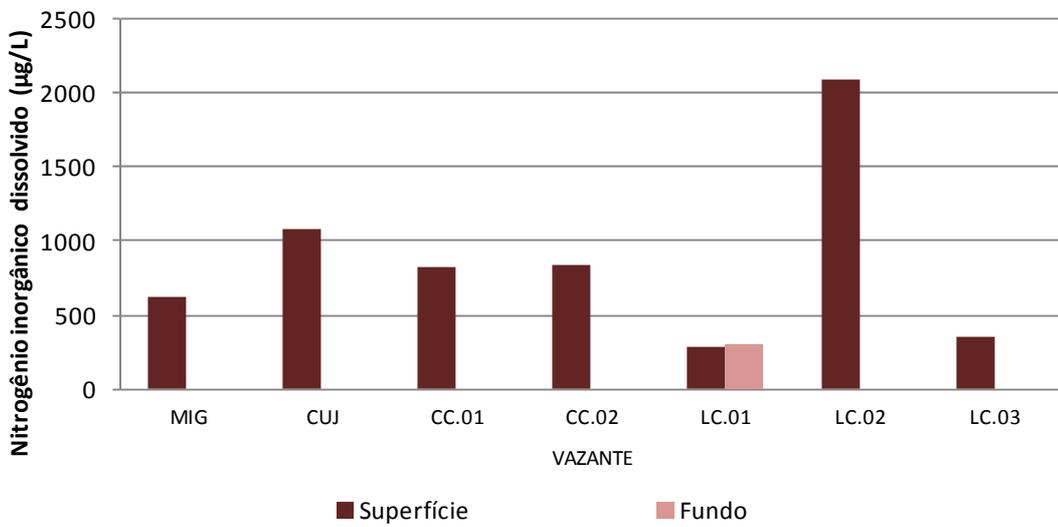


Figura 5.1-124 - Concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

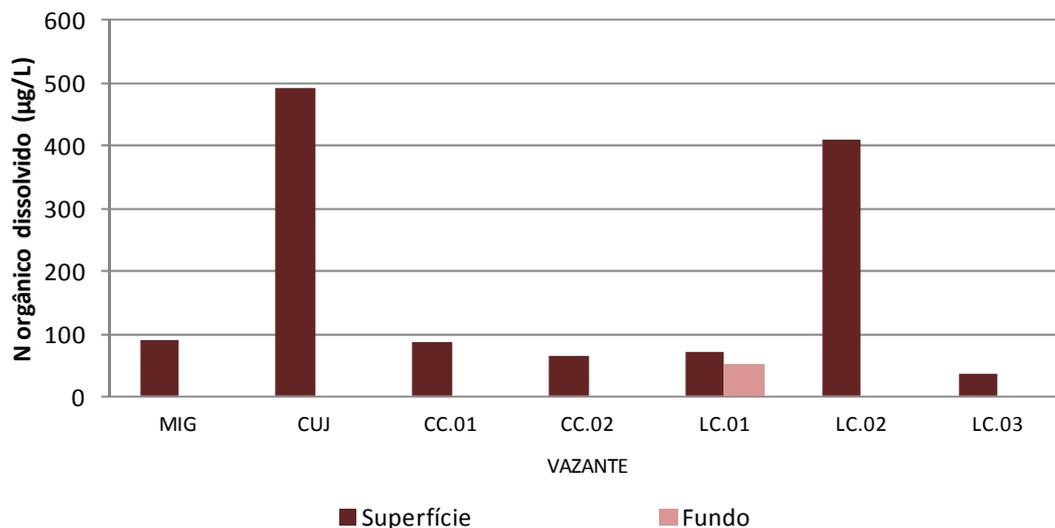


Figura 5.1-125 - Concentrações de nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

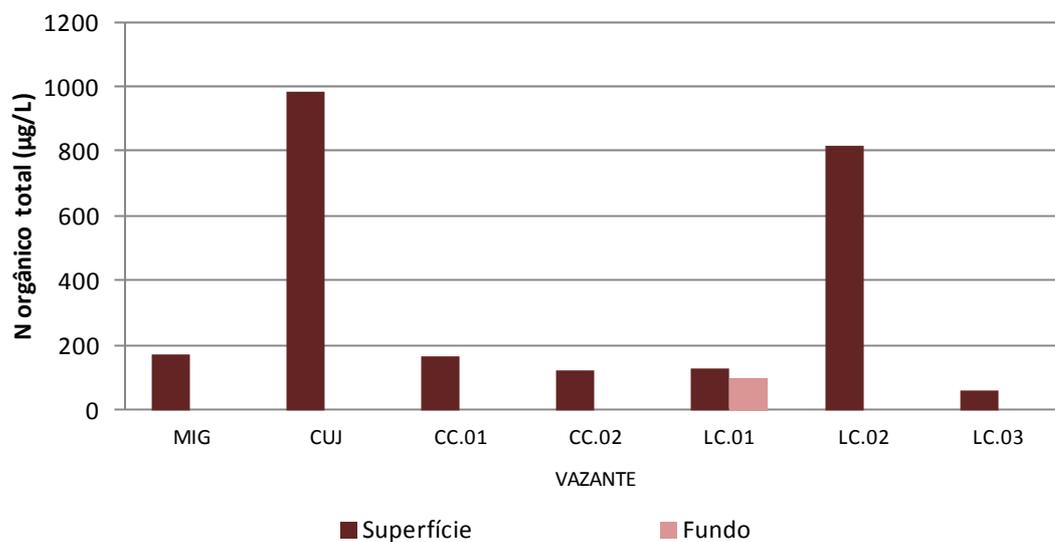


Figura 5.1-126 - Concentrações de nitrogênio orgânico total (NOT) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

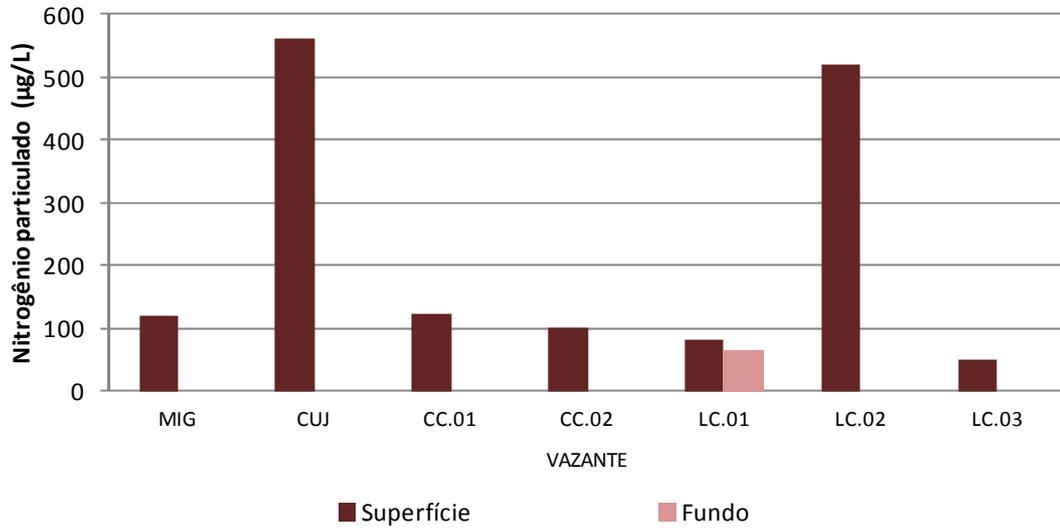


Figura 5.1-127 - Concentrações de nitrogênio particulado (NP) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

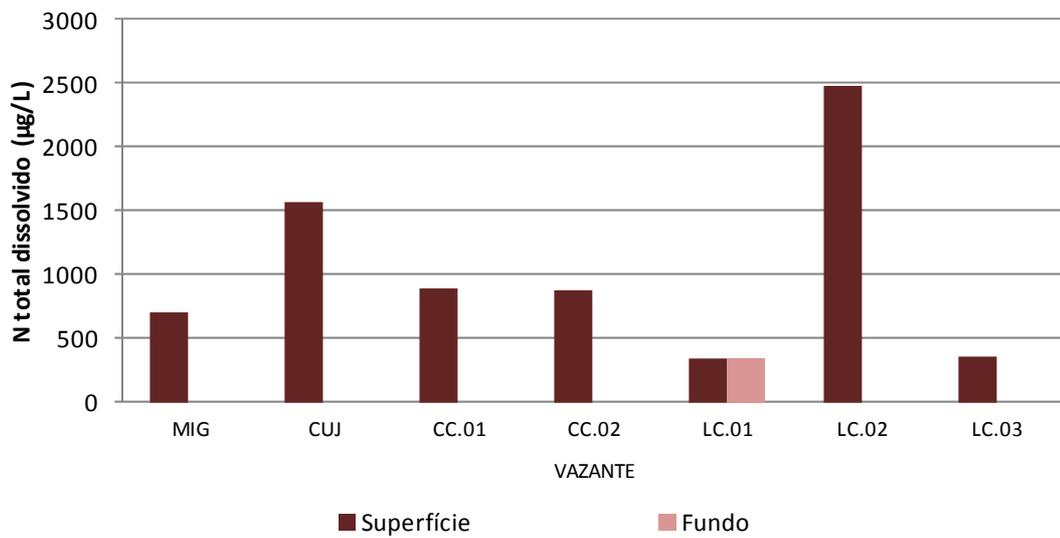


Figura 5.1-128 - Concentrações de nitrogênio total dissolvido (NTD) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

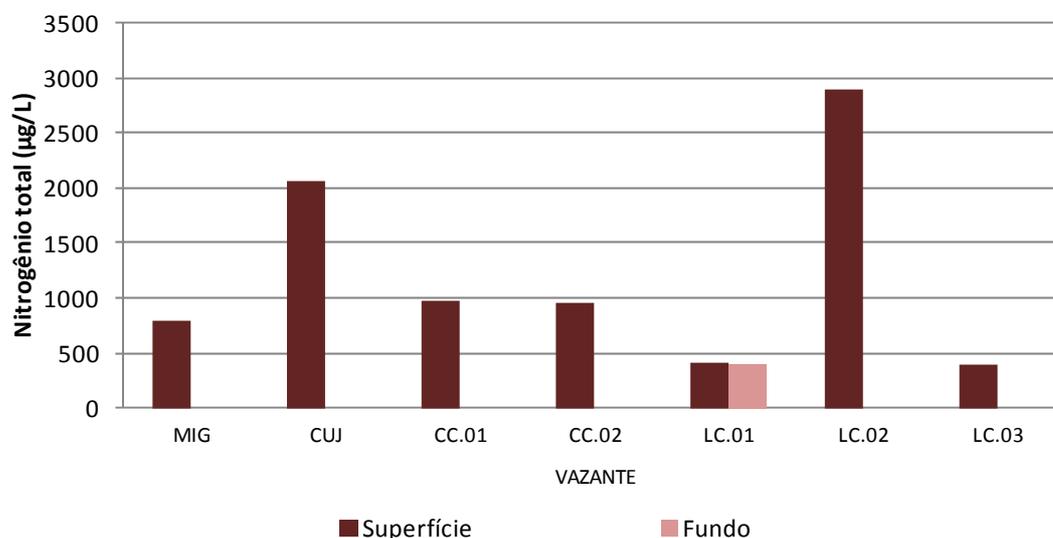


Figura 5.1-129 - Concentrações de nitrogênio total (NT) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

Houve bastante variação nas concentrações das diferentes formas de nitrogênio entre as estações amostradas nos três compartimentos (rio Madeira, tributários e lagos e canais). Em geral, as concentrações das frações de nitrogênio foram maiores nos lagos e canais do que no rio Madeira e nos tributários. As concentrações de nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrito atenderam ao Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de Classe 2 em todas as estações amostradas.

5.1.10.2 - Conteúdo nutricional: Fósforo (Ortofosfato, Fósforo total dissolvido, Fósforo total, Fósforo orgânico dissolvido, Fósforo orgânico total e Fósforo particulado)

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

O ortofosfato, fração mais importante do ponto de vista biológico, apresentou concentração média de $14,1 \pm 4,6$ µg/L (média \pm DP), variando entre 8,4 µg/L (MON.02 superfície) a 26 µg/L (MON.01 superfície) (Figura 5.1-130). O ortofosfato representou em média 8% do fósforo total. 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 µg/L, valor semelhante ao encontrado no presente estudo.

O fósforo total dissolvido variou entre 50 µg/L (MON.02 fundo) a 185 µg/L (JUS.01 superfície), com média de 116 ± 45 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-131). A fração dissolvida foi em média 61% do fósforo total, estando o restante na fração particulada (Figura 5.1-132). O fósforo particulado apresentou concentração média de 80 ± 69 µg/L (média \pm DP), oscilando entre 7,7 µg/L (JUS.01 superfície) a 299 µg/L (MON.02 fundo) (Figura 5.1-133).

As concentrações de fósforo total no rio Madeira foram elevadas. Os valores variaram entre 120 µg/L (MON.01 superfície) a 350 µg/L (MON.02 fundo), com média de 196 ± 48 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-134).

Em relação à parcela orgânica, o fósforo orgânico total apresentou concentração média de 182 ± 50 µg/L (média \pm DP), oscilando entre 95 µg/L (MON.01 superfície) a 340 µg/L (MON.02 fundo) (Figura 5.1-135). O fósforo orgânico dissolvido variou entre 41 µg/L (MON.02 fundo) a 170 µg/L (JUS.01 superfície), com média de 102 ± 46 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-136).

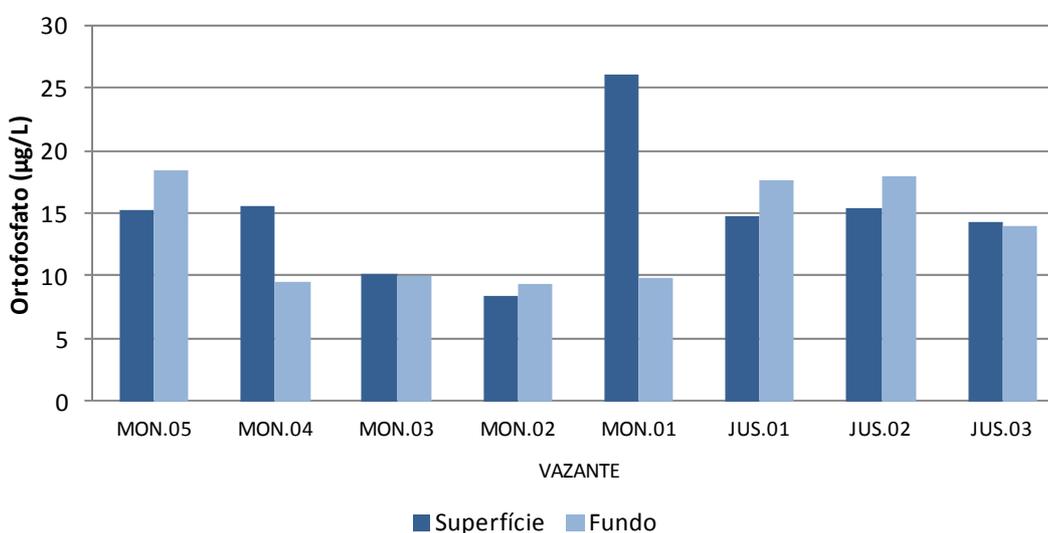


Figura 5.1-130 - Concentrações de ortofosfato no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

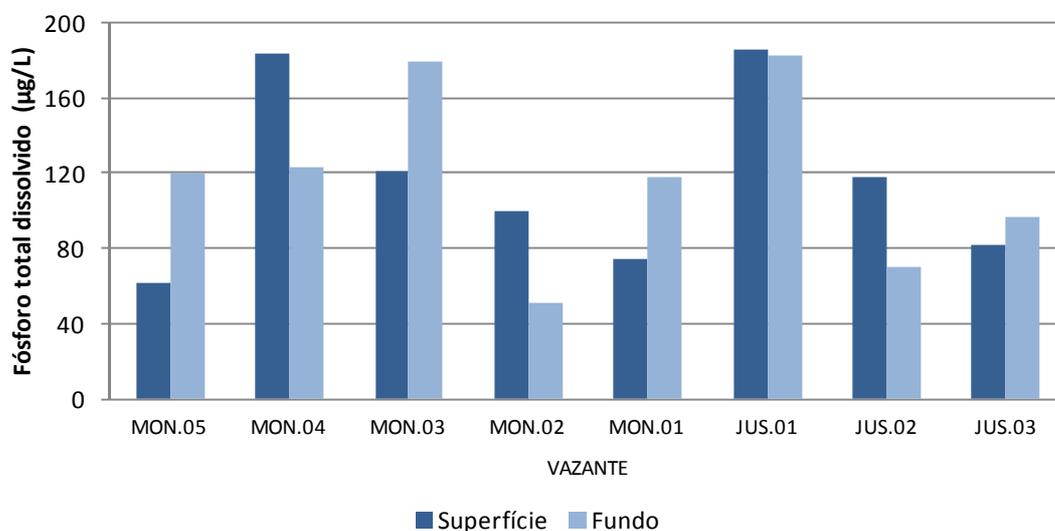


Figura 5.1-131 - Concentrações de fósforo total dissolvido (PTD) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

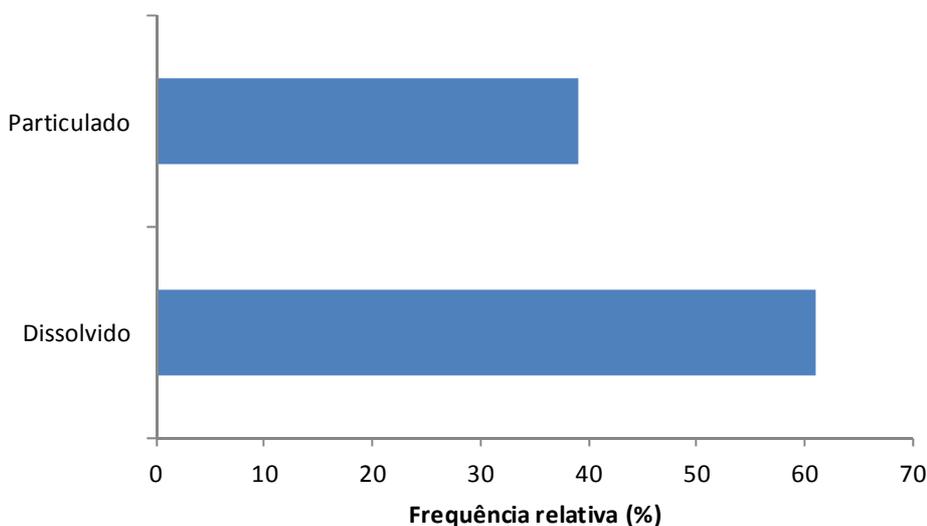


Figura 5.1-132 - Frequência relativa média das frações do fósforo total no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

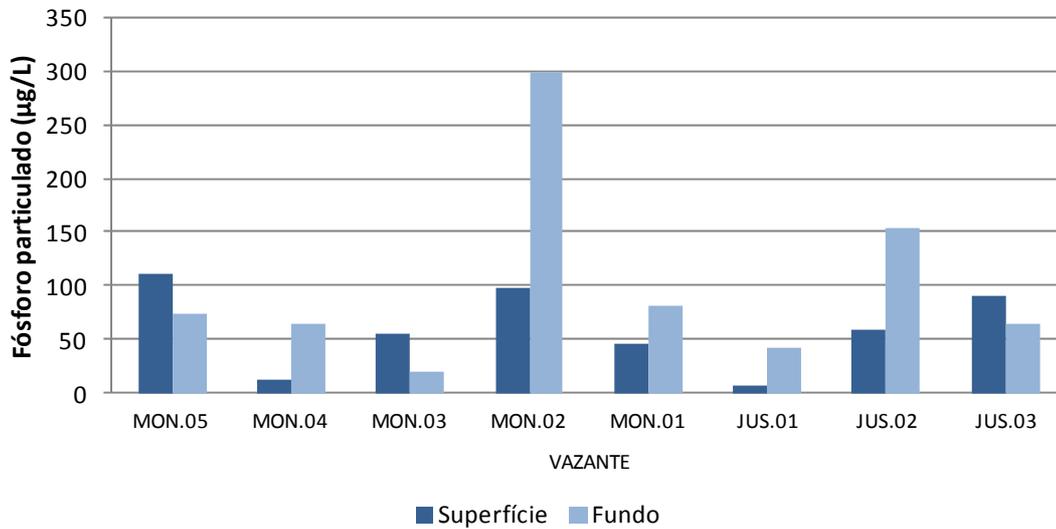


Figura 5.1-133 - Concentrações de fósforo particulado (PP) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

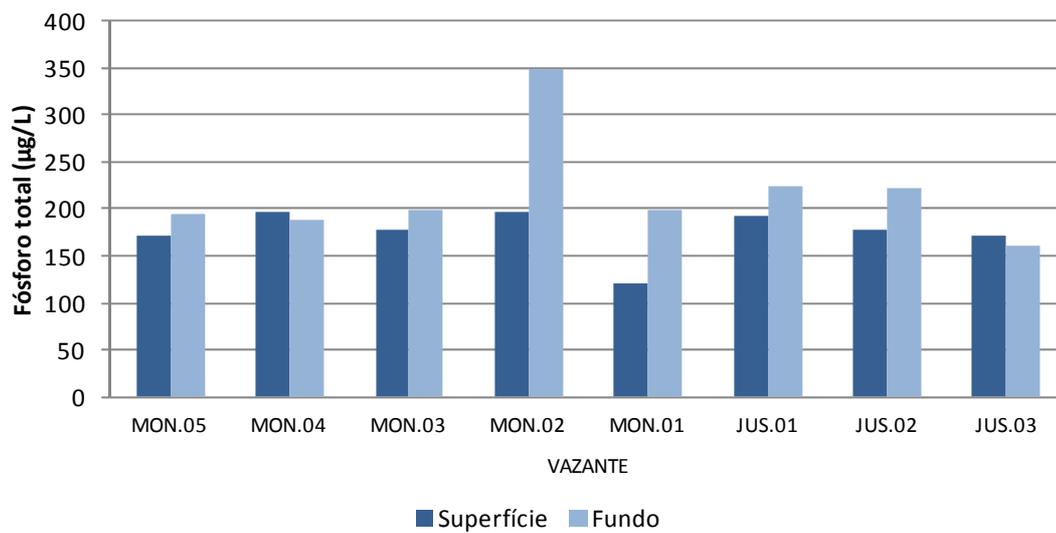


Figura 5.1-134 - Concentrações de fósforo total (PT) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

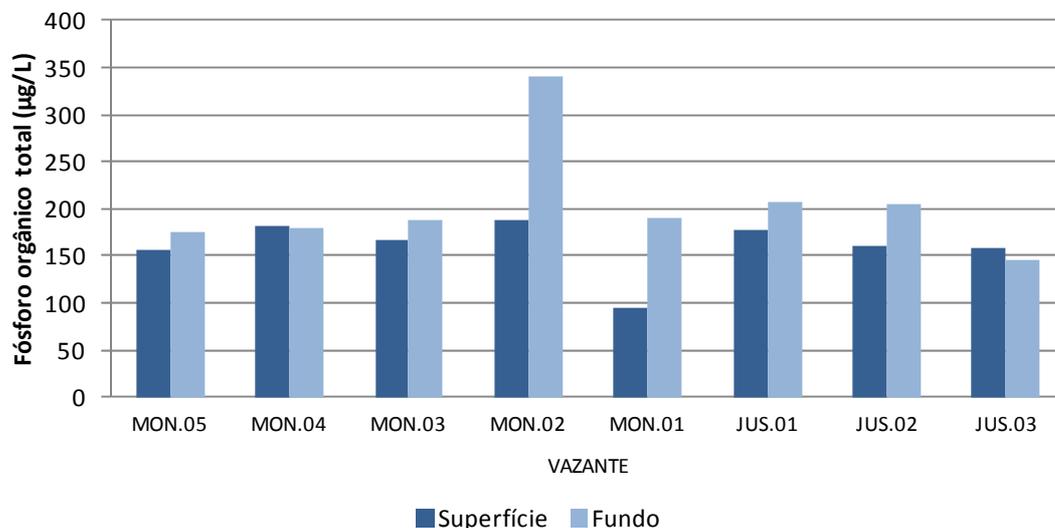


Figura 5.1-135 - Concentrações de fósforo orgânico total (POT) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

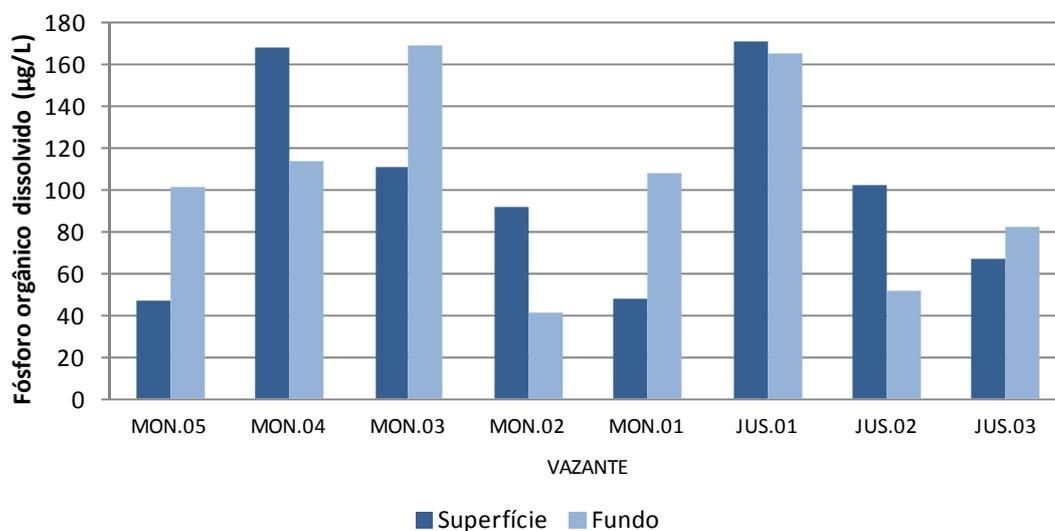


Figura 5.1-136 - Concentrações de fósforo orgânico dissolvido (POD) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

Nos tributários, o ortofosfato variou entre 4,2 µg/L (JAM) a 15,4 µg/L (CRC), com média de $8,9 \pm 4,4$ µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-137). O ortofosfato representou em média 20% do fósforo total.

O fósforo total dissolvido apresentou concentração média de 42 ± 38 µg/L (média \pm DP), variando entre 10,6 µg/L (JAM) a 113 µg/L (JAT II) (Figura 5.1-138). A fração dissolvida foi em média 64%

do fósforo total, estando o restante na fração particulada. O fósforo particulado variou entre 6,4 µg/L (CRC) a 64 µg/L (JAT II), com média de 23 ± 20 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-139).

As concentrações de fósforo total nos tributários foram inferiores às observadas para o rio Madeira. A concentração média foi de 64 ± 58 µg/L (média \pm DP), com os valores oscilando entre 20 µg/L (JAM) a 178 µg/L (JAT II) (Figura 5.1-140).

Em relação à parcela orgânica, o fósforo orgânico total apresentou concentração média de 55 ± 57 µg/L (média \pm DP), oscilando entre 15 µg/L (JAM) e 172 µg/L (JAT II) (Figura 5.1-141). O fósforo orgânico dissolvido variou entre 6,4 µg/L (JAM) e 107 µg/L (JAT II), com média de 33 ± 38 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-142).

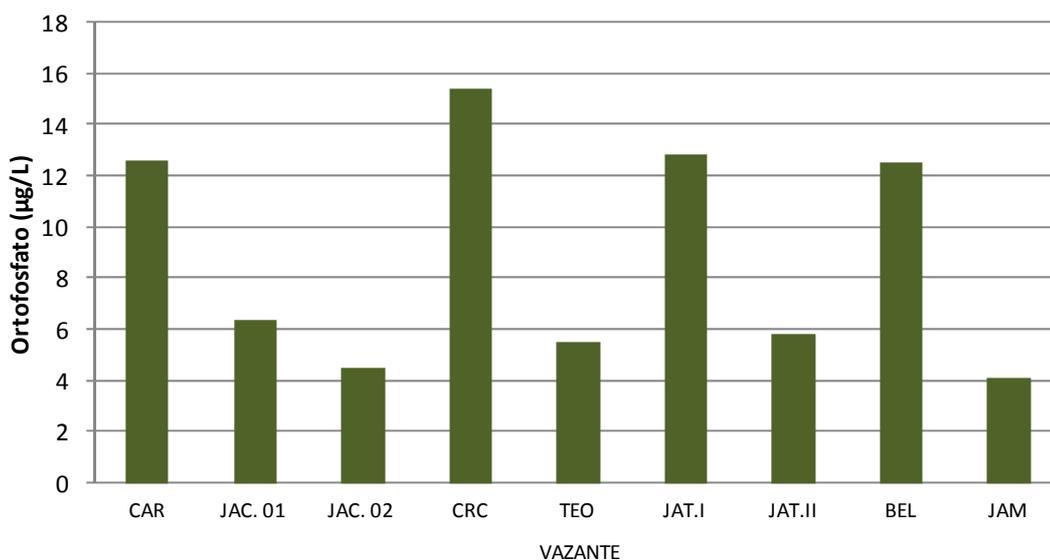


Figura 5.1-137 - Concentrações de ortofosfato nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

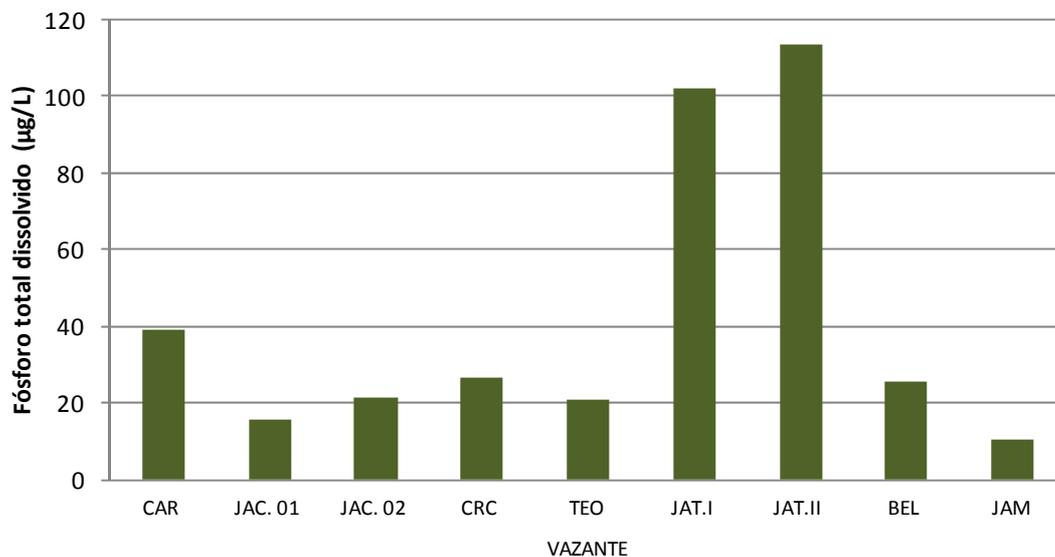


Figura 5.1-138 - Concentrações de fósforo total dissolvido (PTD) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

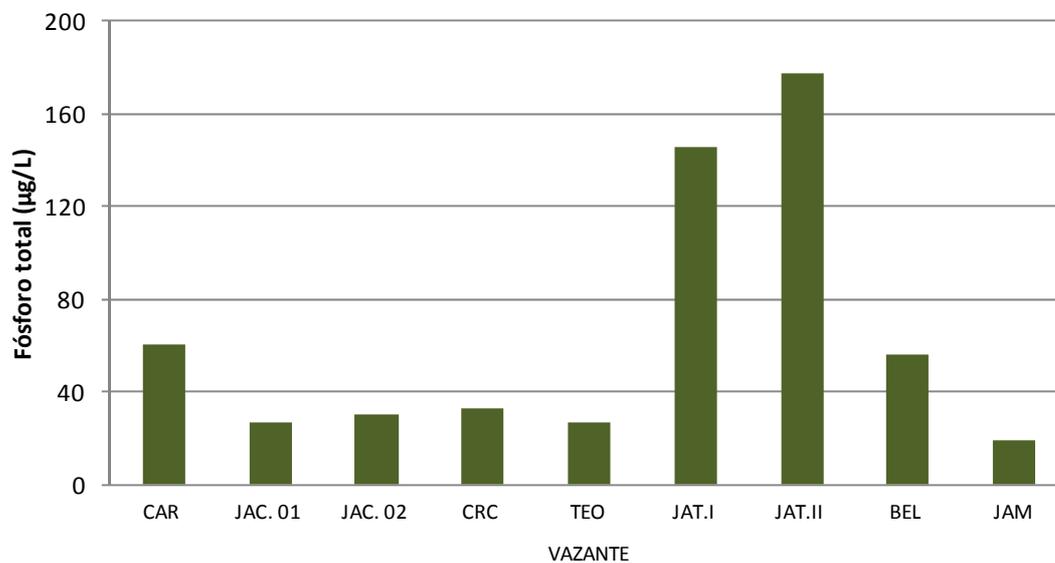


Figura 5.1-139 - Concentrações de fósforo total (PT) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

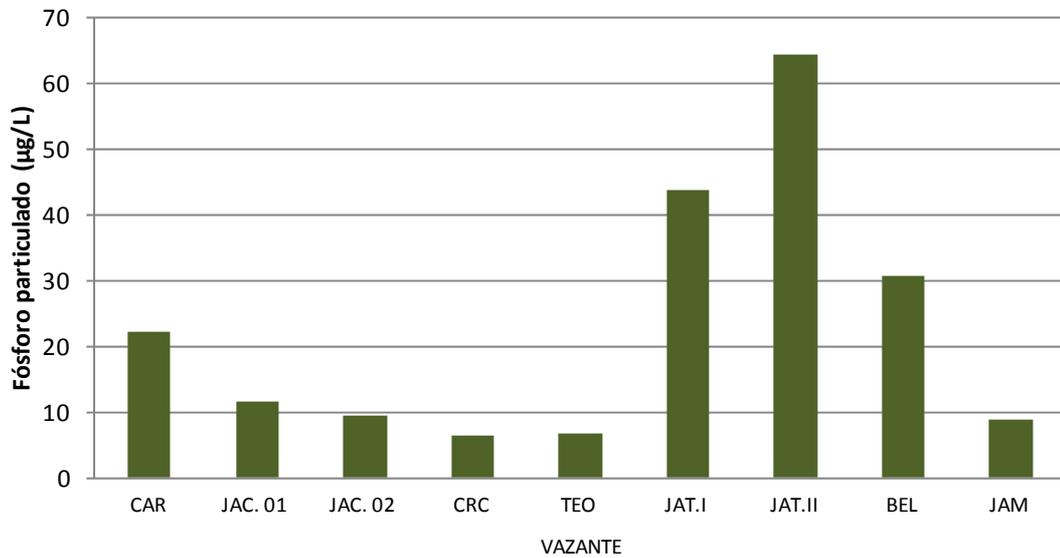


Figura 5.1-140 - Concentrações de fósforo particulado (PP) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

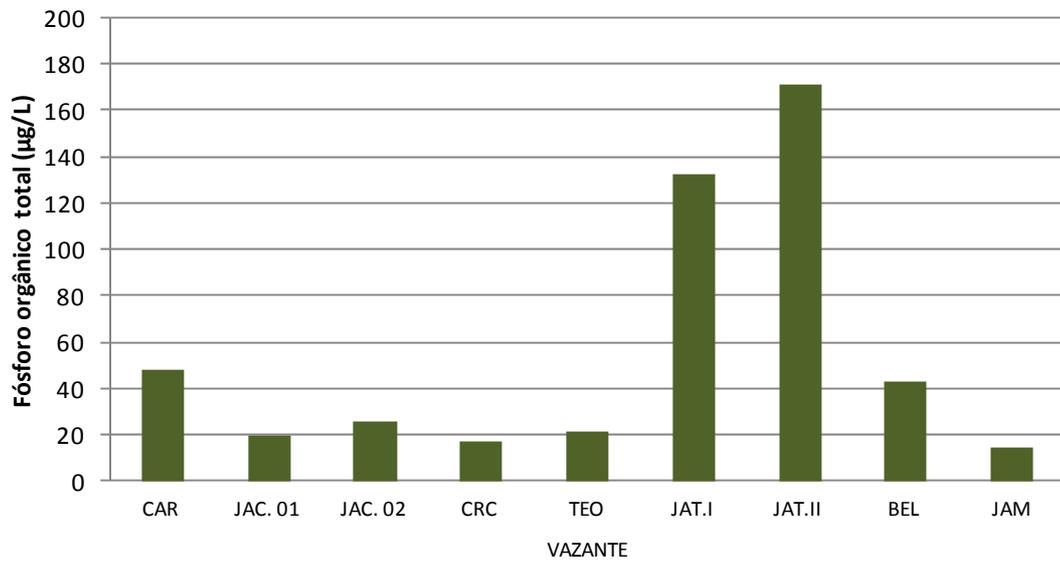


Figura 5.1-141 - Concentrações de fósforo orgânico total (POT) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

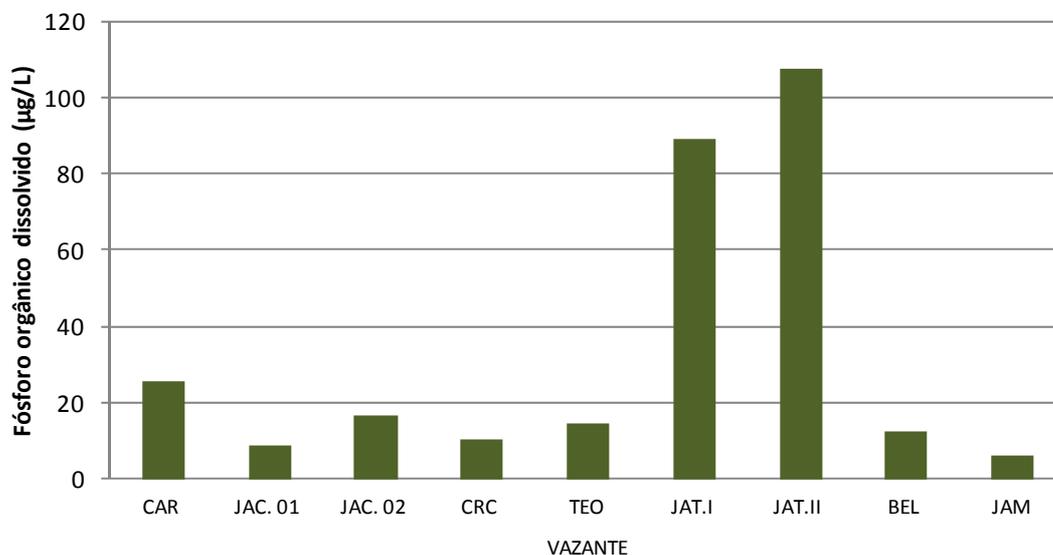


Figura 5.1-142 - Concentrações de fósforo orgânico dissolvido (POD) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

Nos lagos e canais, o ortofosfato variou entre 4,8 µg/L (LC.01 superfície) a 37 µg/L (MIG), com média de $11,8 \pm 10,5$ µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-143). O ortofosfato representou em média 11% do fósforo total, proporção semelhante à encontrada para o rio Madeira e menor que a encontrada para os tributários.

O fósforo total dissolvido apresentou concentração média de 52 ± 75 µg/L (média \pm DP), variando entre 13,4 µg/L (LC.01 fundo) a 234 µg/L (CC.02) (Figura 5.1-144). A fração dissolvida foi em média 33% do fósforo total, estando o restante na fração particulada. O fósforo particulado variou entre 27 µg/L (LC.01 superfície) a 136 µg/L (LC.02), com média de 80 ± 45 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-145).

As concentrações de fósforo total nos lagos e canais foram inferiores às observadas para o rio Madeira, mas superiores às observadas para os tributários. A concentração média foi de 132 ± 90 µg/L (média \pm DP), com os valores oscilando entre 42 µg/L (LC.01 superfície) a 317 µg/L (CC.02) (Figura 5.1-146).

Em relação à parcela orgânica, o fósforo orgânico total apresentou concentração média de 120 ± 90 µg/L (média \pm DP), oscilando entre 37 µg/L (LC.01 superfície) a 309 µg/L (CC.02) (Figura 5.1-147). O fósforo orgânico dissolvido variou entre 6,5 µg/L (LC.01 fundo) a 226 µg/L (CC.02), com média de 40 ± 76 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-148).

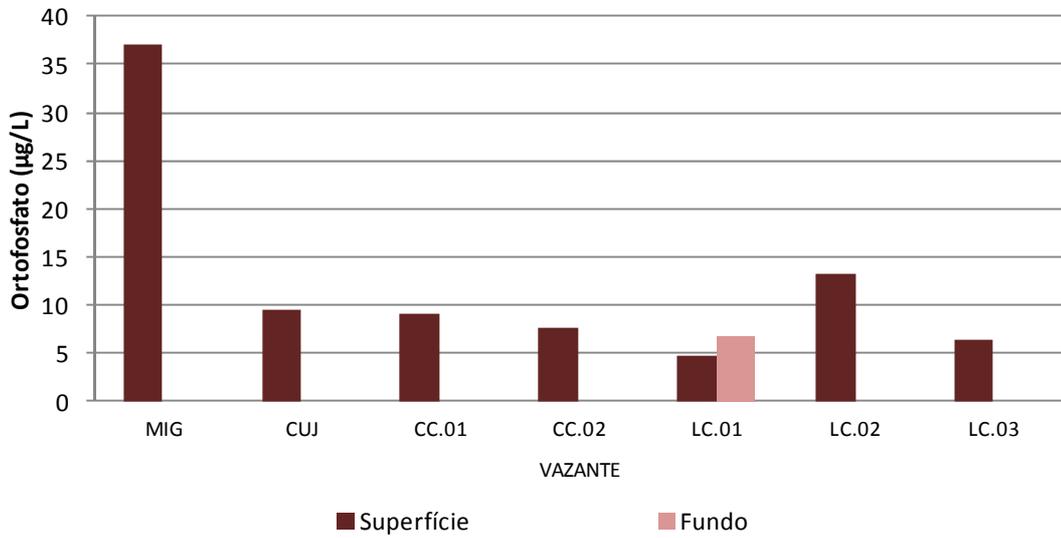


Figura 5.1-143 - Concentrações de ortofosfato nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

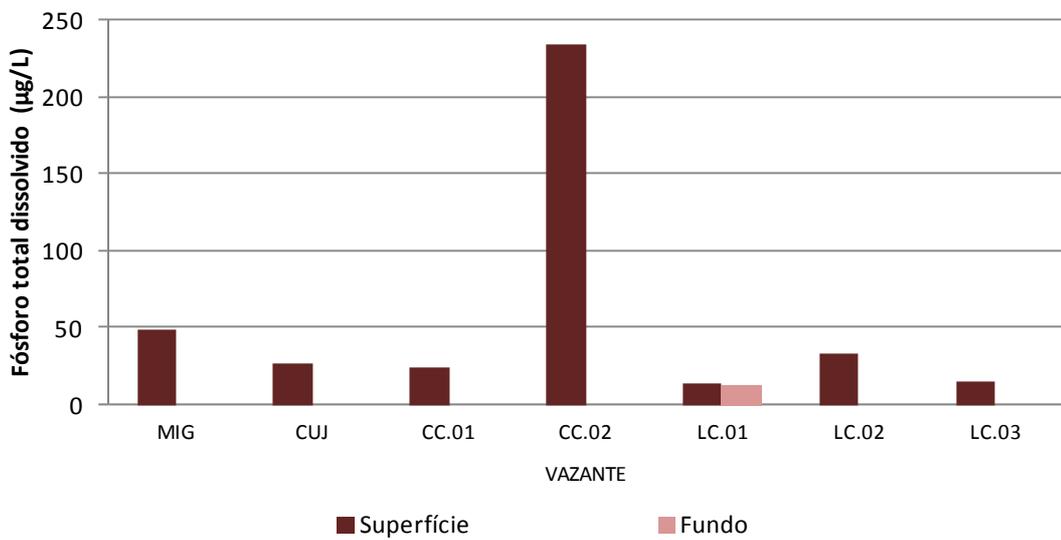


Figura 5.1-144 - Concentrações de fósforo total dissolvido (PTD) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

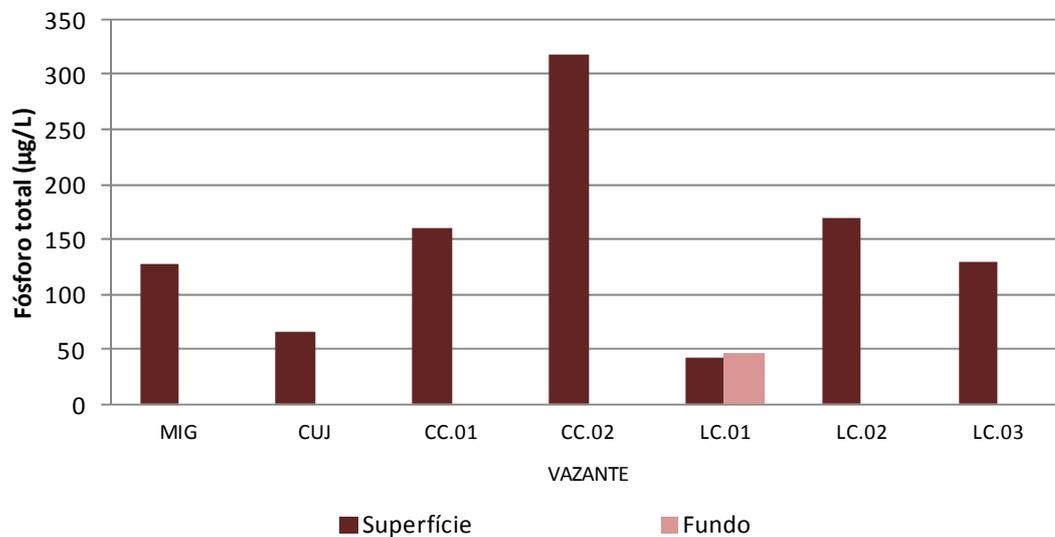


Figura 5.1-145 - Concentrações de fósforo total (PT) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

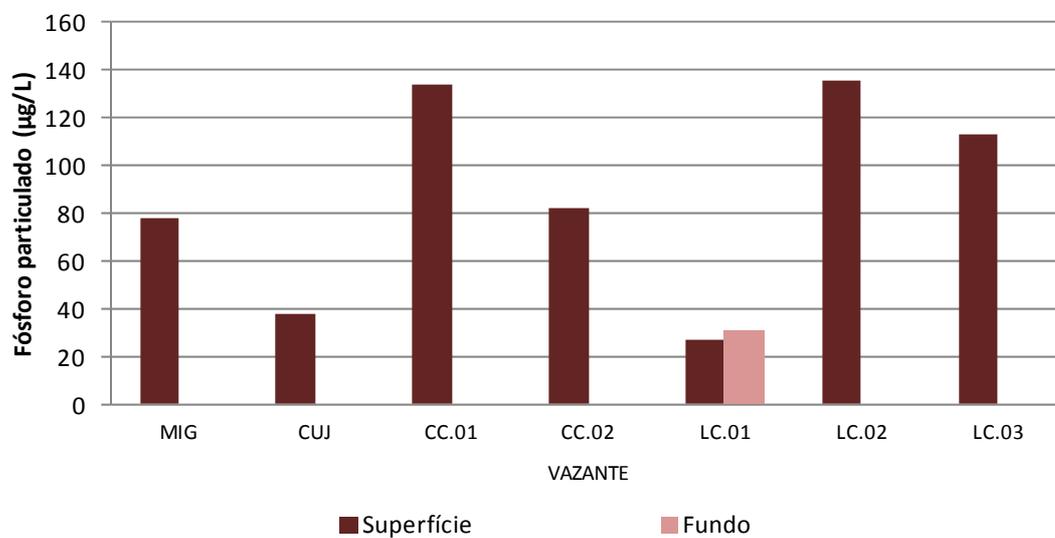


Figura 5.1-146 - Concentrações de fósforo particulado (PP) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

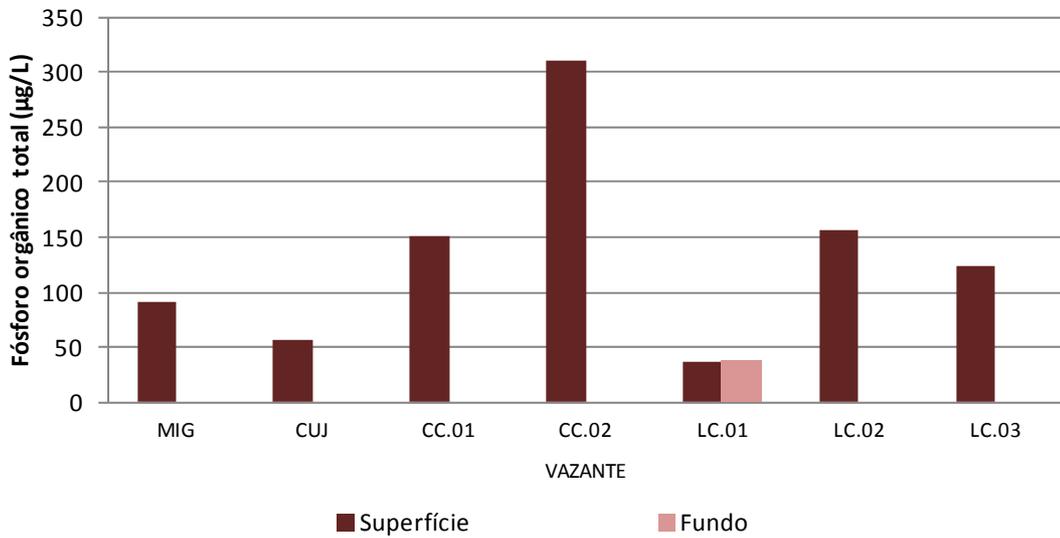


Figura 5.1-147 - Concentrações de fósforo orgânico total (POT) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

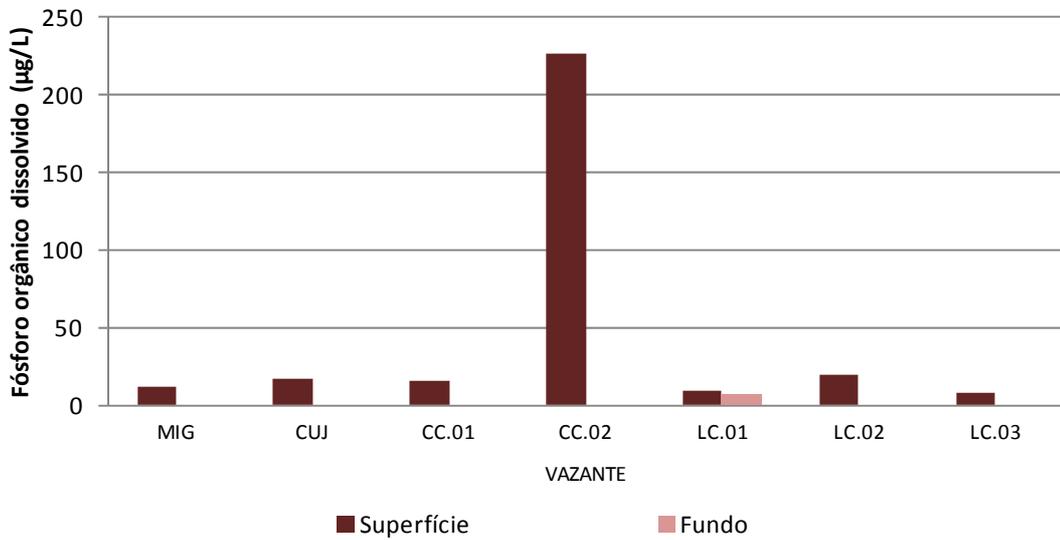


Figura 5.1-148 - Concentrações de fósforo orgânico dissolvido (POD) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

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 e JAT II) e alguns lagos e canais (MIG, CC.01, CC.02, LC.02 e LC.03) também não respeitaram o limite supracitado.

5.1.10.3 - Conteúdo nutricional: Silicatos reativos

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

No rio Madeira, a concentração de silicatos teve baixa variação espacial (**Figura 5.1-149**). Essas concentrações variaram entre 8,7 mg/L (JUS.03 fundo) a 10,1 mg/L (MON.01 superfície), com valor médio de $9,4 \pm 0,3$ mg/L (média \pm DP). Os resultados de silicatos encontrados no presente estudo foram semelhantes aos apresentados no EIA, que relata variação entre 3,6 e 7,4 mg/L. A sílica no rio Madeira é geralmente baixa, atingindo seus maiores valores no período de vazante.

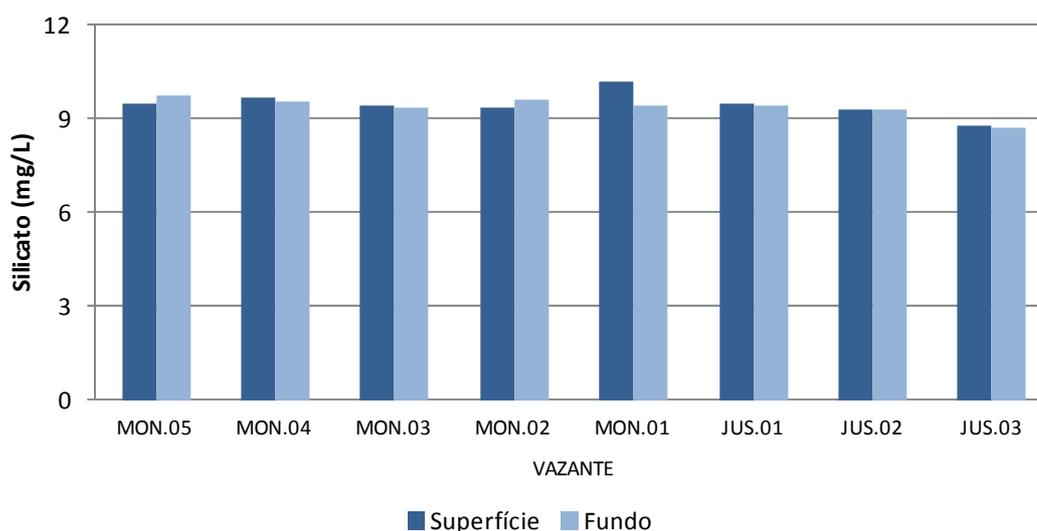


Figura 5.1-149 - Concentrações de silicatos reativos no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

Nos rios tributários, as concentrações de sílica tendem geralmente a apresentar valores baixos, nesse período de vazante essas concentrações oscilaram de 1,4 (TEO) a 7,3 mg/L (JAT II) (Figura 5.1-150), com média de $4,6 \pm 2,0$ mg/L (média \pm DP).

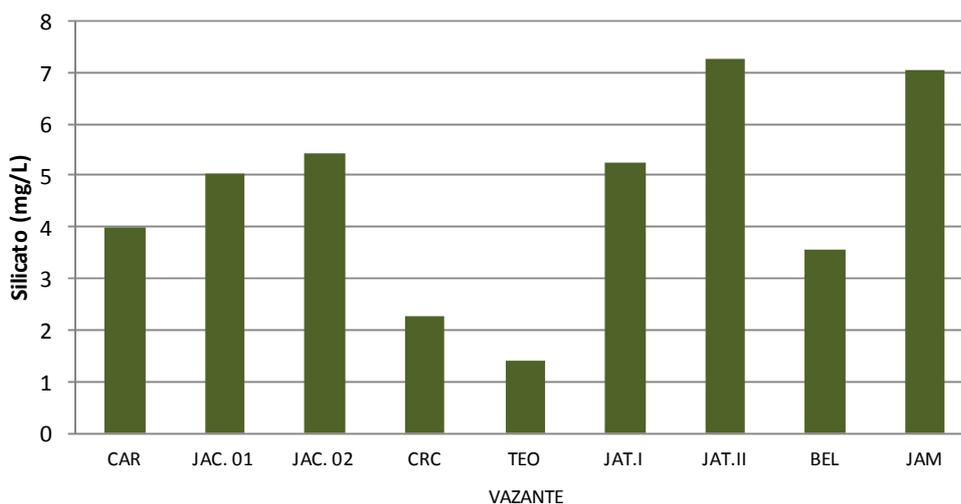


Figura 5.1-150 - Concentrações de silicatos reativos nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

Nos lagos e canais, a concentração média de sílica foi de $9,5 \pm 3,6$ mg/L (média \pm DP), variando entre 5,6 mg/L (CUJ) a 16,6 mg/L (LC.02) (Figura 5.1-151). Como no rio Madeira, os lagos e canais atingem seus maiores valores de silicatos reativos no período de vazante.

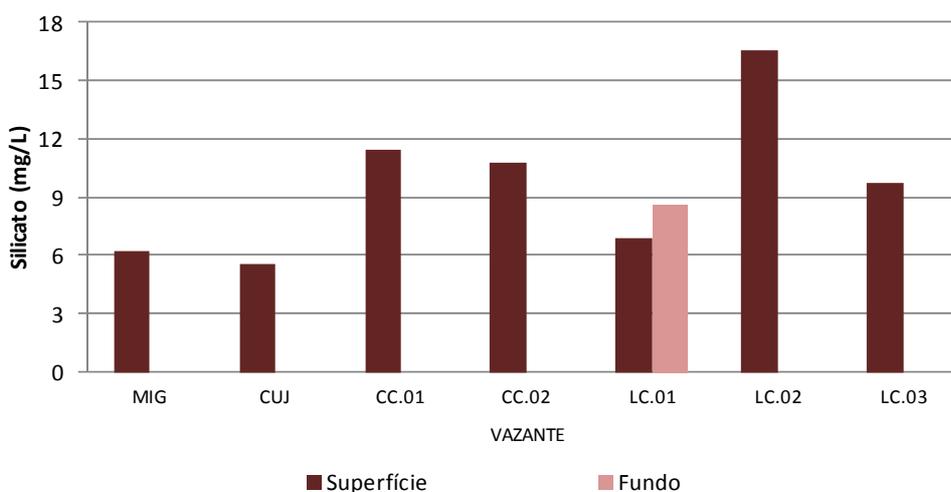


Figura 5.1-151 - Concentrações de silicatos reativos nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

5.1.11 - Químicas V

5.1.11.1 - 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.

5.1.11.2 - Ferro

No rio Madeira o ferro total apresentou média de 6272 ± 501 µg/L (média \pm DP), com as concentrações oscilando entre 5160 µg/L (JUS.02 superfície) a 6896 µg/L (MON.04 fundo) (Figura 5.1-152). Em relação à fração dissolvida, os valores variaram entre 158,9 µg/L (MON.05 fundo) a 295 µg/L (MON.03 fundo), com média de 241 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-153). Os elevados teores de ferro dissolvido no rio Madeira são de origem natural, uma vez que a principal fonte de ferro para ambientes aquáticos continentais é o intemperismo e a erosão de rochas da bacia de drenagem (Esteves, 1998).

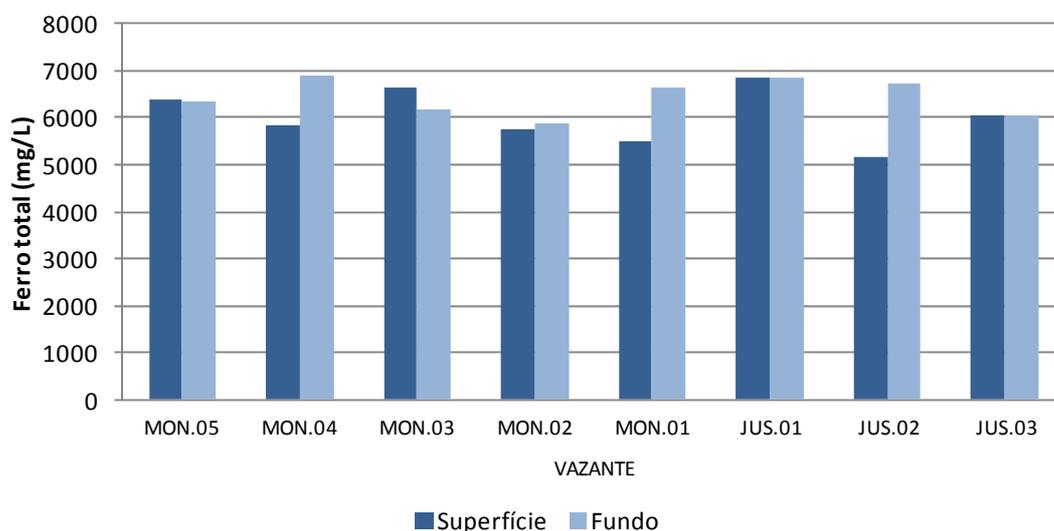


Figura 5.1-152 - Concentrações de ferro total no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

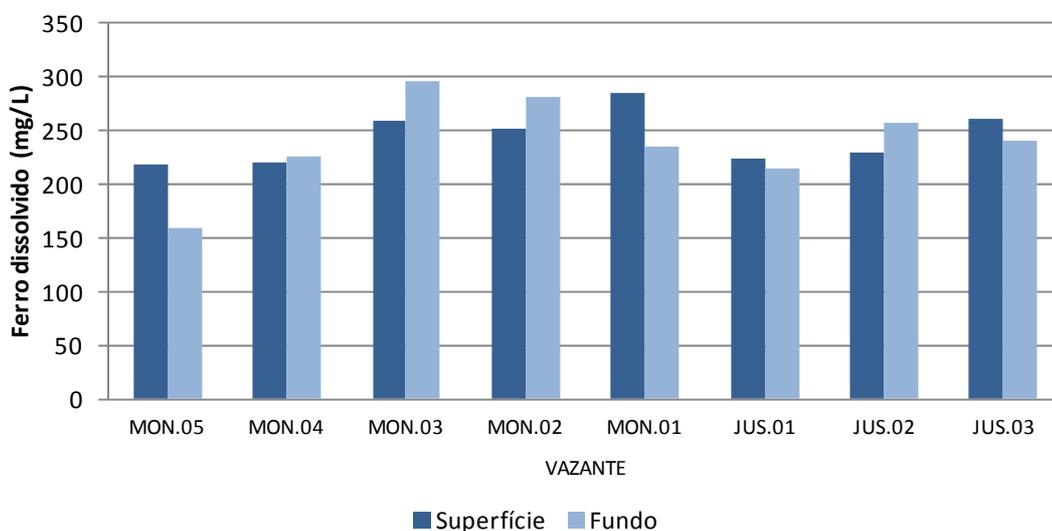


Figura 5.1-153 - Concentrações de ferro dissolvido no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

O ferro total foi mais baixo nos tributários, que tiveram média de $2077 \pm 1757 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP). As concentrações variaram de $735 \mu\text{g/L}$ (JAM) a $5030 \mu\text{g/L}$ (JAT I e II) (Figura 5.1-154). A variação espacial foi elevada, pois são ambientes diferentes e desconectados. As concentrações de ferro dissolvido oscilaram entre $93 \mu\text{g/L}$ (JAM) a $693 \mu\text{g/L}$ (TEO), com valor médio de $367 \pm 171 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-155).

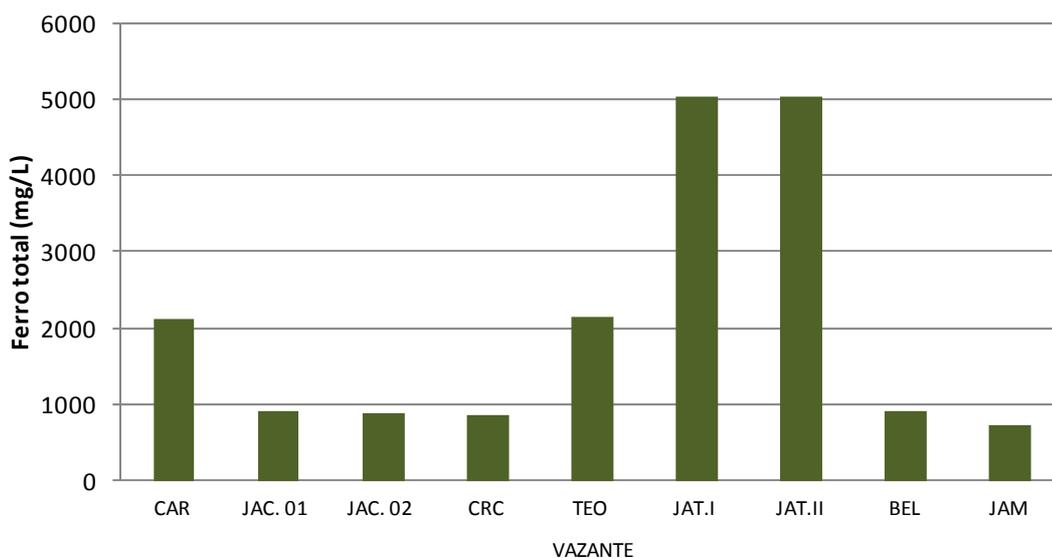


Figura 5.1-154 - Concentrações de ferro total nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

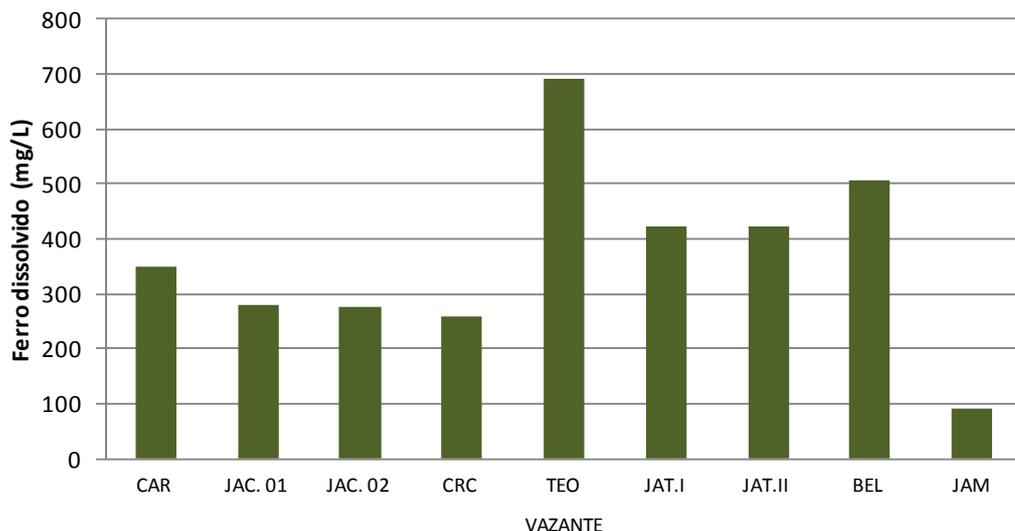


Figura 5.1-155 - Concentrações de ferro dissolvido nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

Nos lagos e canais, as concentrações médias de ferro total variaram entre 825 µg/L (LC.01 fundo) a 14438 µg/L (LC.02), com média de 4032 ± 4509 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-156). O ferro dissolvido teve uma média de 824 ± 846 µg/L (média \pm DP), as concentrações oscilaram entre 187 µg/L (LC.03) a 2600 µg/L (LC.02) (Figura 5.1-157). Os altos valores encontrados na estação LC.02 foram responsáveis por elevar as médias dos lagos e canais. A maior parte das estações apresentou menores valores, visto que a mediana do ferro total e ferro dissolvido foram de 2600 µg/L e 488 µg/L, respectivamente.

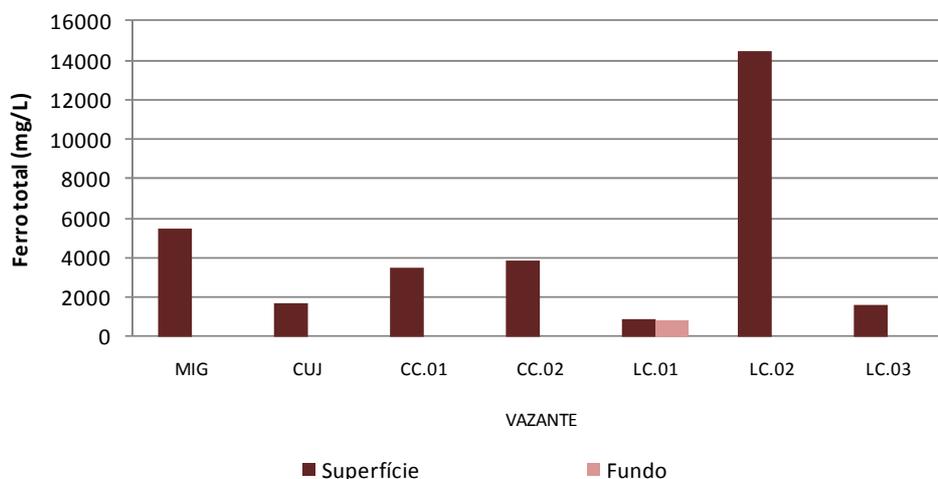


Figura 5.1-156 - Concentrações de ferro total nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

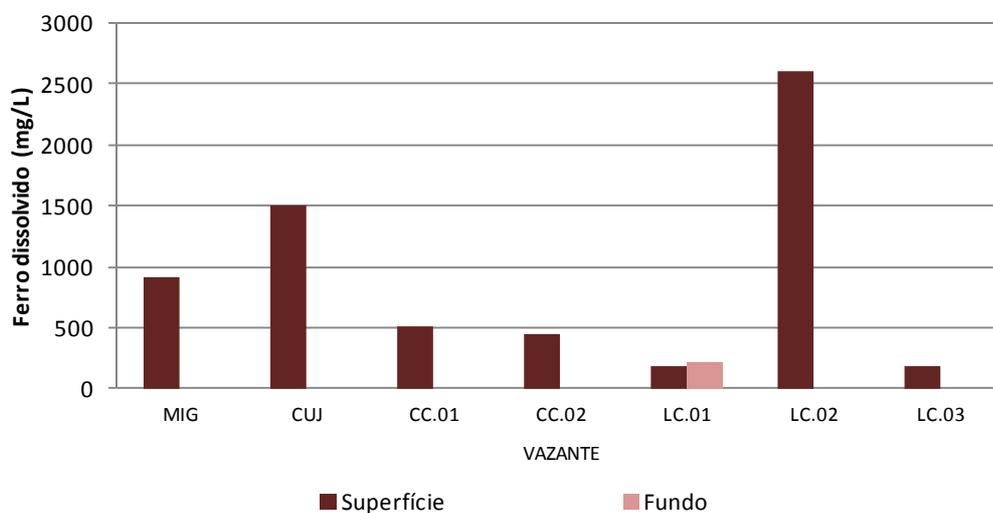


Figura 5.1-157 - Concentrações de ferro dissolvido nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

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

5.1.12 - Químicas VI

5.1.12.1 - Elementos-traço

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

No rio Madeira, o alumínio (Al) apresentou média de $57,4 \pm 20,3$ µg/L (média ± DP), com as concentrações oscilando entre 26,5 µg/L (JUS.03) a 97,1 µg/L (MON.01 superfície). As concentrações de bário (Ba) variaram de 60,1 µg/L (JUS.02 a JUS.03 superfície) a 70,7 µg/L (JUS.01 superfície), com média de $65 \pm 3,7$ µg/L (média ± DP) (**Figura 5.1-158**). Todas as estações amostradas atenderam ao Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

O cobalto (Co) apresentou uma média de $0,5 \pm 0,2$ µg/L (média ± DP) (**Figura 5.1-159**). A estação JUS.02 superfície esteve abaixo do limite de detecção. As concentrações de cromo (Cr) apresentaram média de $1,9 \pm 1,4$ µg/L (média ± DP) (**Figura 5.1-160**). As estações JUS.02 superfície e JUS.03 fundo estiveram abaixo do limite de detecção. Todos os valores atenderam ao Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2, que estabelece um limite de 50 µg/L tanto para o Co, como para o Cr.

O cobre (Cu) apresentou concentrações abaixo do limite de detecção do método analítico em todas as estações, à exceção de MON.03 superfície, que apresentou uma concentração de 0,3 µg/L (**Figura 5.1-161**). O limite de 9 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2 foi atendido em todas as estações. As concentrações de níquel tiveram média de $0,9 \pm 0,4$ µg/L (média ± DP), variando entre 0,4 µg/L (JUS.01 superfície) a 1,7 µg/L (MON.01 fundo) (**Figura 5.1-162**). A estação JUS.02 superfície esteve abaixo do limite de detecção. Todos os valores de Ni atenderam ao Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2

A média dos valores de chumbo (Pb) foi de $2,1 \pm 0,5$ µg/L (média ± DP), valores que oscilaram de 1,2 µg/L (JUS.03 superfície) a 3,3 µg/L (MON.02 fundo) (**Figura 5.1-163**). A estação JUS.02 superfície esteve abaixo do limite de detecção. Todos os valores atenderam ao limite estabelecido no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

As concentrações de silício (Si) oscilaram entre 7240 µg/L (JUS.03 fundo) a 9450 µg/L (MON.01 fundo), com média de 8618 ± 786 µg/L (média ± DP) (**Figura 5.1-164**). O zinco (Zn) apresentou média de $21,5 \pm 3,0$ µg/L (média ± DP), com os valores oscilando entre 17,4 µg/L (JUS.02 superfície) a 28,2 µg/L (MON.01 fundo) (**Figura 5.1-165**). Todos os valores atenderam ao limite de 180 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

As concentrações de manganês (Mn) oscilaram entre 96 µg/L (MON.02 superfície) a 177,5 µg/L (MON.01 fundo), com média de $138,8 \pm 22,1$ µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-166). A maior parte dos valores de Mn não atenderam ao limite de 100 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2. As concentrações de estanho, cádmio e o mercúrio tiveram concentrações abaixo do limite de detecção do método analítico durante o período estudado.

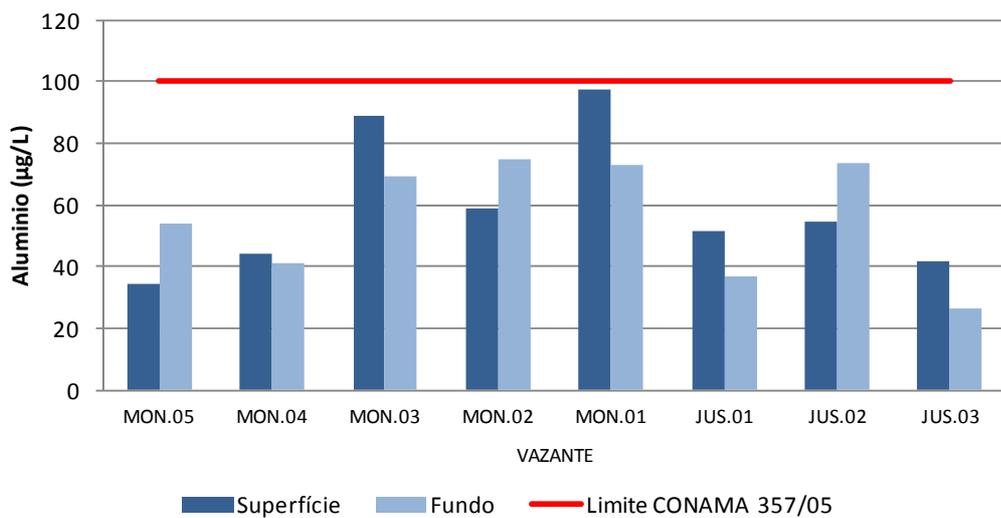


Figura 5.1-158 - Concentrações de alumínio (Al) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

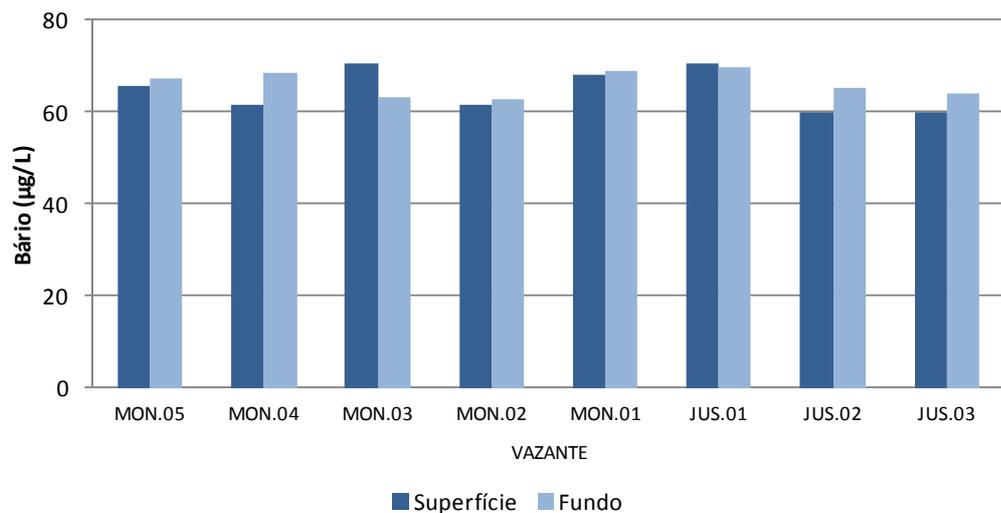


Figura 5.1-159 - Concentrações de bário (Ba) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

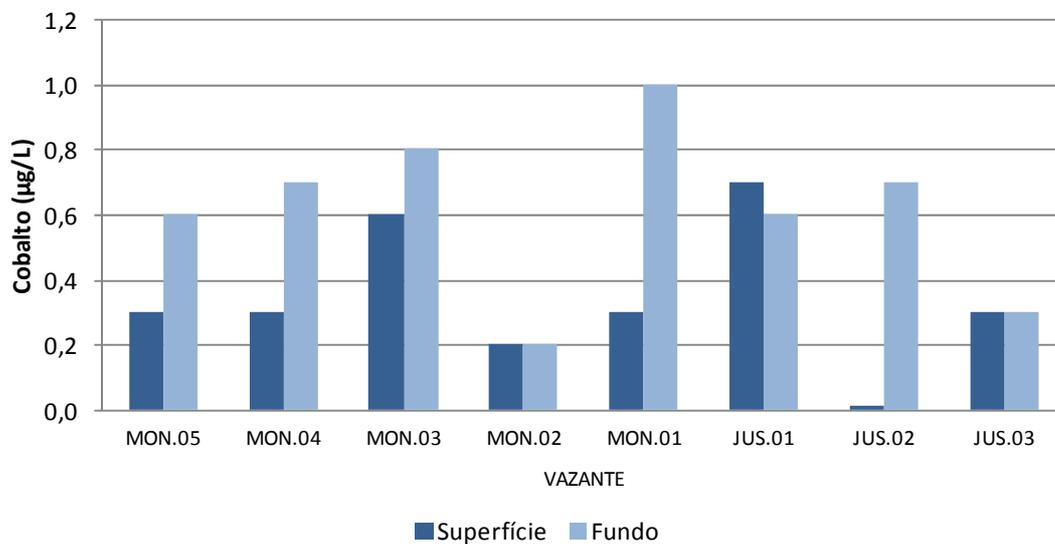


Figura 5.1-160 - Concentrações de cobalto (Co) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

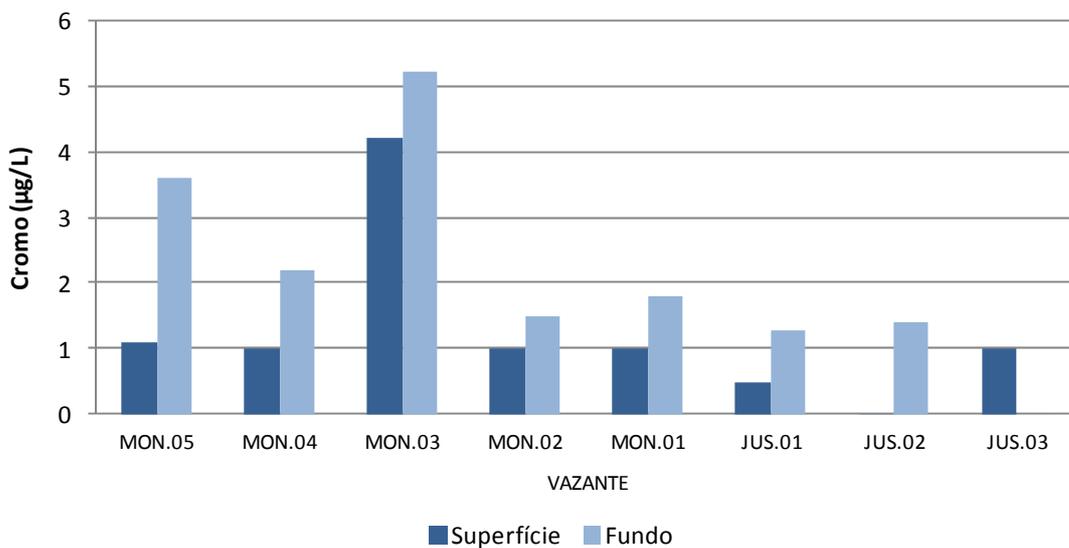


Figura 5.1-161 - Concentrações de cromo (Cr) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

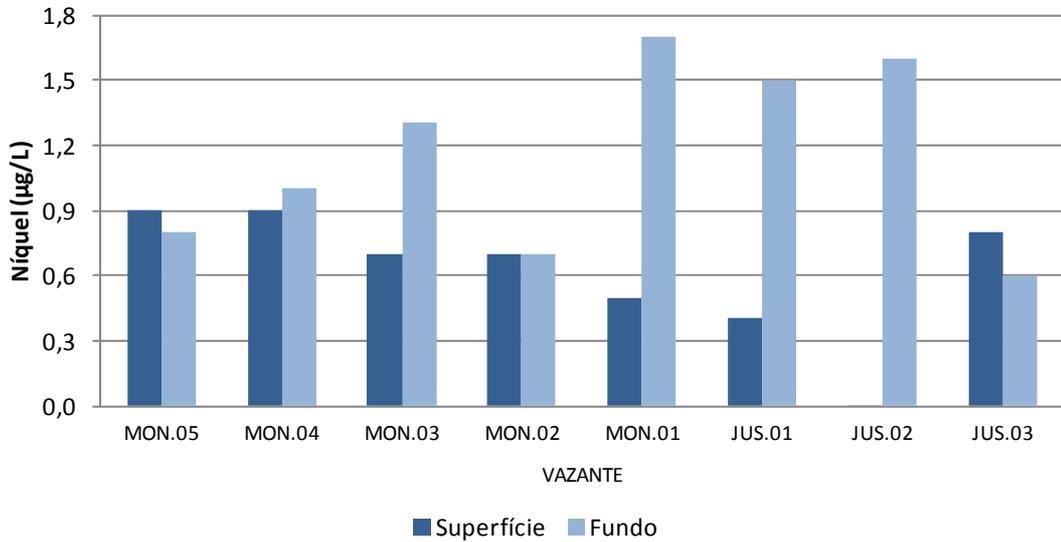


Figura 5.1-162 - Concentrações de níquel (Ni) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

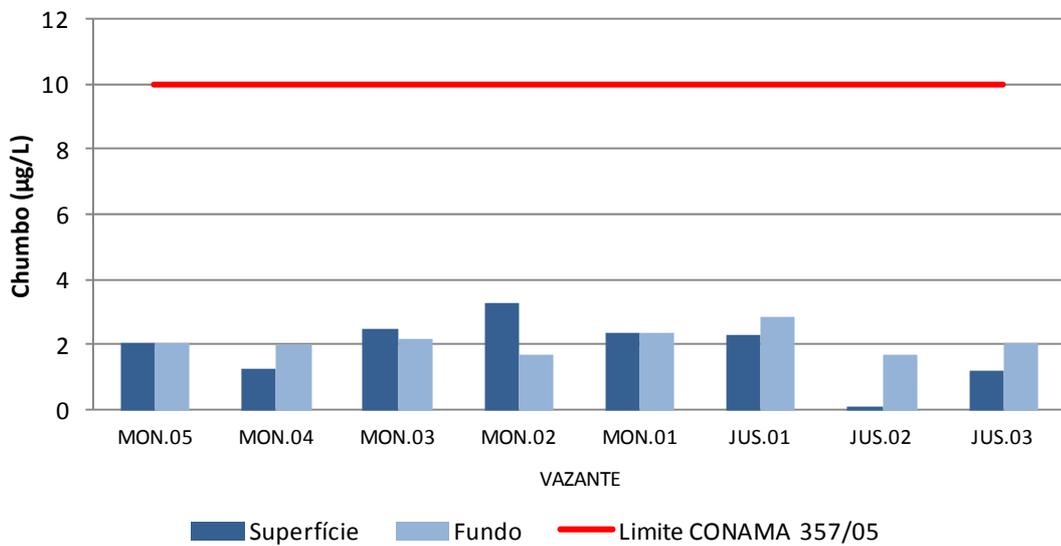


Figura 5.1-163 - Concentrações de chumbo (Pb) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

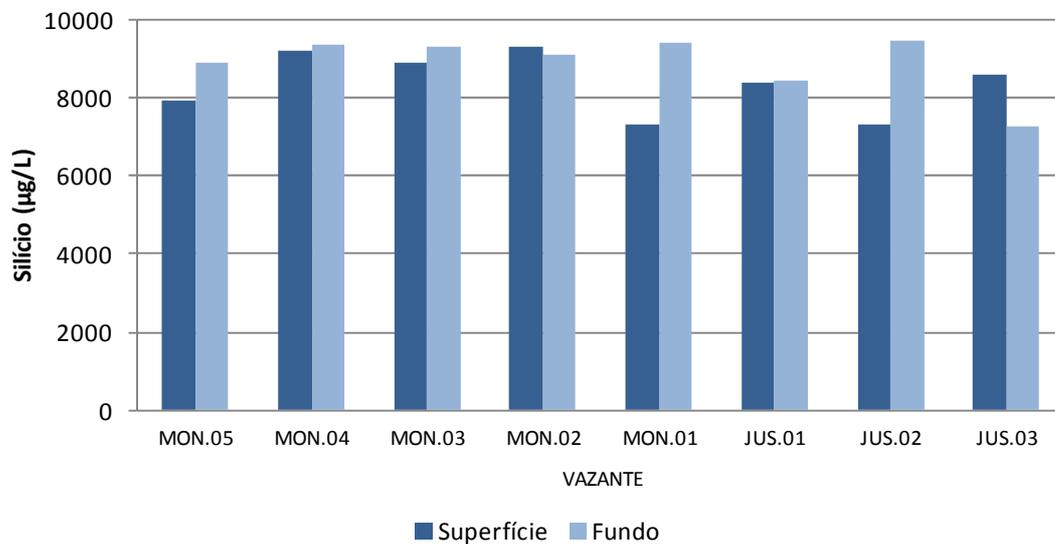


Figura 5.1-164 - Concentrações de silício (Si) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

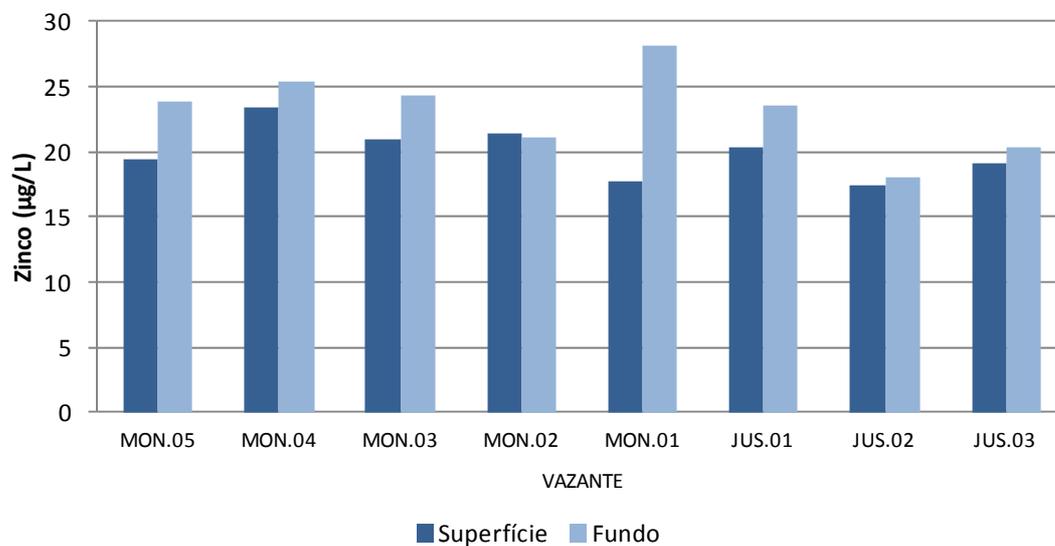


Figura 5.1-165 - Concentrações de zinco (Zn) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

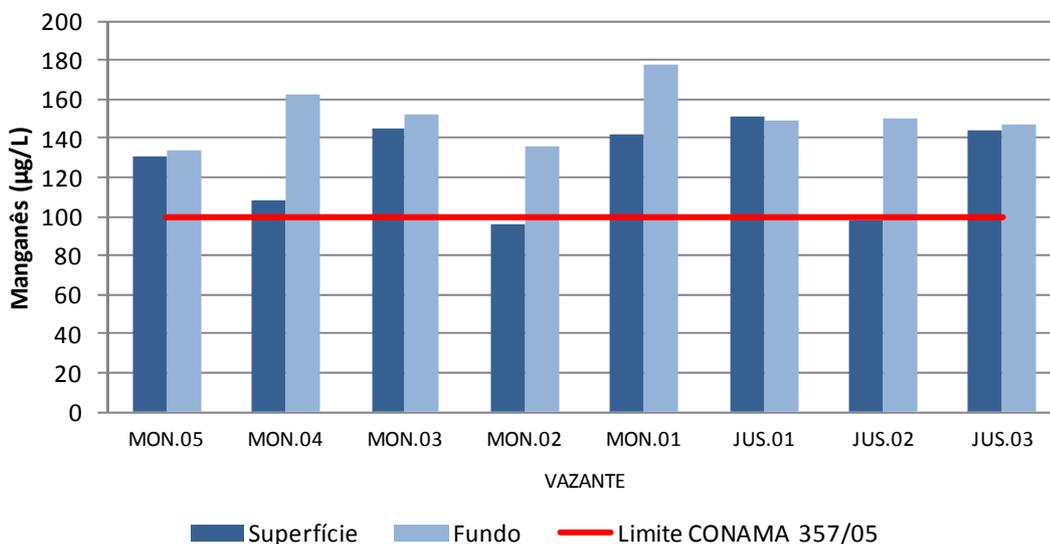


Figura 5.1-166 - Concentrações de manganês (Mn) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

As concentrações de alumínio (Al) nos rios tributários oscilaram entre 0,1 µg/L (JAM) a 93,8 µg/L (JAC.02), com média de $42 \pm 27,4$ µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-167). Já o bário (Ba) variou entre 5,3 µg/L (CRC) a 36 µg/L (JAT I e II), com média de $20,4 \pm 11,3$ µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-168). As concentrações de cromo (Cr) estiveram abaixo do limite de detecção do método analítico, com exceção das estações JAT I e II, que apresentaram os valores de 0,6 µg/L.

O cobre (Cu) também apresentou a maior parte das concentrações abaixo do limite de detecção, com exceção das estações JAT I e II, que apresentaram os valores de 1,7 µg/L. Já o níquel (Ni) e chumbo (Pb) não apresentaram concentrações detectáveis em nenhuma estações no período estudado.

As concentrações de silício (Si) oscilaram entre 2940 µg/L (JAC.01) a 9880 µg/L (JAT I e II), com média global de 5136 ± 2813 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-169). O zinco (Zn) apresentou valor médio de $20,8 \pm 20$ µg/L (média \pm DP), com as concentrações oscilando entre 7,6 µg/L (CAR) a 56 µg/L (JAM) (Figura 5.1-170). As estações JAC.01, JAC.02, CRC e BEL não apresentaram concentrações detectáveis. Todos os valores atenderam ao limite de 180 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

O manganês apresentou uma média de $39,9 \pm 35,4 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP), com os valores oscilando entre $6,5 \mu\text{g/L}$ (BEL) a $96 \mu\text{g/L}$ (JAT I e II) (Figura 5.1-171). Todos os valores de manganês atenderam ao limite de $100 \mu\text{g/L}$ previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

As concentrações de cobalto, mercúrio, cádmio e estanho foram inferiores ao limite de detecção do método analítico, à exceção da estação BEL, que apresentou concentração de $3,6 \mu\text{g/L}$ para o estanho.

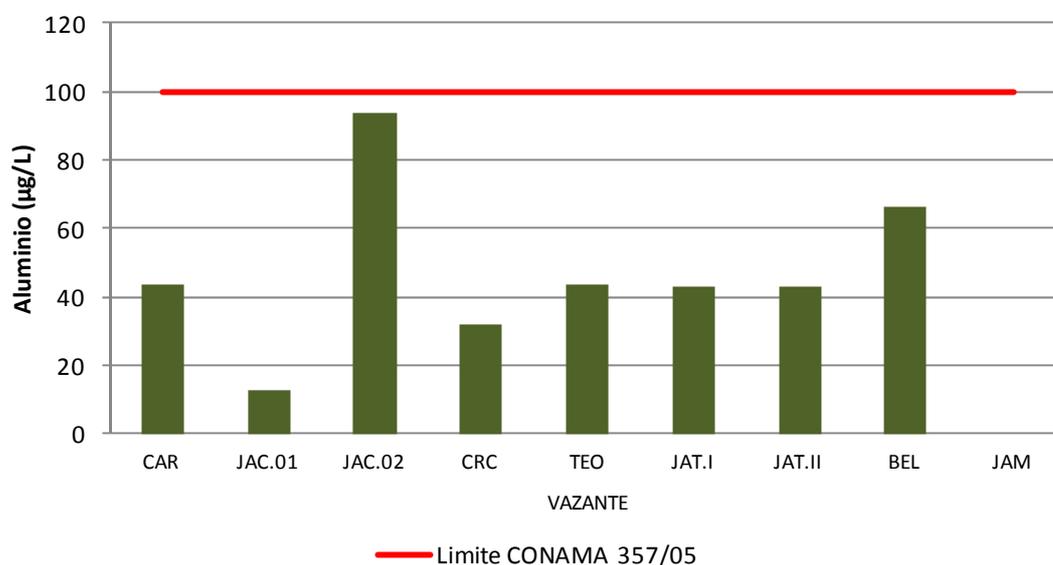


Figura 5.1-167 - Concentrações de alumínio (Al) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

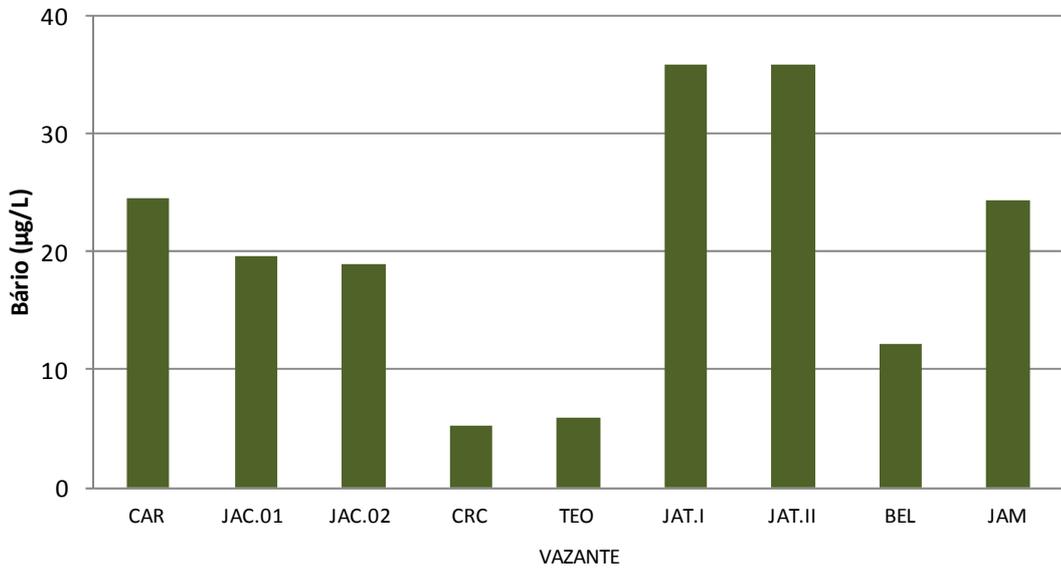


Figura 5.1-168 - Concentrações de bários (Ba) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

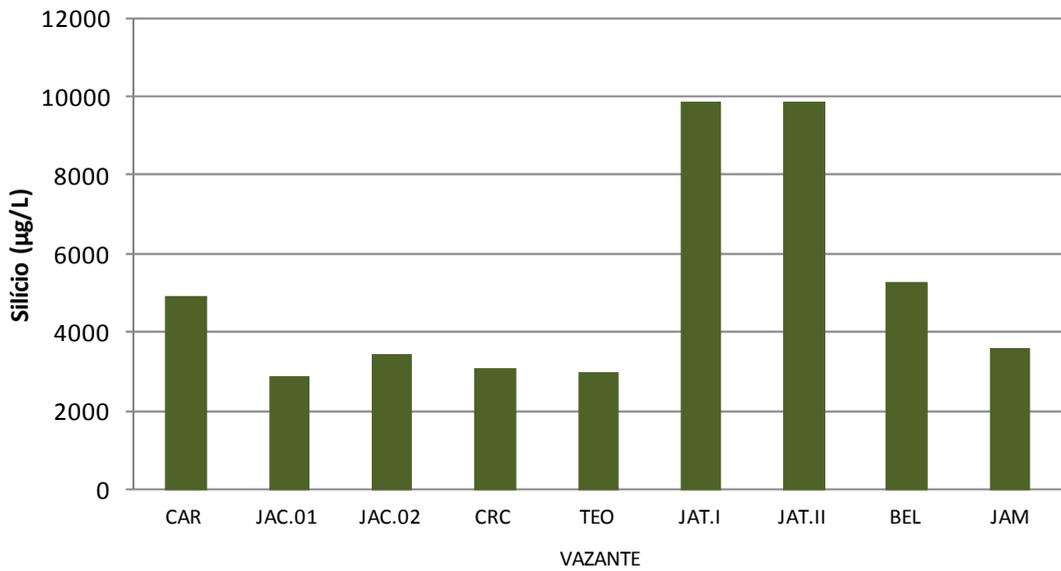


Figura 5.1-169 - Concentrações de silício (Si) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

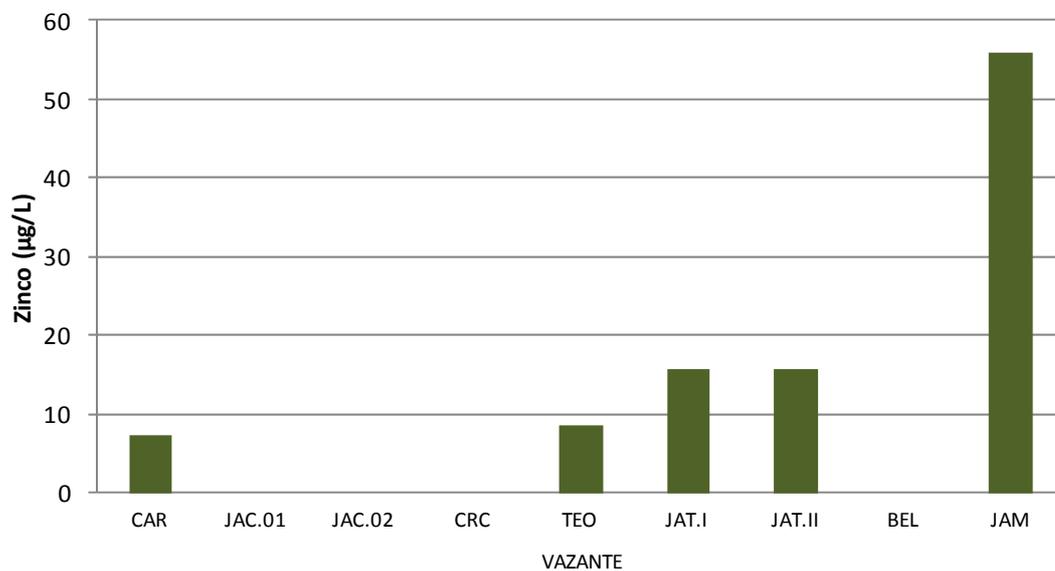


Figura 5.1-170 - Concentrações de zinco (Zn) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

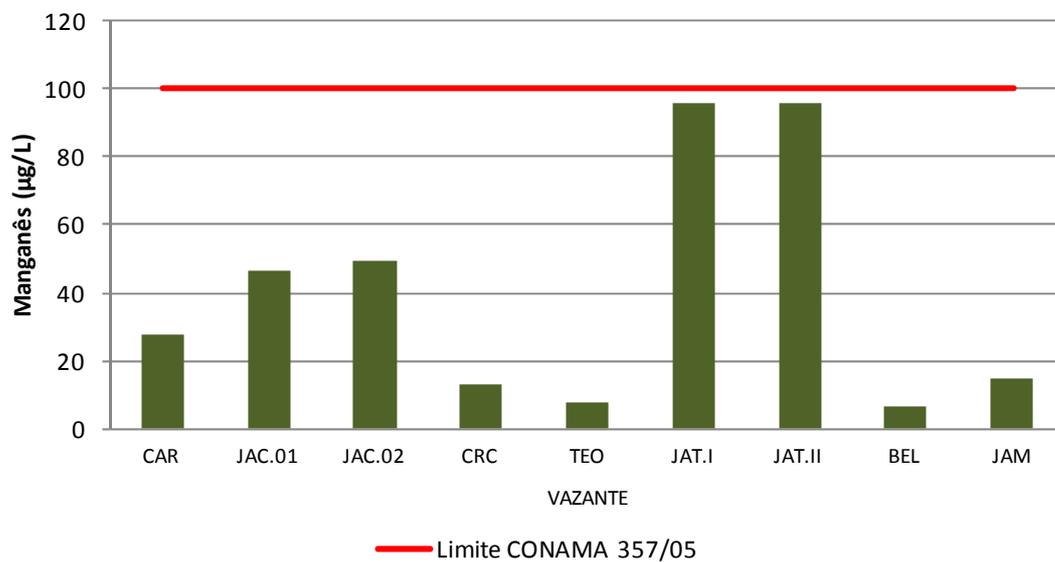


Figura 5.1-171 - Concentrações de manganês (Mn) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

As concentrações de alumínio (Al) nos lagos e canais oscilaram entre 19,6 µg/L (CC.02) a 91,2 µg/L (MIG), com média de $49,5 \pm 23,8$ µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-172). O bário (Ba) apresentou concentrações que variaram entre 19,5 µg/L (LC.01 superfície) a 89,5 µg/L (LC.02) (Figura 5.1-173).

O cobre (Cu) e o chumbo (Pb) apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção do método analítico, à exceção da estação MIG que apresentou valores detectáveis de Pb (1,6 µg/L).

O silício (Si) apresentou média global de $9566 \pm 3909,7$ µg/L (média \pm DP), com os valores oscilando entre 2823 µg/L (CUJ) a 16700 µg/L (LC.02) (Figura 5.1-174). O Zinco (Zn) apresentou concentrações que oscilaram entre <0,1 µg/L (CUJ, LC.01 superfície e fundo) a 48,4 µg/L (LC.02), com média de $28,3 \pm 15,6$ µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-175). Todos os valores de zinco atenderam ao limite de 180 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

O manganês (Mn) apresentou concentrações que oscilaram entre 10,9 µg/L (LC.01 superfície) a 291 µg/L (LC.02), com média de $97,5 \pm 108,0$ µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-176). As estações CUJ e LC.02 não atenderam ao limite de 180 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

As concentrações de cádmio, cromo, e níquel não foram detectáveis em nenhum período amostrado, com exceção da estação LC.02 que apresentou valores detectáveis. As concentrações de cobalto, estanho e mercúrio foram inferiores ao limite de detecção do método no período estudado. Os lagos e canais atenderam na maior parte do período aos limites impostos pelo Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

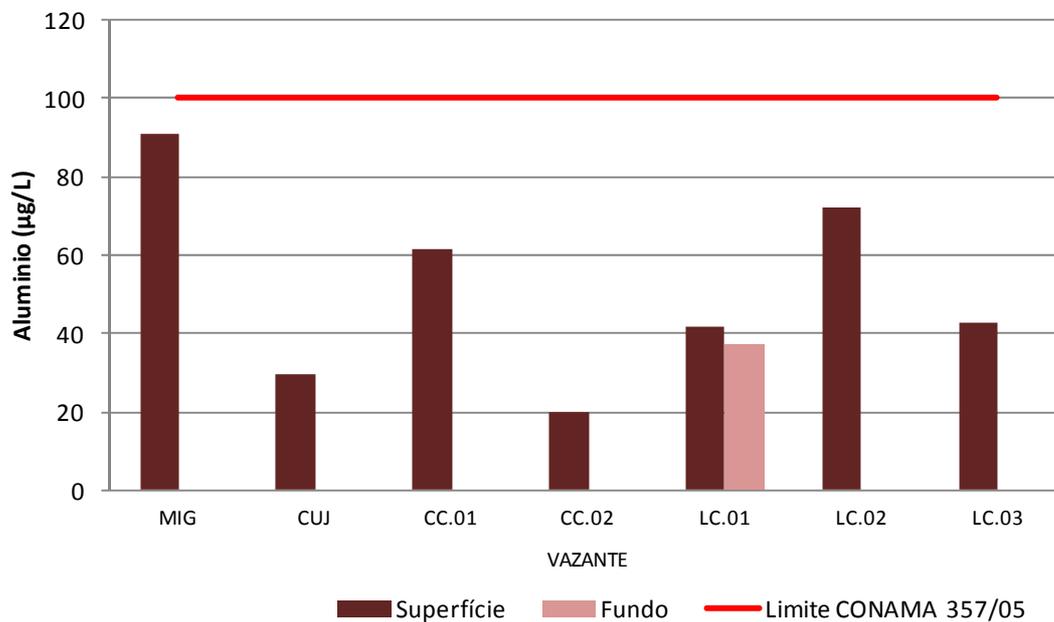


Figura 5.1-172 - Concentrações de alumínio (Al) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

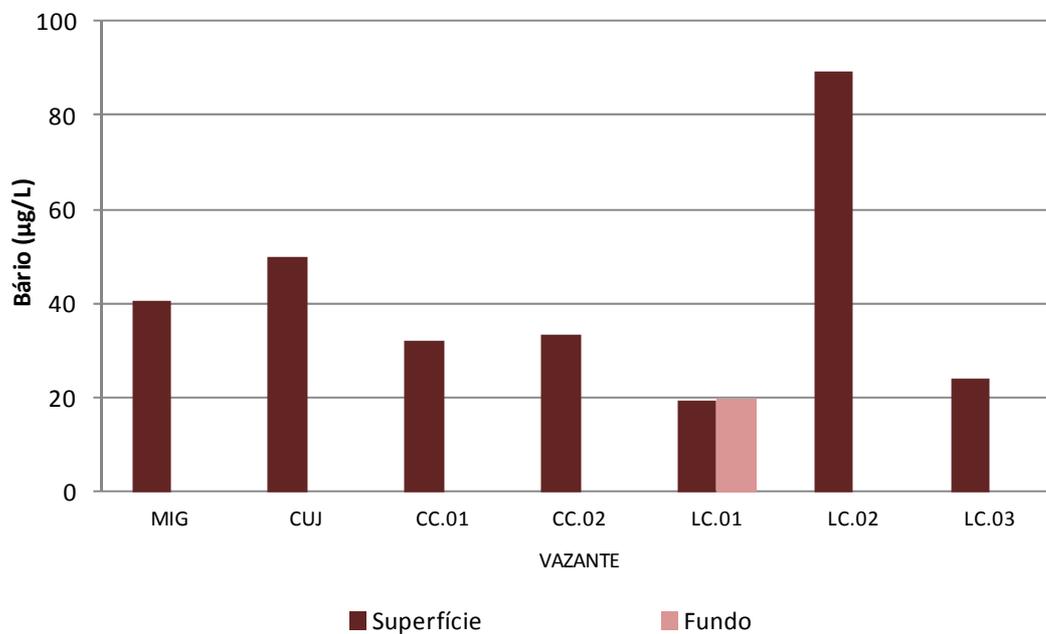


Figura 5.1-173 - Concentrações de bário (Ba) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

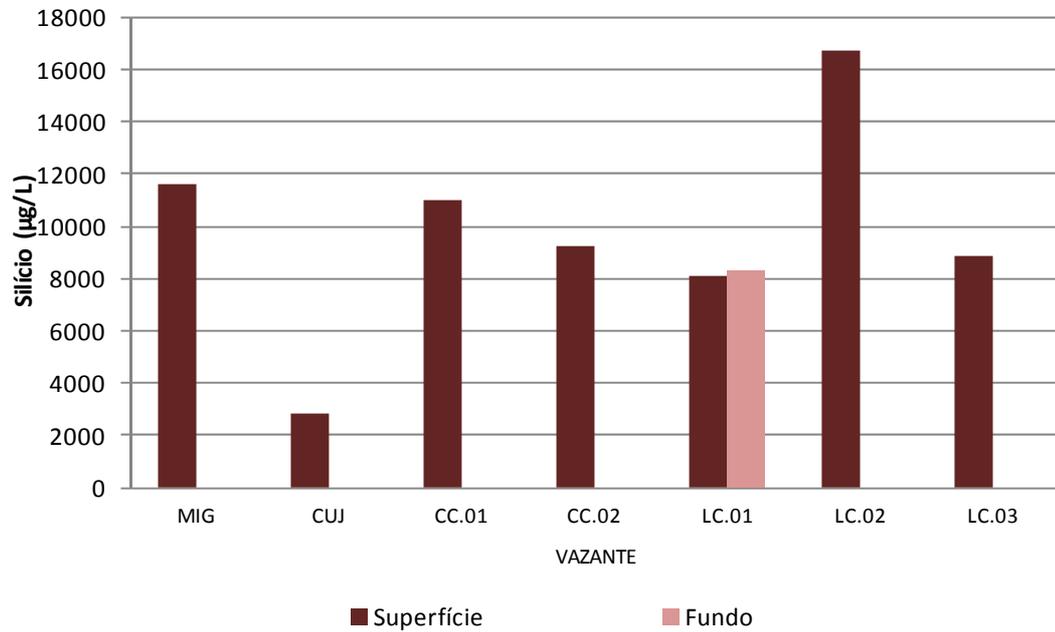


Figura 5.1-174 - Concentrações de silício (Si) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

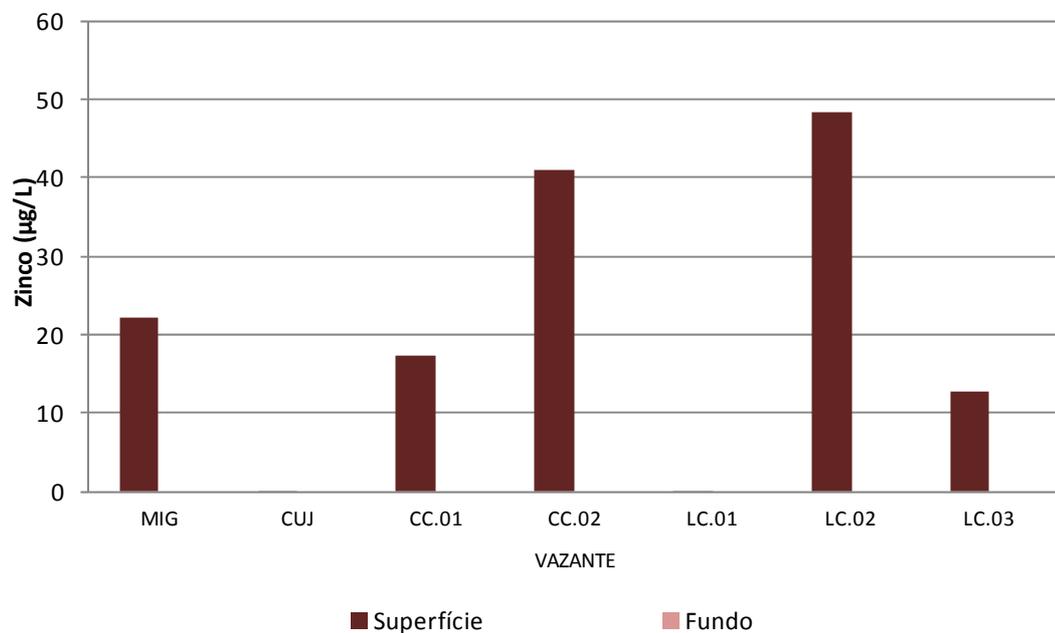


Figura 5.1-175 - Concentrações de zinco (Zn) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

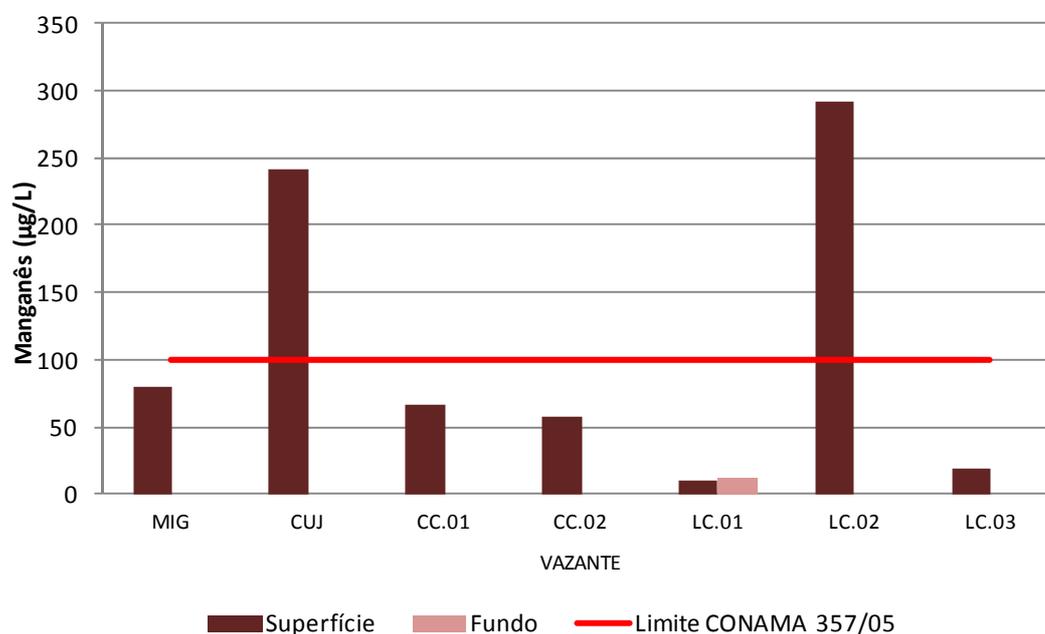


Figura 5.1-176 - Concentrações de manganês (Mn) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

5.1.13 - Biológicas

5.1.13.1 - Coliformes totais e Escherichia coli

Os coliformes totais no rio Madeira apresentaram média de 827 ± 658 NMP/100 ml (média \pm DP). Os valores oscilaram entre 397 NMP/100 ml (JUS.02 superfície) a >2419 NMP/100 ml (JUS.03 superfície) (Figura 5.1-177). Em relação à *E. coli*, a média foi de 24 ± 16 NMP/100 ml (média \pm DP), variando de 13,4 NMP/100 ml (MON.03 superfície) a 62 NMP/100 ml (JUS.03 superfície) (Figura 5.1-178).

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

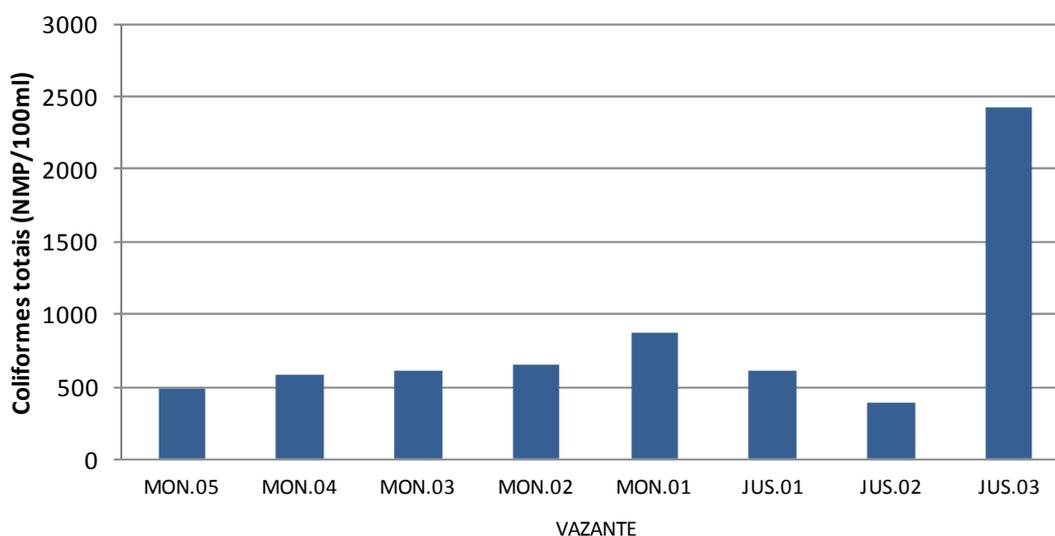


Figura 5.1-177 - Coliformes totais no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

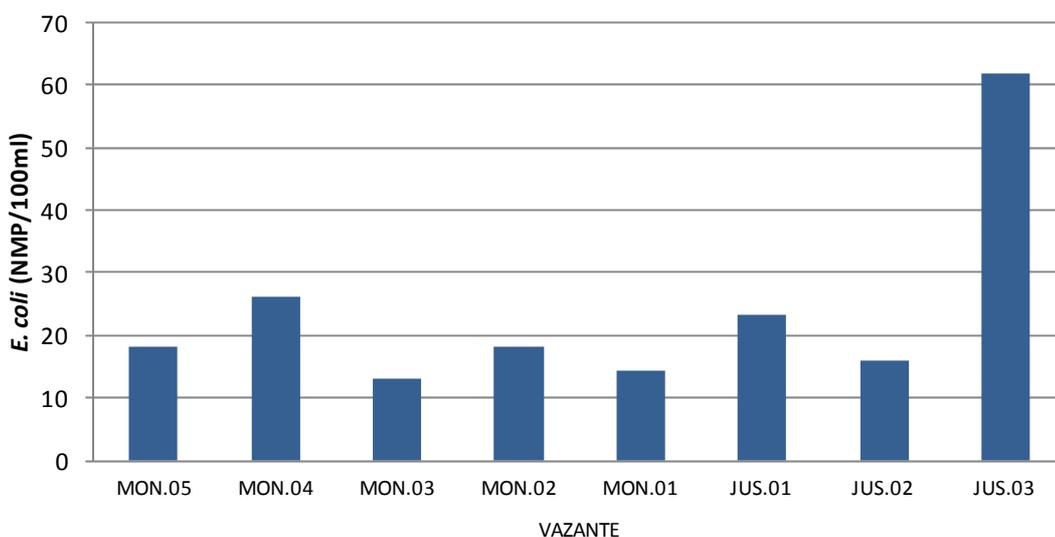


Figura 5.1-178 - *Escherichia coli* no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

Nos rios tributários, os coliformes totais apresentaram média de 2076 ± 485 NMP/100 ml (média \pm DP). Os valores oscilaram entre 1732 NMP/100 ml (JAM) a >2419 NMP/100 ml (CAR) (Figura 5.1-179). Os rios tributários apresentaram índices de coliformes totais maiores do que o rio Madeira e os lagos e canais. Como esses rios são geralmente estreitos e recebem elevado aporte de material orgânico de origem terrestre, é possível que haja maior desenvolvimento de

bactérias de vida livre, elevando o índice de coliformes. O índice médio de *E. coli* nos rios tributários foi de $186 \pm 223,4$ NMP/100 ml (média \pm DP), variando entre 28,8 NMP/100 ml (CRC) a 613,1 NMP/100 ml (CAR) (Figura 5.1-180). Em relação à legislação ambiental, os índices de *E. coli* nos rios tributários atenderam ao limite de 1000 NMP/100 ml ao Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.



Figura 5.1-179 - Coliformes totais nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

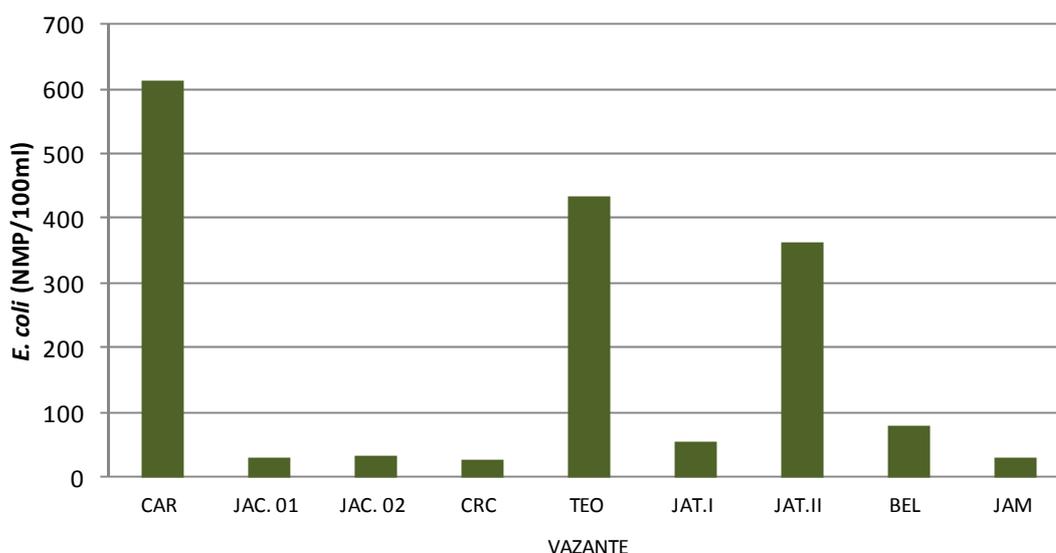


Figura 5.1-180 - *Escherichia coli* nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

Nos lagos e canais, o índice médio de coliformes totais foi de 767 ± 683 NMP/100 ml (média \pm DP). Os valores mínimos e máximos foram de 119,6 NMP/100 ml (LC.02) e $>2419,6$ NMP/100 ml (LC.03), respectivamente. (Figura 5.1-181). Em relação ao índice de *E. coli*, os valores oscilaram entre 0 NMP/100 ml (MIG) a 123,6 NMP/100 ml (CC.01) (Figura 5.1-182). A média desse grupo de coliformes foi de $57,9 \pm 44$ NMP/100 ml (média \pm DP). Todas as estações dos lagos e canais apresentaram valores inferiores ao limite de 1000 NMP/100 ml ao Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

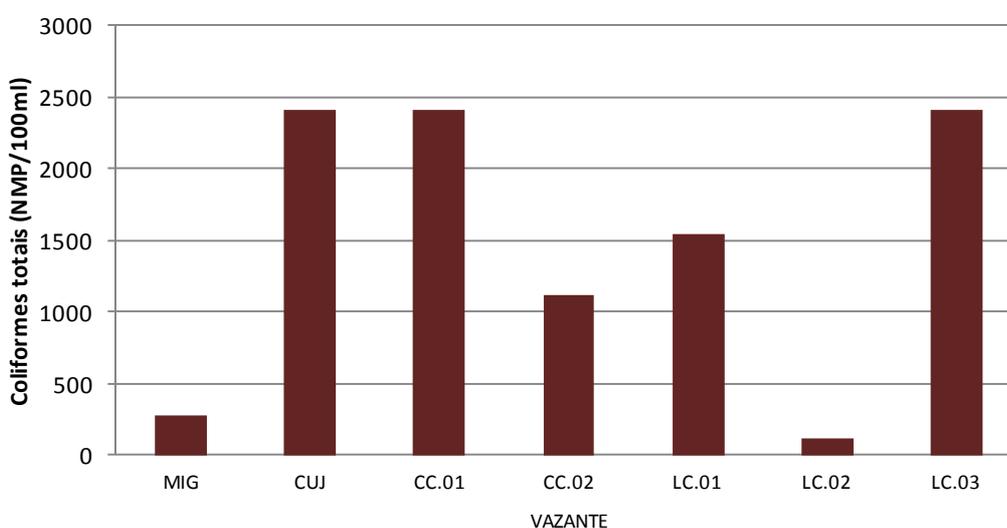


Figura 5.1-181 - Coliformes totais nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

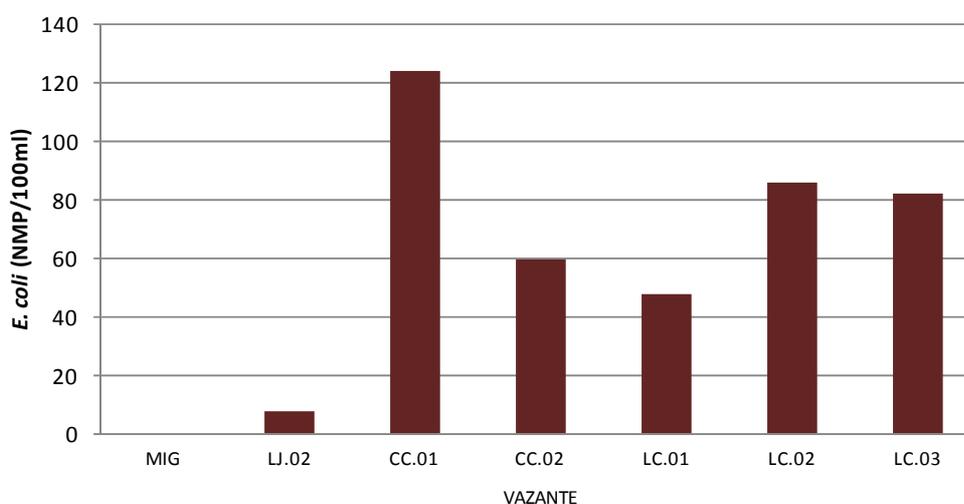


Figura 5.1-182 - *Escherichia coli* nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

5.1.13.2 - Clorofila *a* e pigmentos totais

No rio Madeira, a clorofila *a* apresentou uma média de $5,2 \pm 1,7 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP), variando entre $1,9 \mu\text{g/L}$ (MON.01 fundo) a $8,0 \mu\text{g/L}$ (JUS.02 superfície) (Figura 5.1-183). Os pigmentos totais apresentaram concentrações que oscilaram entre $4,1 \mu\text{g/L}$ (MON.04 fundo) a $12,4 \mu\text{g/L}$ (MON.02 superfície), com média de $9,3 \pm 2 \mu\text{g/L}$ (média \pm DP) (Figura 5.1-184). Todas as estações amostradas no rio Madeira atenderam ao limite de $30 \mu\text{g/L}$ de clorofila *a* previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

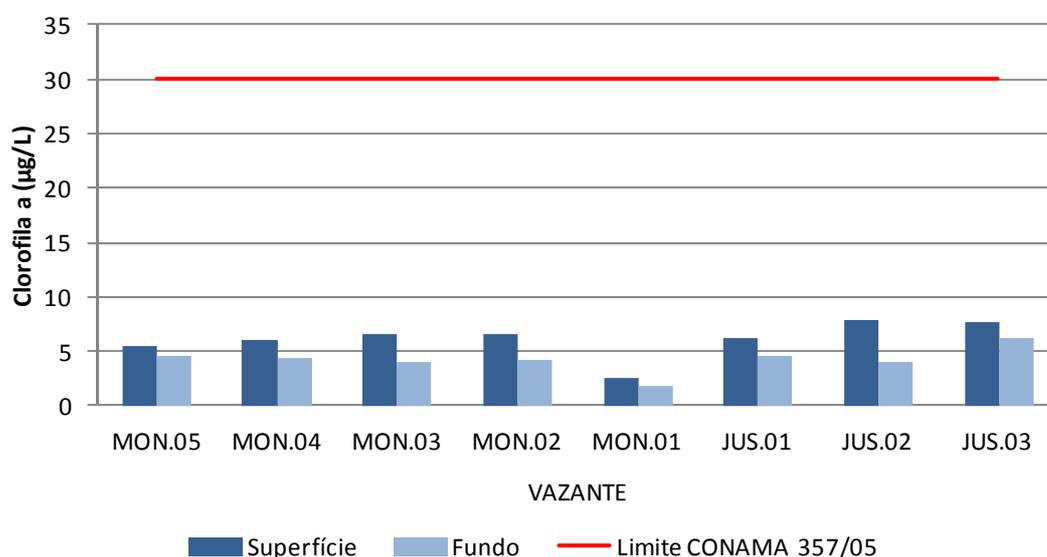


Figura 5.1-183 - Concentrações de clorofila *a* no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

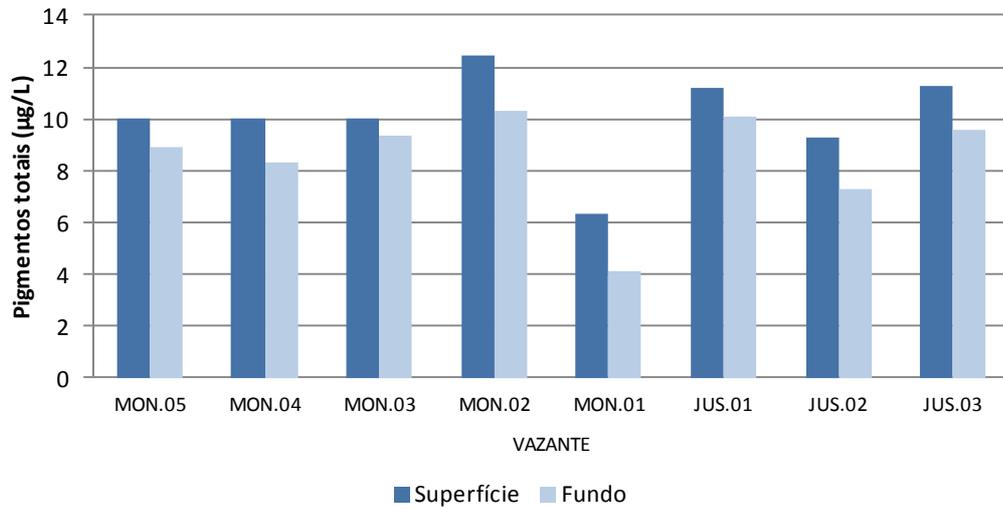


Figura 5.1-184 - Concentrações de pigmentos totais no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

Nos rios tributários, a clorofila *a* apresentou concentrações que oscilaram entre 2,5 µg/L (JAT I) a 22 µg/L (JAM) (Figura 5.1-185), com média de $8,7 \pm 5,8$ µg/L (média \pm DP). A variação espacial dos pigmentos totais foi elevada. As concentrações variaram entre 4,1 µg/L (JAT I) a 28,9 µg/L (JAM), com média de $14 \pm 7,6$ µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-186). Todas as estações amostradas nos tributários atenderam ao limite de 30 µg/L de clorofila *a* previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água de classe 2.

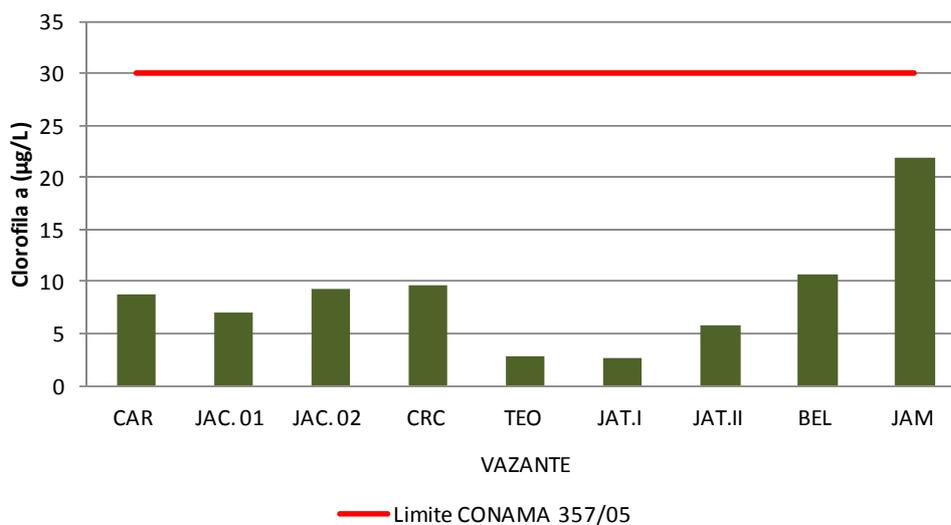


Figura 5.1-185 - Concentrações de clorofila *a* nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

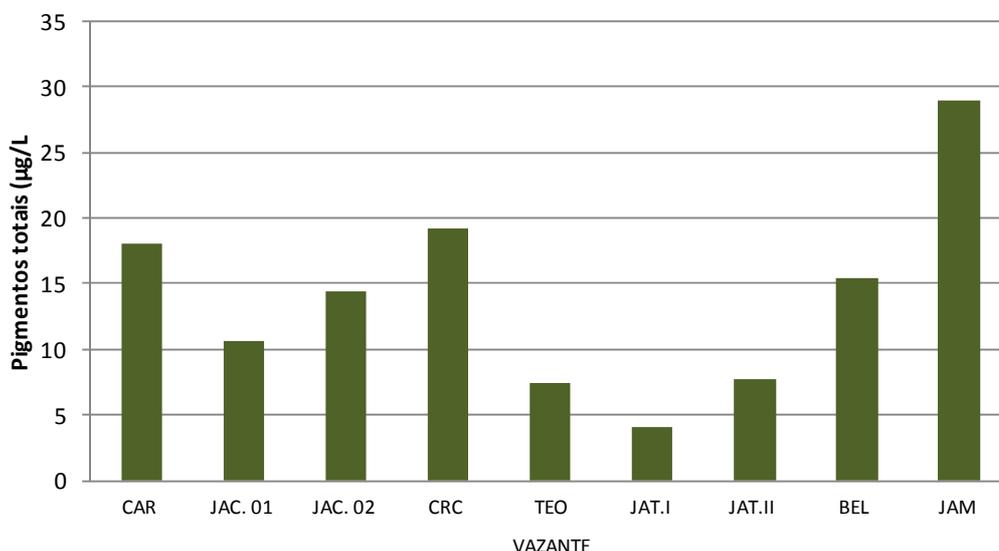


Figura 5.1-186 - Concentrações de pigmentos totais nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

Nos lagos e canais, a clorofila *a* apresentou uma média de $27,4 \pm 15,3$ µg/L (média \pm DP) e as concentrações oscilaram entre 12,9 µg/L (CUJ) a 59,1 µg/L (CC.02) (Figura 5.1-187). Já os pigmentos totais apresentaram valores que variaram de 22,3 µg/L (MIG) a 81,8 µg/L (CC.02), com média de 45 ± 21 µg/L (média \pm DP) (Figura 5.1-188). As altas concentrações em CC.02 e LC.01 são naturais e não tem nenhuma relação com as obras da UHE Santo Antônio, pois essas estações situam-se em uma região bastante preservada e distante da região do canteiro de obras.

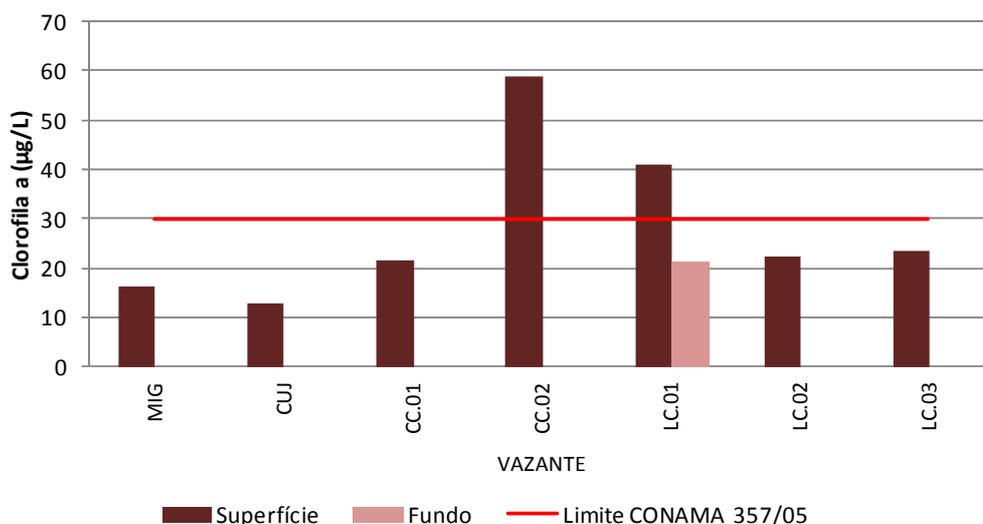


Figura 5.1-187 - Concentrações de clorofila *a* nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

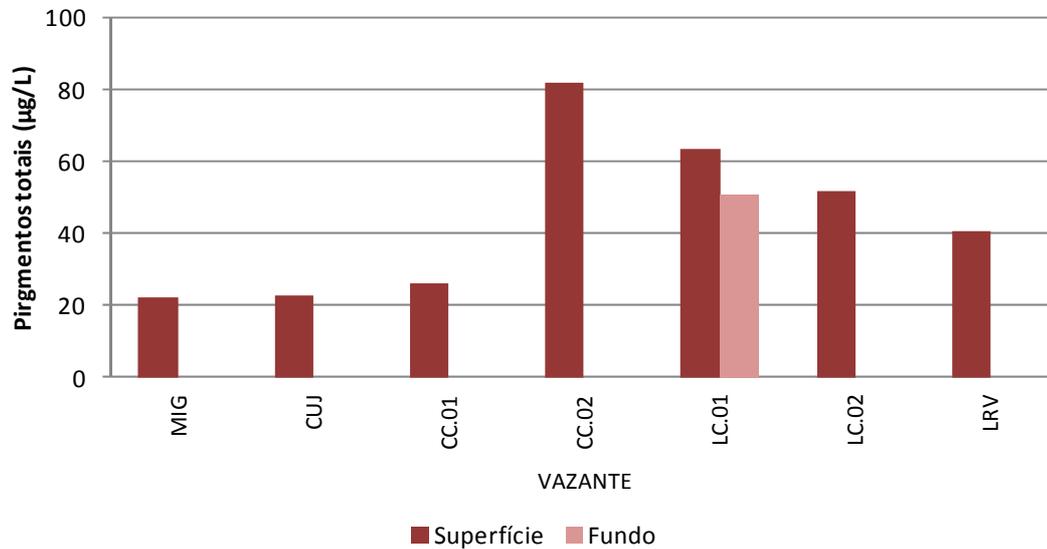


Figura 5.1-188 - Concentrações de pigmentos totais nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

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

Os resultados de fracionamento isotópico das amostras coletadas no mês de agosto de 2011, período de vazante, serão apresentadas no próximo relatório do Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio. 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.

5.1.14 - Índices

5.1.14.1 - Índice de estado trófico (IET)

O IET do rio Madeira foi alto, não tendo sido supereutrófico somente nas estações MON.05 (eutrófico) e MON.02 (mesotrófico), que apresentaram concentrações de clorofila *a* mais baixas. O rio Madeira possui altas concentrações de fósforo, mas em geral não é observada eutrofia nesse ambiente, embora o IET aponte para um estado de eutrofia, uma vez que as concentrações de clorofila *a* são baixas devido à limitação da produção fitoplanctônica pela luz. Vale lembrar que 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, no período de vazante (agosto/2011).

IET	Estado Trófico	Estação
63	EUTRÓFICO	MON.05
63	SUPEREUTRÓFICO	MON.04
64	SUPEREUTRÓFICO	MON.03
64	SUPEREUTRÓFICO	MON.02
59	MESOTRÓFICO	MON.01
64	SUPEREUTRÓFICO	JUS.01
64	SUPEREUTRÓFICO	JUS.02
64	SUPEREUTRÓFICO	JUS.03

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

Quadro 5.1-3 - Índice de Estado Trófico (IET) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

IET	Estado Trófico	Estação
62	EUTRÓFICO	CAR
59	MESOTRÓFICO	JAC.01
61	EUTRÓFICO	JAC.02
61	EUTRÓFICO	CRC
55	MESOTRÓFICO	TEO
59	MESOTRÓFICO	JAT I
63	SUPEREUTRÓFICO	JAT II
63	EUTRÓFICO	BEL
63	SUPEREUTRÓFICO	JAM

O estado trófico predominante nos lagos e canais foi o mesotrófico. Somente a estação CC.02 apresentou estado trófico diferente (hipereutrófico), em função das altas concentrações de fósforo total e de clorofila *a* (Quadro 5.1-4), as quais são naturais.

Quadro 5.1-4 - Índice de Estado Trófico (IET) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

IET	Estado Trófico	Estação
55	MESOTRÓFICO	MIG
56	MESOTRÓFICO	CUJ
57	MESOTRÓFICO	CC.01
67	HIPEREUTRÓFICO	CC.02
57	MESOTRÓFICO	LC.01
57	MESOTRÓFICO	LC.02
55	MESOTRÓFICO	LC.03

5.1.14.2 - Índice de qualidade da água (IQA)

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

Quadro 5.1-5 - Índice de Qualidade da Água (IQA) no rio Madeira, no período de vazante (agosto/2011).

IQA	Nível	Estação
68	BOA	MON.05
67	BOA	MON.04
69	BOA	MON.03
68	BOA	MON.02
68	BOA	MON.01
67	BOA	JUS.01
68	BOA	JUS.02
65	BOA	JUS.03

Nos rios tributários, a qualidade da água foi BOA na maior parte das estações, tendo sido ÓTIMA nas estações JAC.01, JAC.02 e JAM (Quadro 5.1-6). A qualidade da água nessas três estações foi superior à encontrada no rio Madeira. Os baixos valores de turbidez nos tributários favoreceram essa situação.

Quadro 5.1-6 - Índice de Qualidade de Água (IQA) nos tributários, no período de vazante (agosto/2011).

IQA	Nível	Estação
67	BOA	CAR
80	ÓTIMA	JAC.01
79	ÓTIMA	JAC.02
78	BOA	CRC
62	BOA	TEO
69	BOA	JAT I
57	BOA	JAT II
70	BOA	BEL
84	ÓTIMA	JAM

A qualidade da água dos lagos e canais situou-se entre ACEITÁVEL (LC.02) a 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. Em CUJ, apesar do IQA ótimo, verifica-se uma alta densidade de cianobactérias (499,209 céls/mL), que podem tornar essa água imprópria para consumo. Entretanto, na campanha de vazante de 2011 não foram observadas concentrações de cianotoxinas (microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas) acima do limite de detecção do método analítico.

Quadro 5.1-7 - Índice de Qualidade da Água (IQA) nos lagos e canais, no período de vazante (agosto/2011).

IQA	Nível	Estação
69	BOA	MIG
81	ÓTIMA	CUJ
60	BOA	CC.01
56	BOA	CC.02
78	BOA	LC.01
51	ACEITÁVEL	LC.02
73	BOA	LC.03

5.1.14.3 - Ordenação espacial das variáveis limnológicas

A fim de caracterizar e identificar as estações de coleta de acordo com as variáveis limnológicas, foi utilizada uma análise de componentes principais (ACP). As estações dos três compartimentos (rio Madeira, tributários e lagos e canais) foram analisadas conjuntamente (**Figura 5.1-189**).

Os dois primeiros eixos da ACP explicaram 59,1% da variabilidade dos dados. As estações do rio Madeira foram as que mais se assemelharam entre si, uma vez que trata-se de um único rio. Dentre as estações do rio Madeira, a estação JUS.03 foi a que mais se diferenciou. Variáveis como fósforo total, turbidez, oxigênio dissolvido e temperatura da água estiveram positivamente relacionadas com as estações do rio Madeira, que ficaram agrupadas no quarto quadrante da ACP.

As estações dos rios tributários ficaram agrupadas no primeiro e no segundo quadrante. A estação que apresentou característica mais distinta nos tributários foi JAT II. BEL, JAC.01, JAC.02 e CRC apresentaram características semelhantes e estiveram positivamente relacionadas com DBO, zona eufótica e clorofila *a*.

Nos lagos e canais, houve maior variabilidade, de modo que houve estações posicionadas em todos os quatro quadrantes da ACP. A LC.02 agrupou-se próxima às estações do rio Madeira, mas essa estação está bastante distante do rio Madeira e essa semelhança não se deve à inundação por parte do rio Madeira. Pode ser notado que mesmo as estações do lago Cuniã apresentaram grande variabilidade. Lagos são ambientes mais complexos que rios e a variabilidade espacial é comumente maior nesses ambientes.

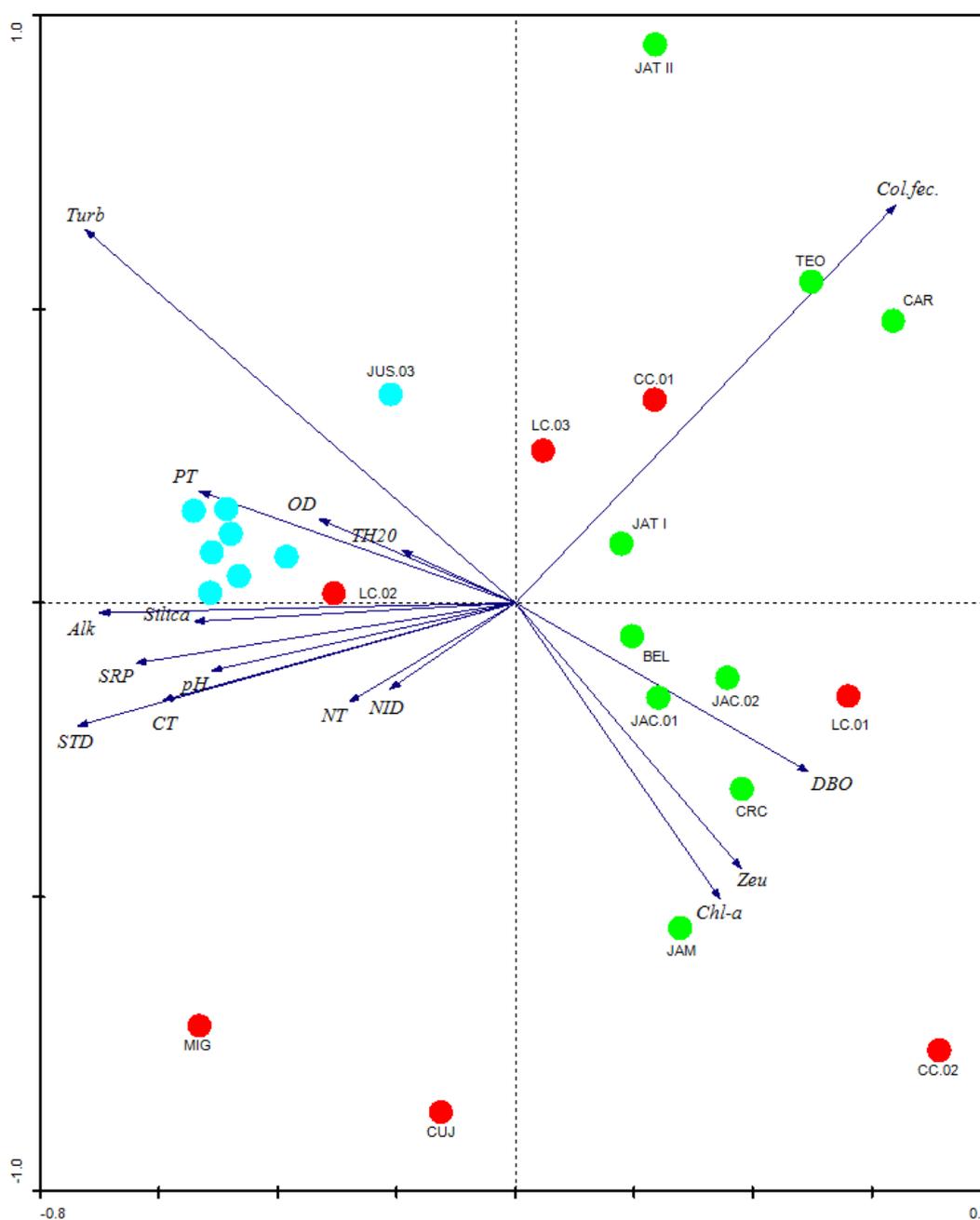


Figura 5.1-189 - Posição das estações de coleta do rio Madeira (bolas azuis), dos tributários (bolas verdes) e dos lagos e canais (bolas vermelhas) ordenadas de acordo com os dois primeiros eixos da ACP durante a vazante de 2011. A explicabilidade dos dois primeiros eixos foi de 59,1% (Eixo 1: 39,5%; Eixo 2: 19,6%). As siglas significam: TH20: temperatura da água; Zeu: zona eufótica; Turb: turbidez; STD: sólidos totais dissolvidos; pH: potencial hidrogeniônico; OD: oxigênio dissolvido; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; CT: carbono total; Alk: alcalinidade total; NID: nitrogênio inorgânico dissolvido; NT: nitrogênio total; SRP: ortofosfato; PT: fósforo total; Silica: silicatos reativos; Chl-a: clorofila *a*; Col.fec.: coliformes fecais.