

## ÍNDICE

<b>5 - Resultados .....</b>	<b>1/294</b>
5.1 - Abióticos .....	1/294
5.1.1 - Coluna d'água.....	3/294
5.1.1.1 - Físicas A e B.....	3/294
5.1.1.1.1 - Temperatura do ar e da água .....	3/294
5.1.1.1.2 - Profundidade, transparência, coeficiente de atenuação vertical da luz, zona eufótica, cor e velocidade de corrente.....	10/294
5.1.1.2 - Físicas C .....	29/294
5.1.1.2.1 - Turbidez .....	29/294
5.1.1.2.2 - Sólidos em suspensão, Sólidos totais dissolvidos, Sólidos totais, Sólidos fixos, Sólidos voláteis.....	36/294
5.1.1.3 - Físico-químicas .....	55/294
5.1.1.3.1 - Condutividade elétrica .....	55/294
5.1.1.3.2 - Potencial hidrogeniônico (pH) e Concentração molar [H+] .....	62/294
5.1.1.4 - Químicas I-A .....	71/294
5.1.1.4.1 - Oxigênio - porcentagem de saturação e concentração.....	71/294
5.1.1.5 - Químicas I-B .....	85/294
5.1.1.5.1 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO <sub>5</sub> ) .....	85/294
5.1.1.6 - Química I-C .....	92/294
5.1.1.6.1 - Demanda química de oxigênio (DQO) e Carbono bioquimicamente oxidável (C.DBO) .....	92/294
5.1.1.7 - Química I-D .....	99/294

5.1.1.7.1 -	DBO <sub>5</sub> .100/O <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> .100/DQO, DBO <sub>5</sub> .100/DQO e O <sub>2</sub> .100/(DBO <sub>5</sub> +DQO).....	99/294
5.1.1.7.2 -	Carbono inorgânico, Carbono orgânico total, Carbono total e Carbono orgânico refratário.....	112/294
5.1.1.8 -	Química II .....	125/294
5.1.1.8.1 -	Sistema tampão (Gás carbônico livre, Gás carbônico total, Alcalinidade, Alcalinidade de bicarbonatos, Dureza e Dureza devido ao cálcio e magnésio) .....	125/294
5.1.1.9 -	Químicas III.....	149/294
5.1.1.9.1 -	Íons principais (Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) .....	149/294
5.1.1.10 -	Químicas IV .....	174/294
5.1.1.10.1 -	Conteúdo nutricional: Nitrogênio (Nitrogênio amoniacal, Nitrito, Nitrato, Nitrogênio inorgânico dissolvido, Nitrogênio orgânico dissolvido, Nitrogênio total dissolvido, Nitrogênio orgânico total e Nitrogênio particulado, Nitrogênio total).....	174/294
5.1.1.10.2 -	Conteúdo nutricional: Fósforo (Ortofosfato, Fósforo total dissolvido, Fósforo total, Fósforo orgânico dissolvido, Fósforo orgânico total e Fósforo particulado) .....	205/294
5.1.1.10.3 -	Conteúdo nutricional: Silicatos reativos .....	225/294
5.1.1.11 -	Químicas V .....	229/294
5.1.1.11.1 -	Óleos e graxas .....	229/294
5.1.1.11.2 -	Ferro.....	229/294
5.1.1.12 -	Químicas VI .....	236/294
5.1.1.12.1 -	Elementos-traço .....	236/294
5.1.1.12.2 -	Biocidas .....	267/294
5.1.1.13 -	Biológicas.....	268/294

5.1.1.13.1 -	Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i> .....	268/294
5.1.1.13.2 -	Clorofila <i>a</i> e pigmentos totais .....	274/294
5.1.1.13.3 -	Fracionamento isotópico ( $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$ ) .....	280/294
5.1.1.14 -	Índices .....	284/294
5.1.1.14.1 -	Índice de estado trófico (IET) .....	284/294
5.1.1.14.2 -	Índice de qualidade da água (IQA).....	287/294
5.1.1.15 -	Ordenação espacial das variáveis limnológicas .....	290/294



## 5 - RESULTADOS

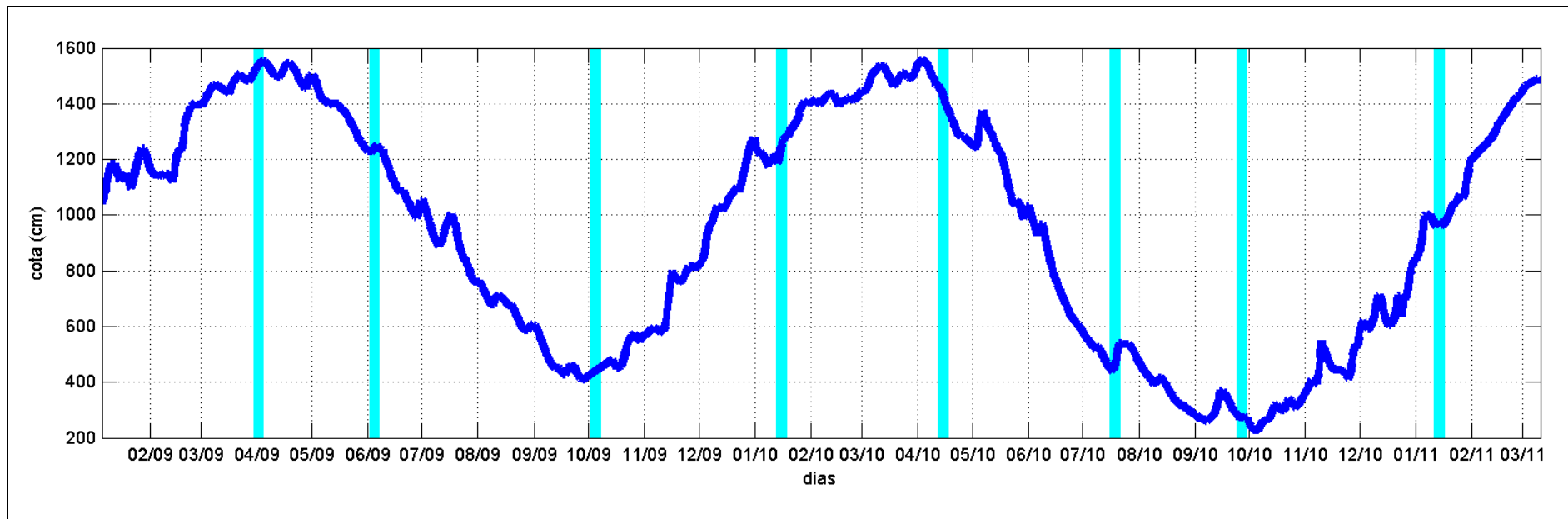
### 5.1 - ABIÓTICOS

O rio Madeira apresenta períodos hidrológicos muito bem definidos durante o ano, uma vez que são determinados por processos originadas 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. As cotas do rio Madeira de janeiro de 2009 a março de 2011 estão apresentadas na **Figura 5.1-1**, destacando os períodos em que foram realizadas as campanhas de coleta.

UHE SANTO ANTONIO NO RIO MADEIRA

2382-00-MLM-RL-0008-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 8



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

Figura 5.1-1 - Variação da cota no rio Madeira indicando as campanhas realizadas nos períodos de vazante, águas baixas, enchente e águas altas nos anos de 2009, 2010 e 2011.

## 5.1.1 - Coluna d'água

### 5.1.1.1 - Físicas A e B

#### 5.1.1.1.1 - Temperatura do ar e da água

No rio Madeira a temperatura média do ar variou entre  $28,4 \pm 3,6^{\circ}\text{C}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 e  $32,0 \pm 2,8^{\circ}\text{C}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009. Considerando todo o período amostrado, a temperatura média do ar no rio Madeira foi de  $29,93 \pm 3,41^{\circ}\text{C}$  (média  $\pm$  DP). O rio Madeira apresentou considerável uniformidade térmica na coluna d'água ao longo de todo o período estudado. A temperatura da água situou-se entre  $26$  e  $37^{\circ}\text{C}$  durante os meses amostrados. Embora a temperatura da água tenha sido maior nas águas baixas, houve pouca variação sazonal. Em regiões tropicais, as oscilações sazonais são pequenas, uma vez que as variações diurnas sobrepujam as variações anuais (**Figura 5.1-2**). O perfil térmico das estações amostradas em cada período do pulso hidrológico no rio Madeira evidencia o caráter homogêneo deste rio (**Figura 5.1-3**).

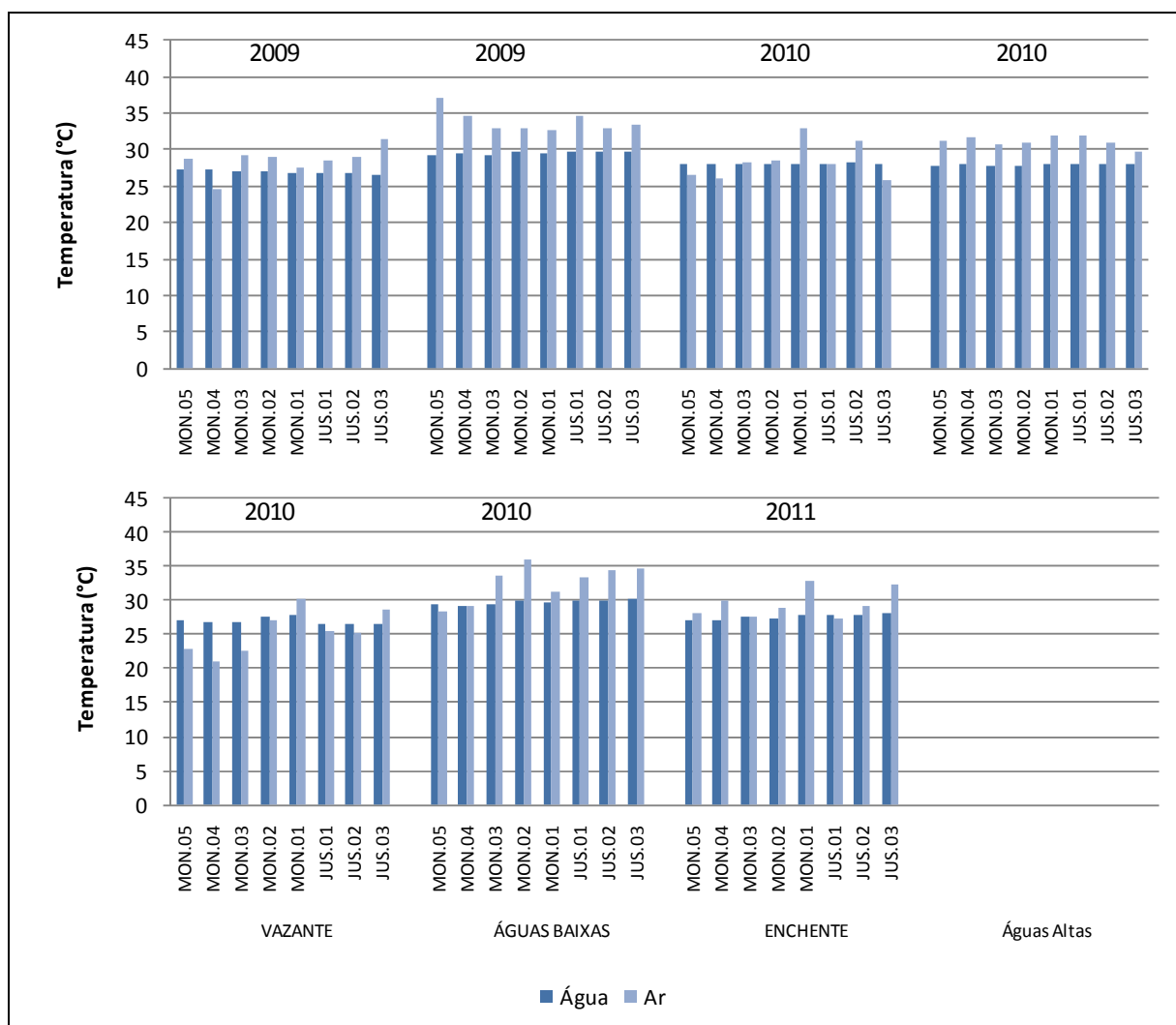


Figura 5.1-2 - Temperatura do ar em relação à temperatura da água no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



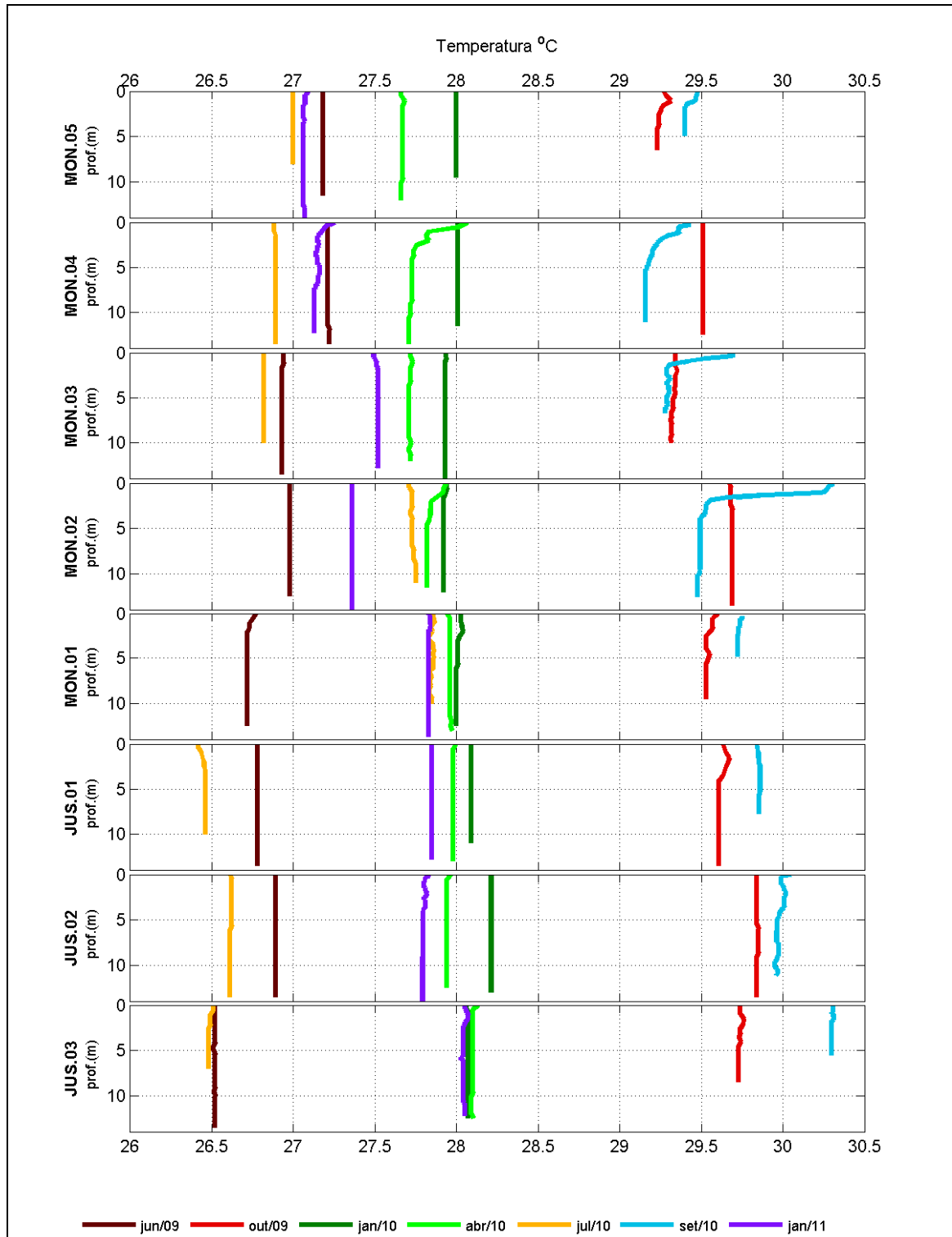


Figura 5.1-3 - Perfil de Temperatura da água no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

A temperatura média da água dos tributários foi maior nas águas baixas, o que está relacionado com as maiores temperaturas atmosféricas registradas nesse período. As temperaturas atmosféricas variaram entre 18°C na vazante, 38°C nas águas baixas. Os tributários apresentaram coluna d'água relativamente homogênea, sendo que a temperatura média superficial foi de  $26,8 \pm 2,2^\circ\text{C}$  (média  $\pm$  DP) e a temperatura média no fundo foi de  $26,8 \pm 2,3^\circ\text{C}$  (Figura 5.1-4). Os perfis térmicos indicaram que as estações CRC, JAT I, JAT II e BEL apresentaram coluna d'água estratificada. Por outro lado, as demais estações apresentaram coluna d'água homogênea (Figura 5.1-5).

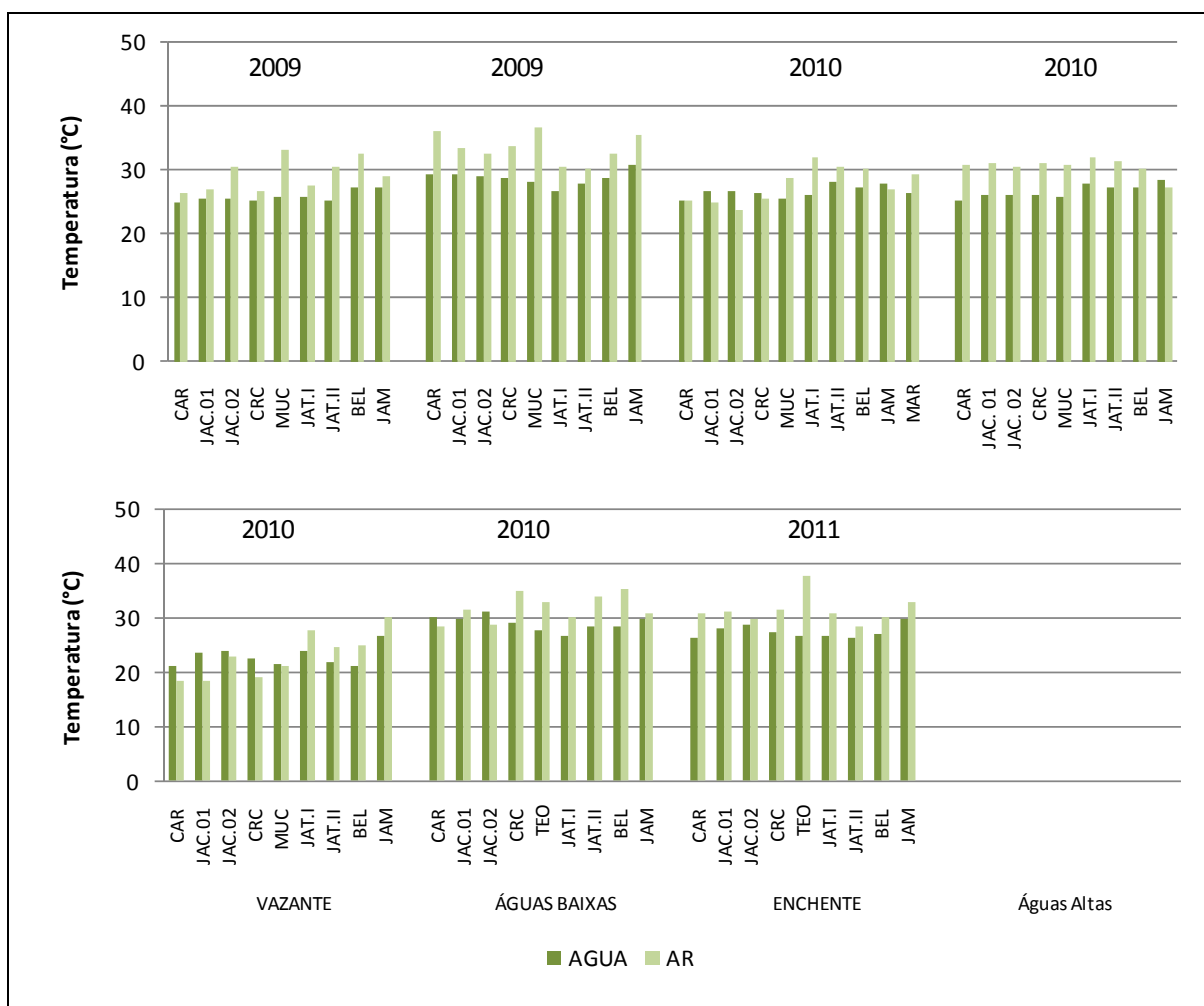


Figura 5.1-4 - Temperatura do ar em relação à temperatura da água nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

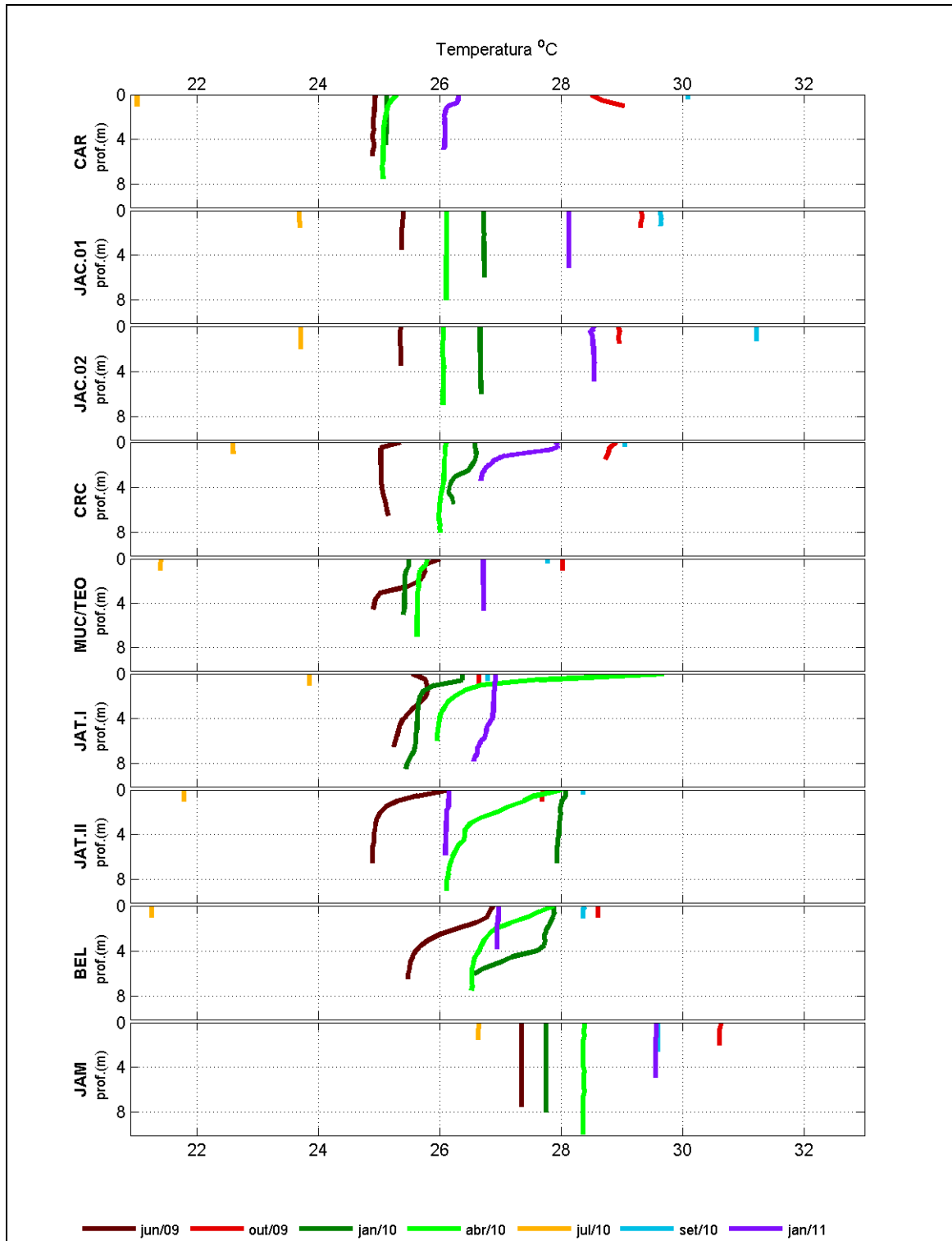


Figura 5.1-5 - Perfil de Temperatura da água nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

A temperatura média da água dos lagos e canais variou muito pouco ao longo do período estudado. Essa baixa amplitude de variação deve-se à baixa variação anual da temperatura em regiões tropicais. As temperaturas médias atmosféricas oscilaram entre  $27,0 \pm 2,5^\circ\text{C}$  (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010 e  $34,2 \pm 1,7^\circ\text{C}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011. Os lagos e canais apresentaram-se predominantemente estratificados ao longo do período de estudo, com temperatura média na superfície e no fundo de  $29,2 \pm 2,6^\circ\text{C}$  e  $25,9 \pm 2,0^\circ\text{C}$  (média  $\pm$  DP), respectivamente (Figura 5.1-6). Os perfis térmicos evidenciaram fortes estratificações na maior parte dos ambientes, com exceção de CC.01, que apresentou características de ambientes lóticos, como o rio Madeira (Figura 5.1-7).

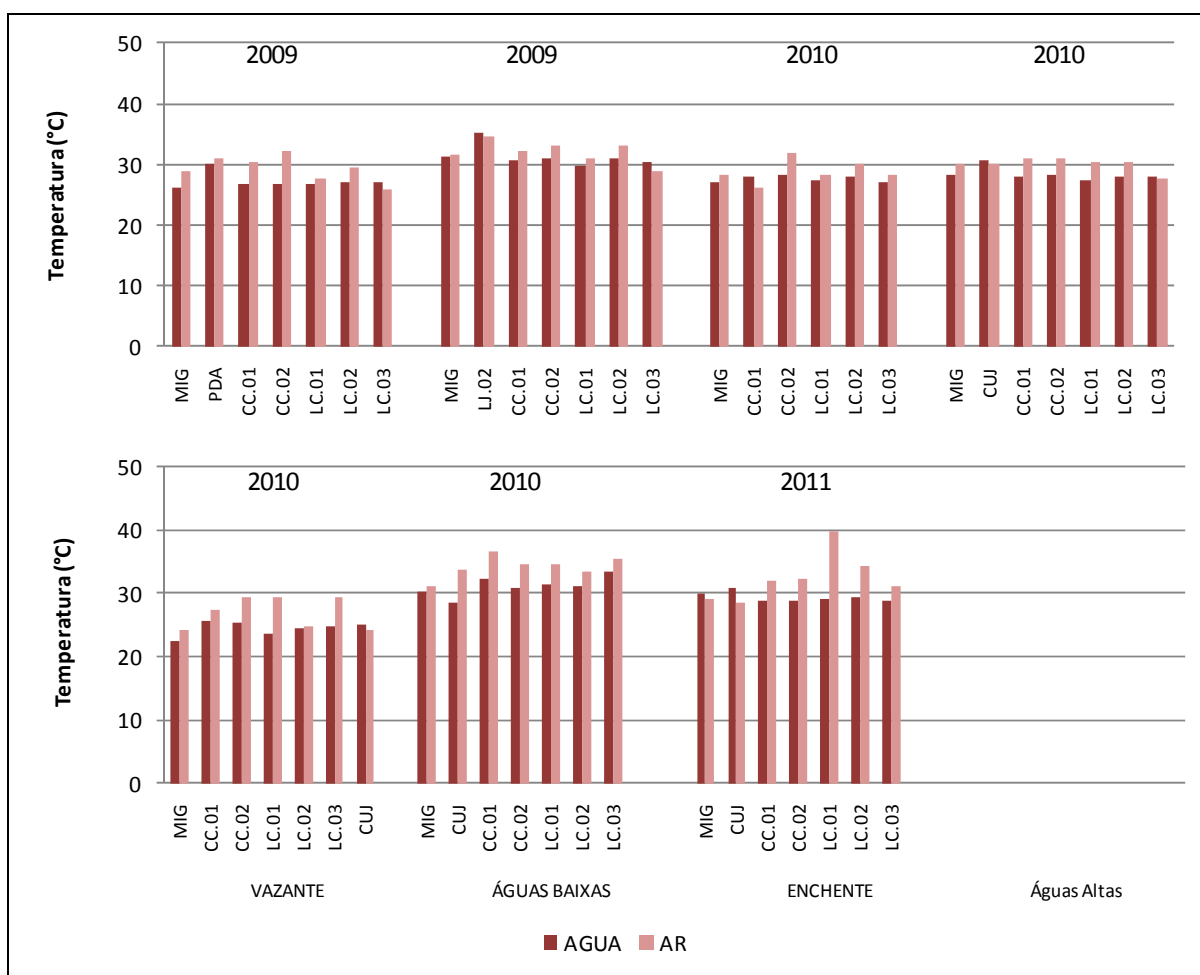


Figura 5.1-6 - Temperatura do ar em relação à temperatura da água nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

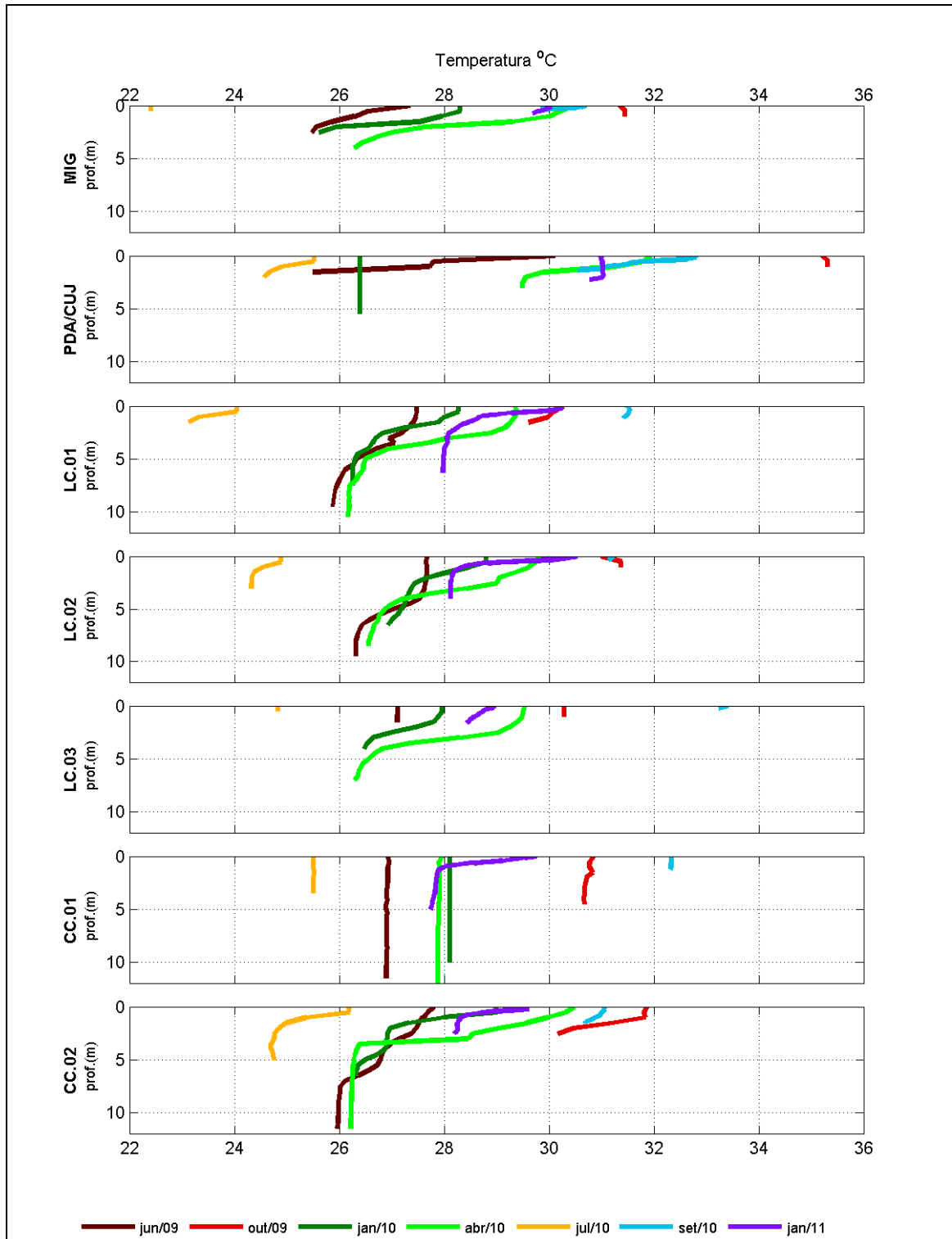


Figura 5.1-7 - Perfil de Temperatura da água no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

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, na maioria dos períodos hidrológicos. Além dos tributários apresentarem menor velocidade da água do que o rio Madeira, as estações de coleta situam-se geralmente próximas à desembocadura desses rios no rio Madeira. Desta forma, em alguns casos é possível que a massa d'água adquira características lênticas devido ao encontro com o rio Madeira, propiciando o fenômeno da estratificação térmica, como foi observado nas estações JAT I, JAT II e BEL. As demais estações amostradas nos tributários apresentaram coluna d'água homogênea. Os lagos e canais, por possuírem características mais lênticas apresentaram-se na maior parte do tempo estratificados. 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 águas baixas 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.

#### **5.1.1.1.2 - Profundidade, transparência, coeficiente de atenuação vertical da luz, zona eufótica, 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, por um lado, baixa penetração da luz e, por outro, alta refletância e atenuação vertical da luz (Muntz, 1978).

No rio Madeira a profundidade média varia bastante de acordo com o período hidrológico. A profundidade média ao longo dos períodos amostrados oscilou entre  $11,8 \pm 3,0$  m (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 e  $21,6 \pm 5,4$  m (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010. A profundidade máxima registrada ao longo do período de estudo foi de 30 m (**Figura 5.1-8**). A transparência média global foi de  $0,10 \pm 0,05$  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 em todos os períodos estudados, o que é consequência da alta carga de material em suspensão que este rio carrega. A transparência não variou muito ao longo do tempo, com valor mínimo de 0,05 m nas águas altas de 2010 e enchente de 2011 e máximo de 0,25 m nas águas baixas de 2010 (**Figura 5.1-9**). A zona

eufótica, que é diretamente relacionada com a transparência, apresentou extensão média global de  $0,31 \pm 0,16$  m (média  $\pm$  DP), com valores mínimos de 0,15 m nas águas altas de 2010 e enchente de 2011 e 0,75 m nas águas baixas de 2011 (Figura 5.1-10). Em virtude da baixa transparência e do elevado teor de sólidos no rio Madeira, o coeficiente de atenuação vertical da luz nesse ambiente é elevado. A média global foi de  $21,3 \pm 10,3$  m<sup>-1</sup> (média  $\pm$  DP), com os valores oscilando entre 6,8 m<sup>-1</sup> nas águas baixas de 2011 e 34 m<sup>-1</sup> na enchente de 2010 e 2011 e nas águas altas de 2010. O coeficiente de atenuação vertical da luz apresentou distribuição sazonal inversa à da transparência (Figura 5.1-11). A cor da água é determinada principalmente pelas substâncias que nela estão dissolvidas. Os dados de cor da água do rio Madeira decresceram no sentido vazante-águas altas no primeiro ano amostrado. Entretanto o mesmo padrão não foi observado entre o período de vazante de 2010 e enchente de 2011. O valor médio mínimo dos períodos hidrológicos analisados de  $34 \pm 24$  mg Pt/L (média  $\pm$  DP) foi observado nas águas baixas de 2010 e valor médio máximo de  $658 \pm 292$  mg Pt/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009. Estes valores conferiram uma média global de  $190 \pm 235$  mg Pt/L (média  $\pm$  DP) para a superfície das estações. Já para as amostras de fundo, a média global foi de  $206 \pm 261$  mg Pt/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-12). A velocidade de corrente média do rio Madeira variou entre  $2,1 \pm 0,4$  km/h (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $6,8 \pm 0,7$  km/h (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010. O rio Madeira possui muitas corredeiras no trecho amostrado, justificando os altos valores usualmente encontrados (Figura 5.1-13).

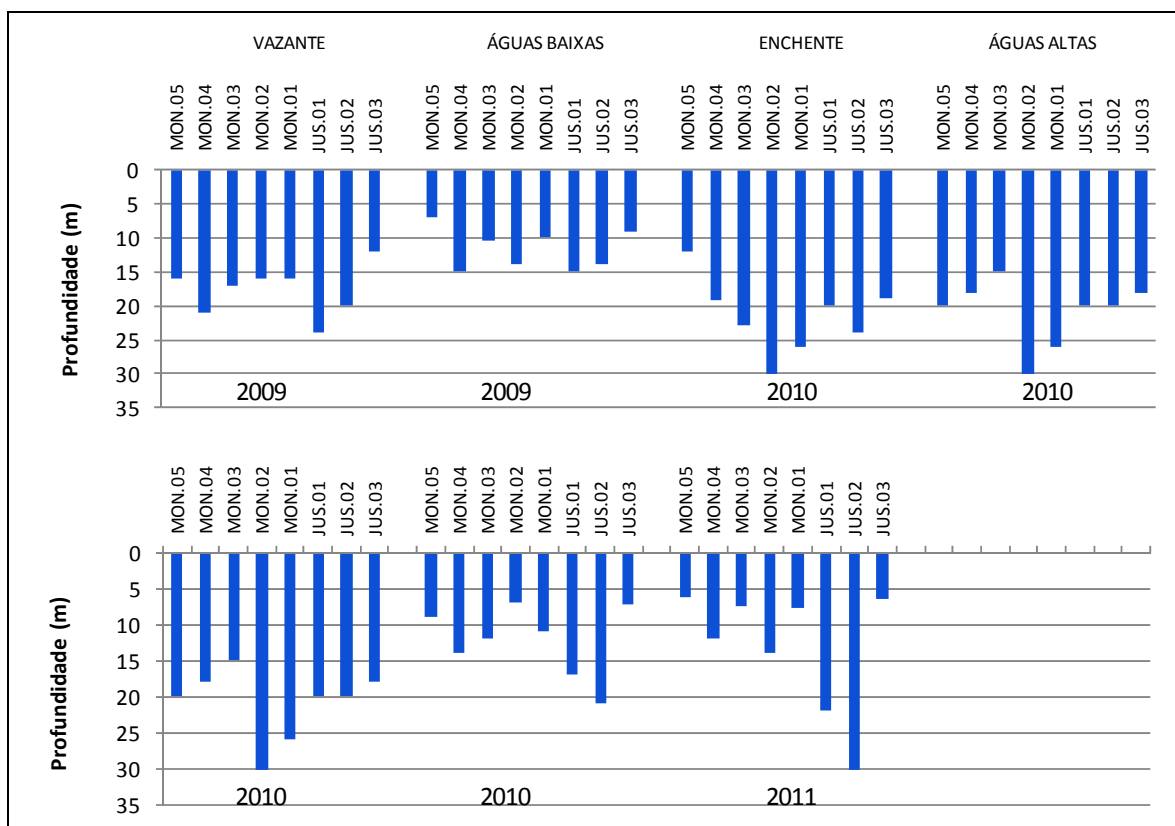


Figura 5.1-8 - Profundidade da coluna d'água no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



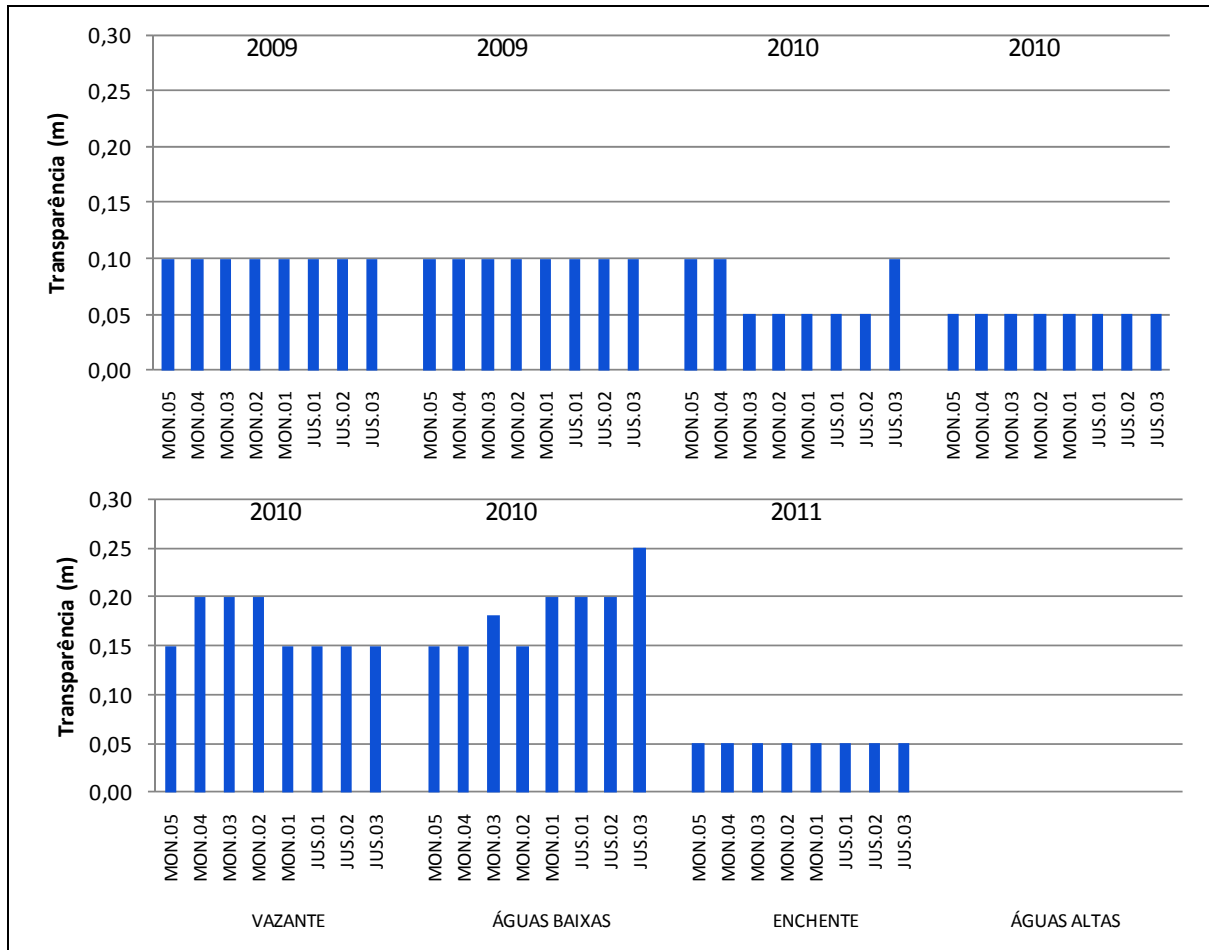


Figura 5.1-9 - Valores de transparência da água no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

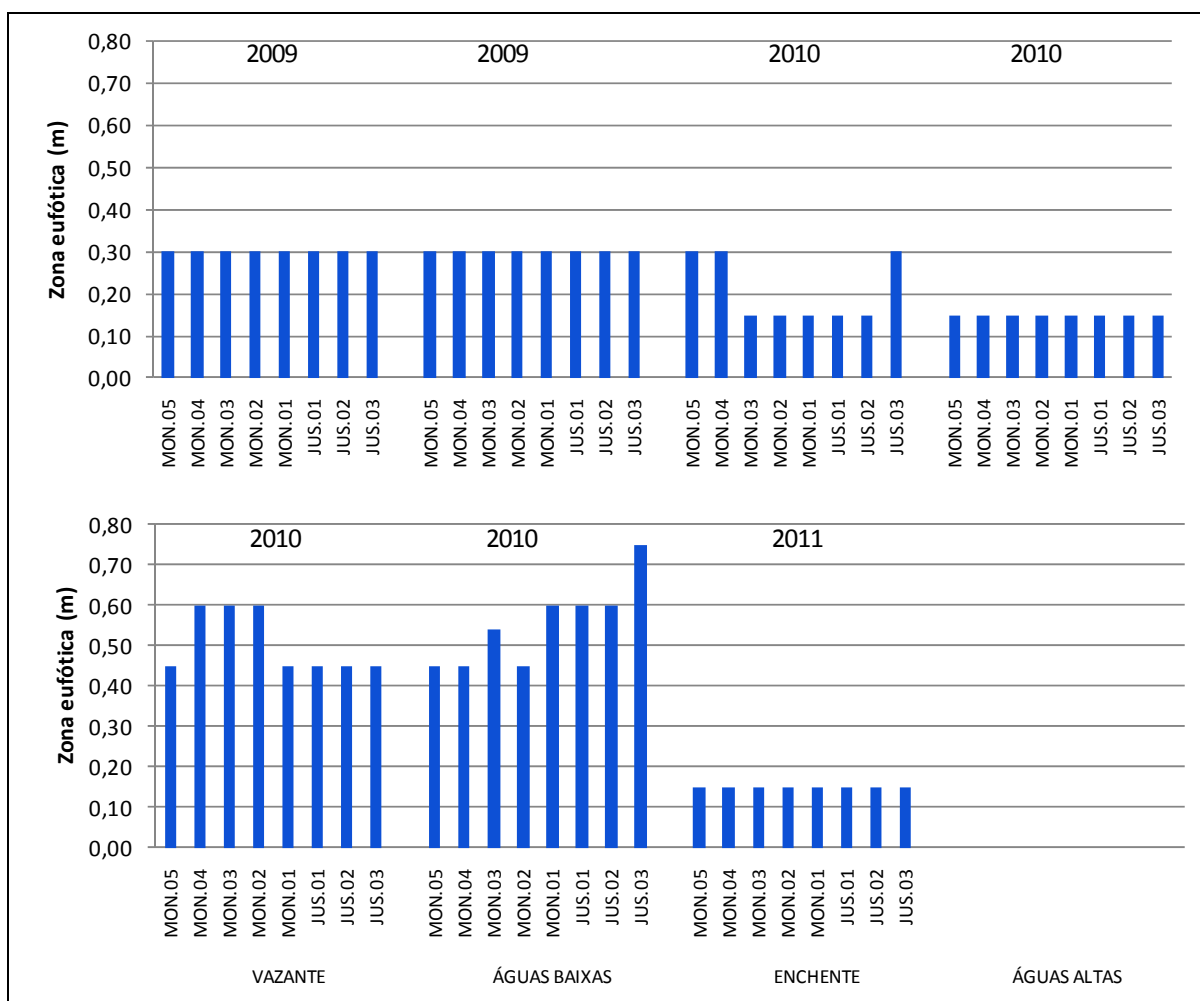


Figura 5.1-10 - Profundidade da zona eufótica no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

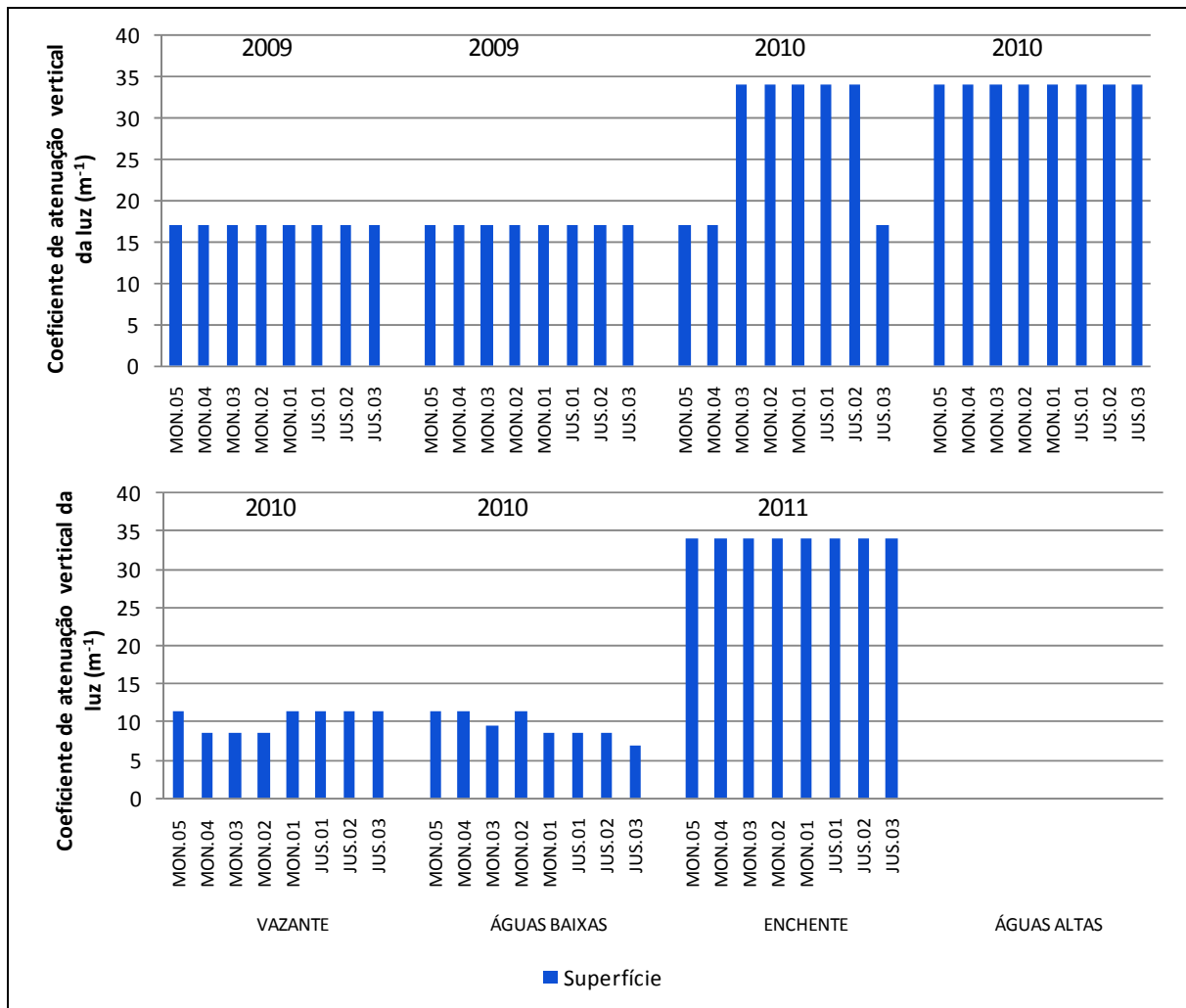


Figura 5.1-11 - Coeficiente de atenuação vertical da luz no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

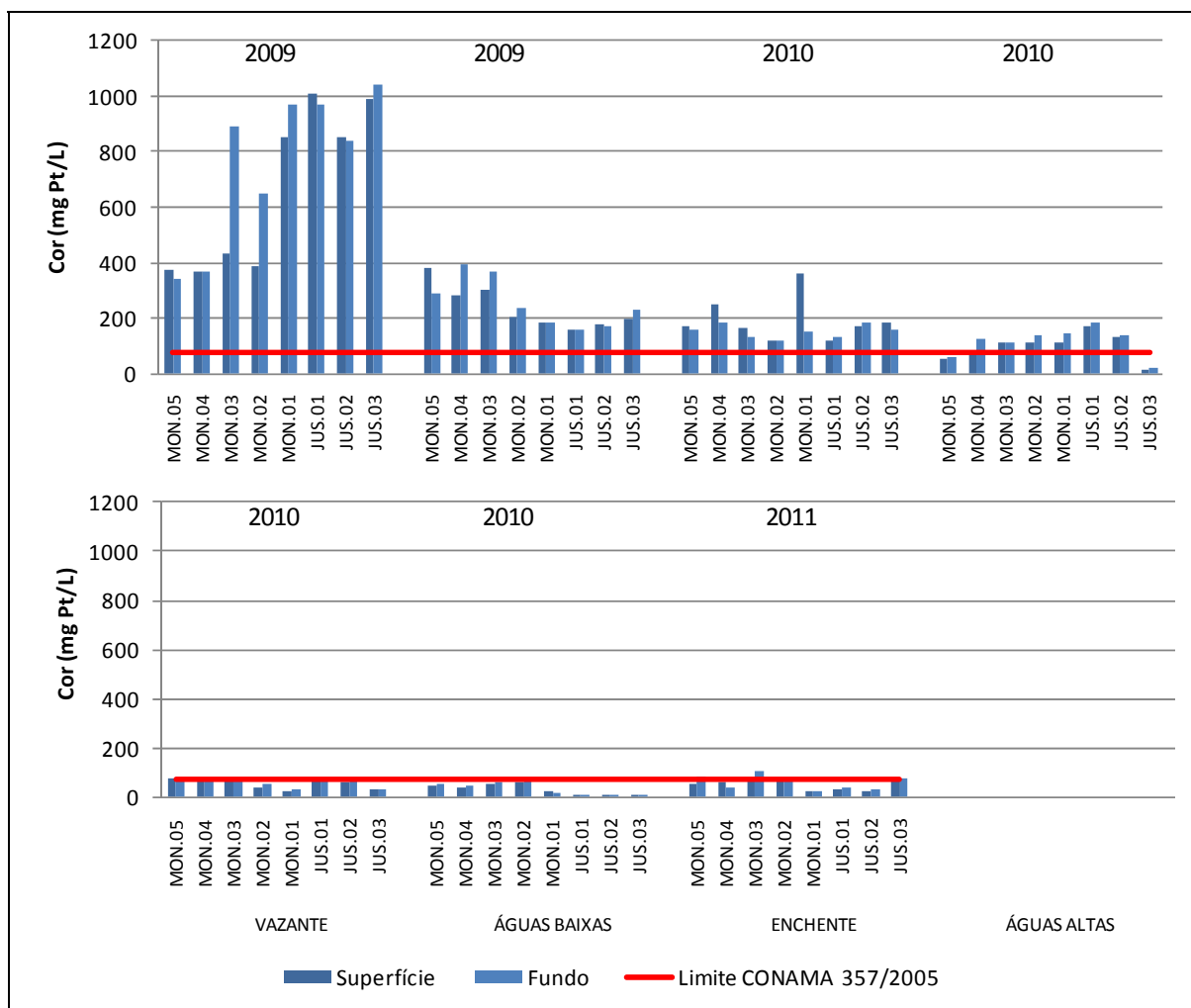


Figura 5.1-12 - Cor da água no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

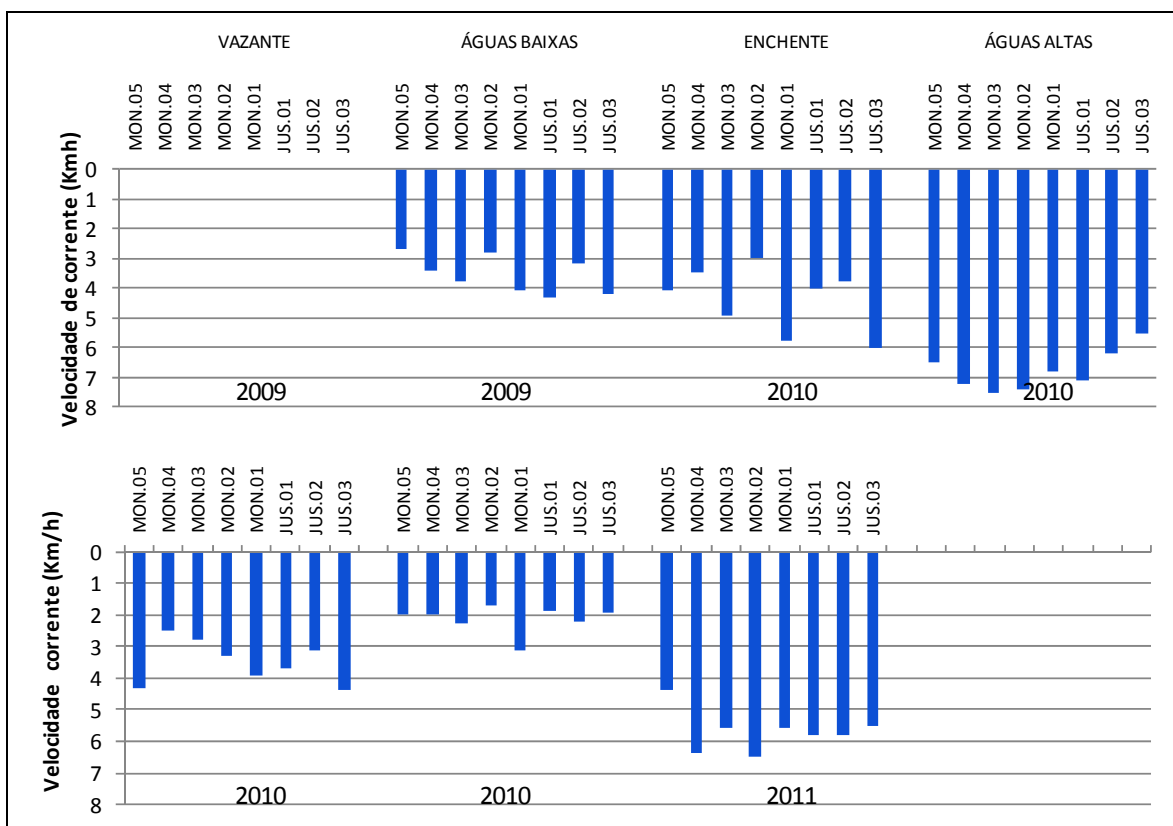


Figura 5.1-13 - Velocidade de corrente no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos tributários, a profundidade média também variou bastante de acordo com o período do ciclo hidrológico, tendo sido menor nas águas baixas e maior nas águas altas. Os valores médios oscilaram entre  $1,0 \pm 0,9$  m (média  $\pm$  DP) nas águas baixas e  $8,9 \pm 1,8$  m (média  $\pm$  DP) nas águas altas (Figura 5.1-14). Nos tributários, a transparência variou bastante entre as estações, com transparência média global de  $0,53 \pm 0,35$  m (média  $\pm$  DP). Os menores valores foram registrados nas estações JAT I e TEO nas águas baixas de 2010. Por outro lado, o maior valor foi de 1,5 m na estação CAR na vazante de 2009 e nas águas altas de 2010 (Figura 5.1-15). Valores mais baixos de transparência da água também foram verificados nas estações JAT II e BEL nos períodos de vazante e águas baixas. Ressalta-se que as estações JAT I, JAT II e BEL, situadas nos igarapés Jatuarana I e II e Belmont, respectivamente, parecem ser ‘lavadas’ pelas águas do rio Madeira nos períodos de menor nível da água, o que justifica os baixos valores encontrados. A estação CAR, no rio Caripuna, apresentou valores reduzidos de transparência e de sólidos, o que sugere que este seja um rio amazônico de águas claras. A zona eufótica é calculada a partir da transparência e, por isso, os menores valores foram encontrados nas estações JAT I, JAT II e BEL e os maiores na estação CAR na vazante de 2009 e nas águas altas de 2010. A zona eufótica

média em todo o período estudado foi de  $1,60 \pm 1,04$  m (média  $\pm$  DP) para os tributários (Figura 5.1-16). O coeficiente de atenuação vertical da luz também é calculado a partir dos valores de transparência, sendo inversamente proporcional a esta. Desta forma, os menores valores foram de  $1,1 \text{ m}^{-1}$  na estação CAR na vazante de 2009 e nas águas altas de 2010, enquanto que o maior foi de  $340 \text{ m}^{-1}$  na estação TEO nas águas baixas de 2011. A média do coeficiente de atenuação vertical da luz, para os tributários, foi de  $11,86 \pm 44,47 \text{ m}^{-1}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-17). A cor da água variou de  $32 \pm 12$  (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010 e  $278 \pm 292 \text{ mg Pt/L}$  (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009, com um valor médio global de  $100 \pm 138 \text{ mg Pt/L}$  (média  $\pm$  DP). Deve ser observado que a cor da água da estação CAR foi sempre muito baixa, corroborando a afirmação de que o rio Caripuna é um rio de águas claras (Figura 5.1-18). A velocidade de corrente nos rios tributários foi menor que no rio Madeira, que possui diversas corredeiras. Os valores médios oscilaram entre  $1,3 \pm 0,5 \text{ km/h}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 e  $3,8 \pm 1,7 \text{ km/h}$  (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 (Figura 5.1-19).

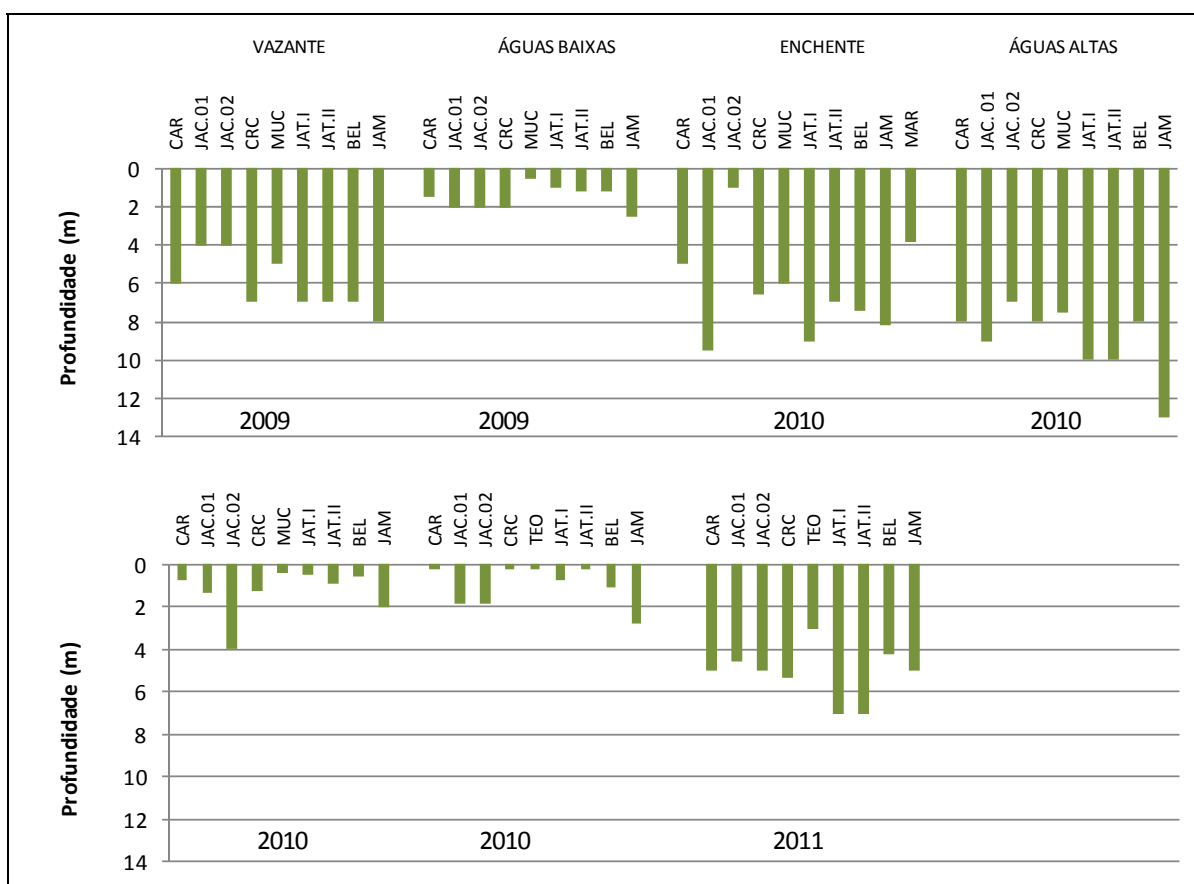


Figura 5.1-14 - Profundidade da coluna d'água nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

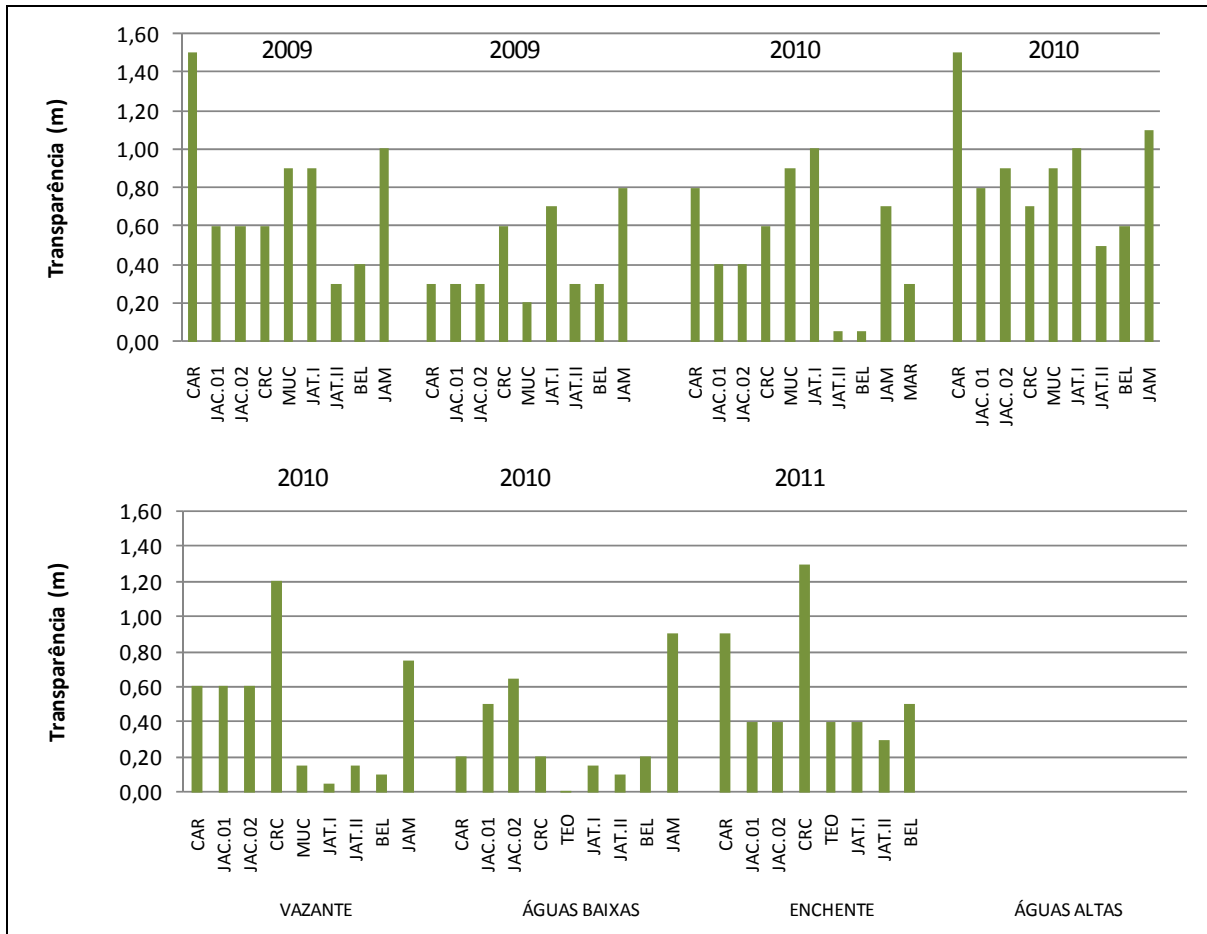


Figura 5.1-15 - Valores de transparência da água nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

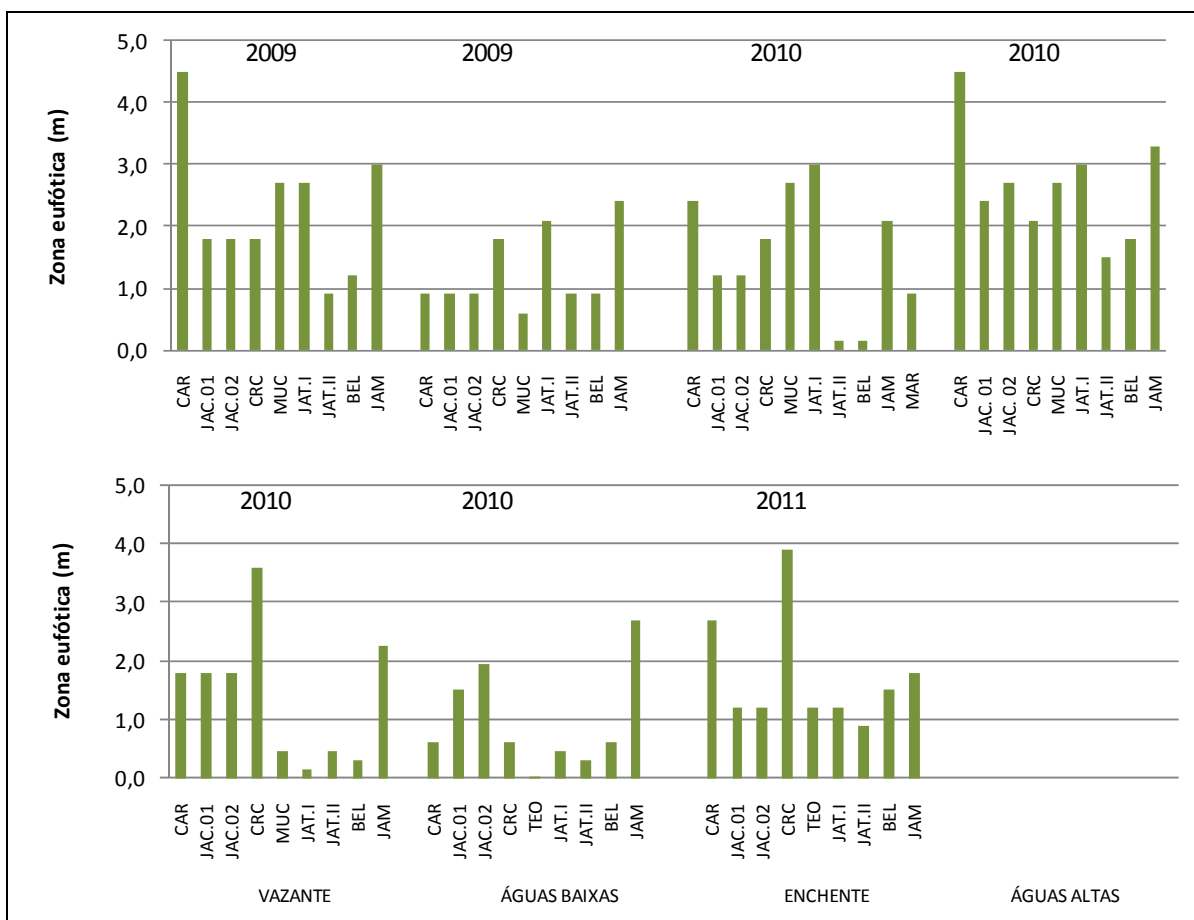


Figura 5.1-16 - Profundidade da zona eufótica nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



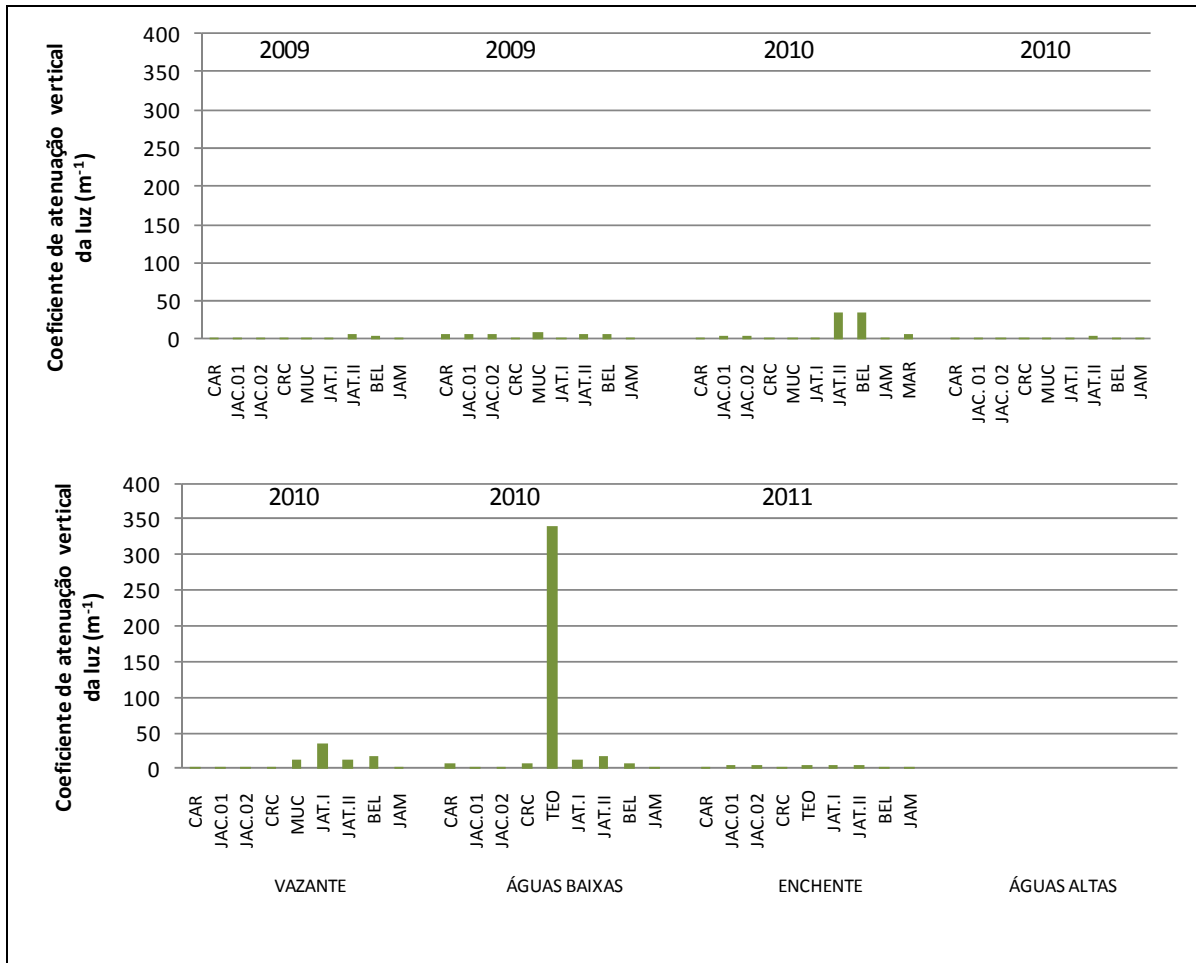


Figura 5.1-17 - Coeficiente de atenuação vertical da luz nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

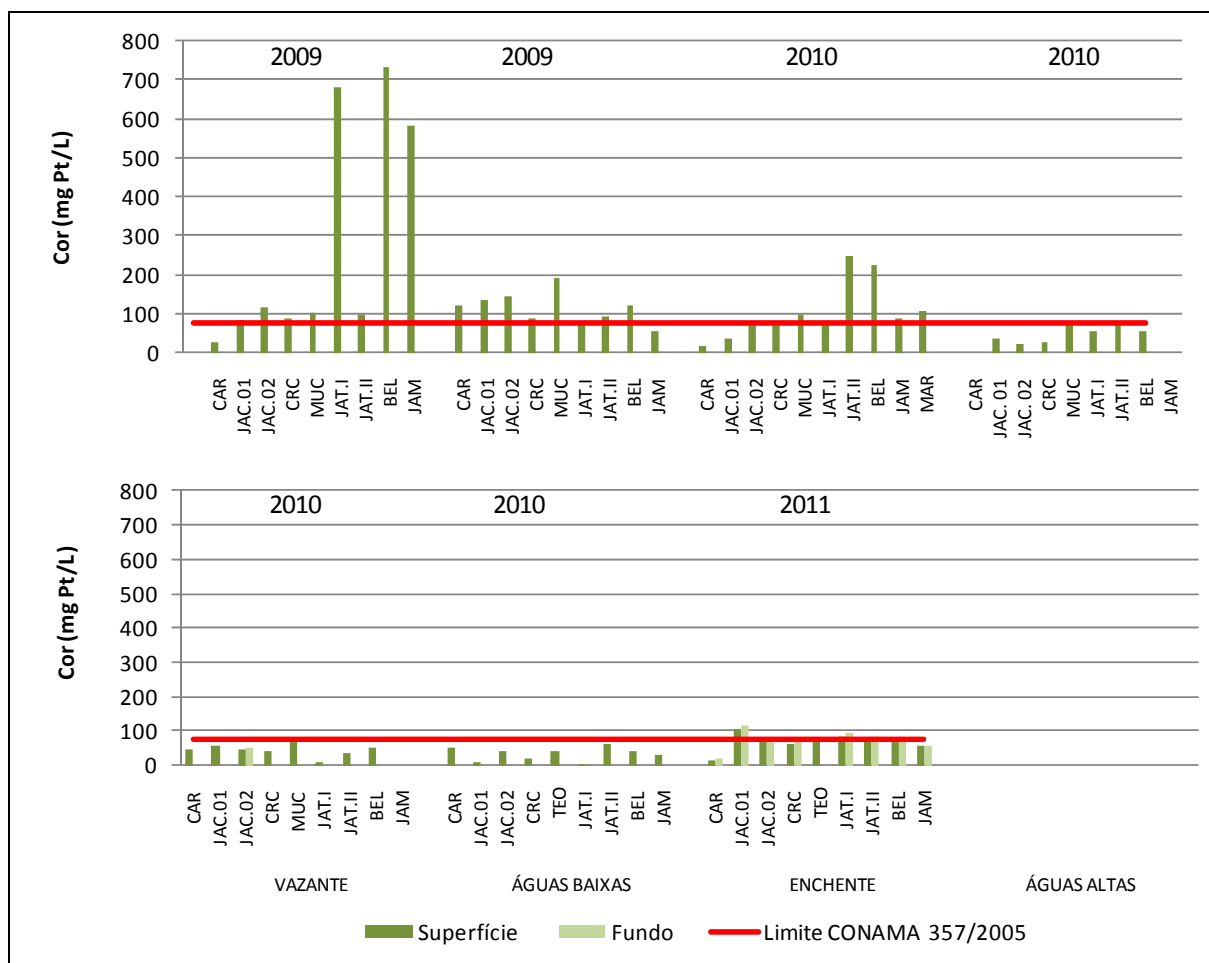


Figura 5.1-18 - Cor da água nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

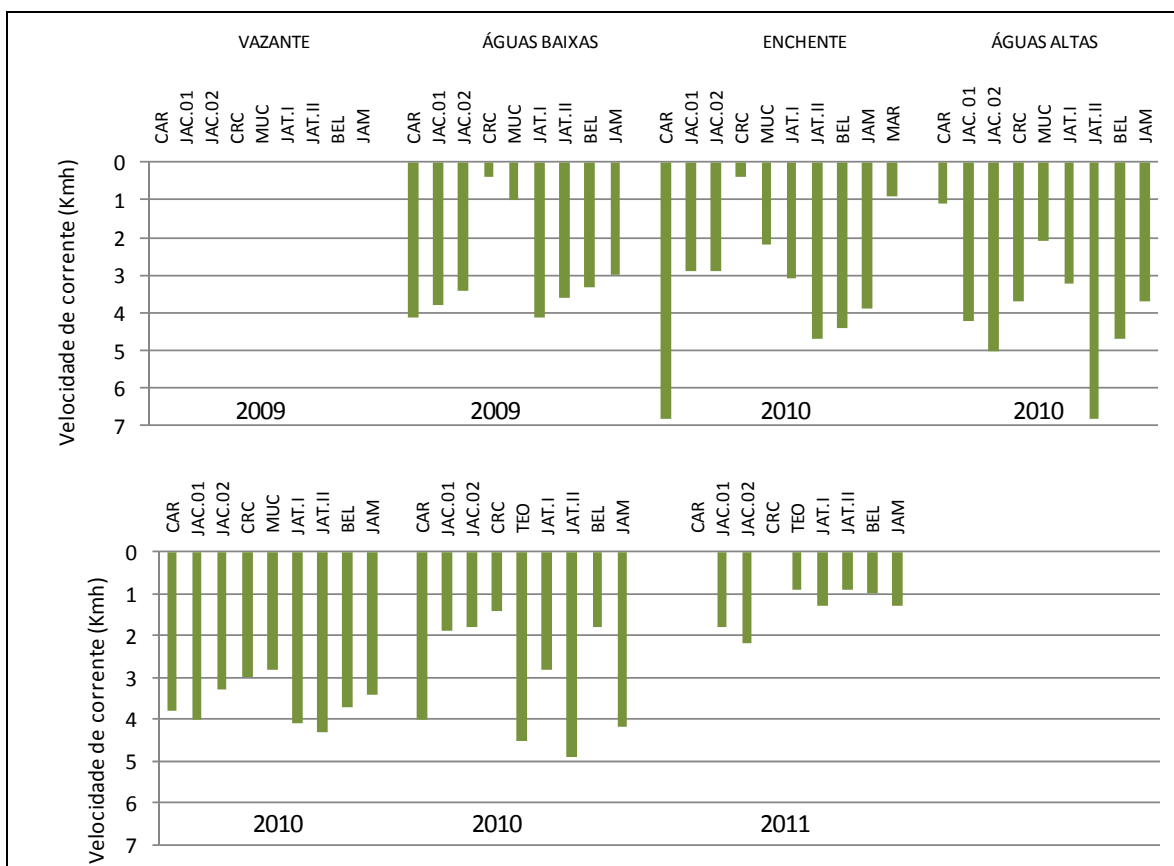


Figura 5.1-19 - Velocidade de corrente, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos lagos e canais também foi observada a variação da profundidade de acordo com o período do ciclo hidrológico, de forma que os valores médios dos períodos oscilaram entre  $1,7 \pm 1,7$  m (média  $\pm$  DP) nas águas baixas e  $9,7 \pm 5,7$  m (média  $\pm$  DP) nas águas altas (Figura 5.1-20). Os menores valores de transparência da água foram encontrados nos períodos de águas baixas de 2009 e 2011 e enchente de 2011, ao passo que os maiores valores ocorreram na vazante de 2009 e nas águas altas de 2010 (Figura 5.1-21). Dentre os ambientes estudados no presente monitoramento, os lagos e canais foram os que apresentaram os maiores valores de transparência da água, com média global de  $0,7 \pm 0,8$  m (média  $\pm$  DP). A média global da zona eufótica dos lagos e canais foi de  $2,2 \pm 2,4$  m (média  $\pm$  DP), variando de  $0,8 \pm 0,5$  m (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 a  $4,6 \pm 3,1$  m (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009 (Figura 5.1-22). O coeficiente de atenuação vertical da luz foi menor nos lagos e canais do que no rio Madeira e nos tributários, de modo que a média global foi de  $5,4 \pm 4,8$  m<sup>-1</sup> (média  $\pm$  DP). Os valores mínimos foram registrados nas águas altas de 2010, ao passo que os valores máximos foram registrados nas águas baixas de 2010 e 2011 (Figura 5.1-23). A cor da água dos lagos e canais foi mais baixa

do que dos outros ambientes estudados, com média global de  $98 \pm 86$  mg Pt/L (média  $\pm$  DP). A cor média variou de  $19 \pm 14$  mg Pt/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 a  $185 \pm 138$  mg Pt/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 (Figura 5.1-24). Os baixos valores encontrados nas águas altas e na vazante são corroborados pela alta transparência nesses períodos. Em geral, não foi observada velocidade de corrente nos lagos e canais, haja vista que lagos são ambientes lênticos. As estações CC.01 e CC.02 foram as únicas que apresentaram velocidade de corrente, pois estão situadas no canal do lago Cuniã e comportam-se mais como ambientes lóticos do que como lênticos. A estação CC.01, mais próxima da foz do canal no rio Madeira, apresentou sempre velocidades maiores. Os valores oscilaram entre 0,3 km/h na estação CC.02 nas águas baixas de 2009 e 5,8 km/h na estação CC.01 na vazante de 2010.

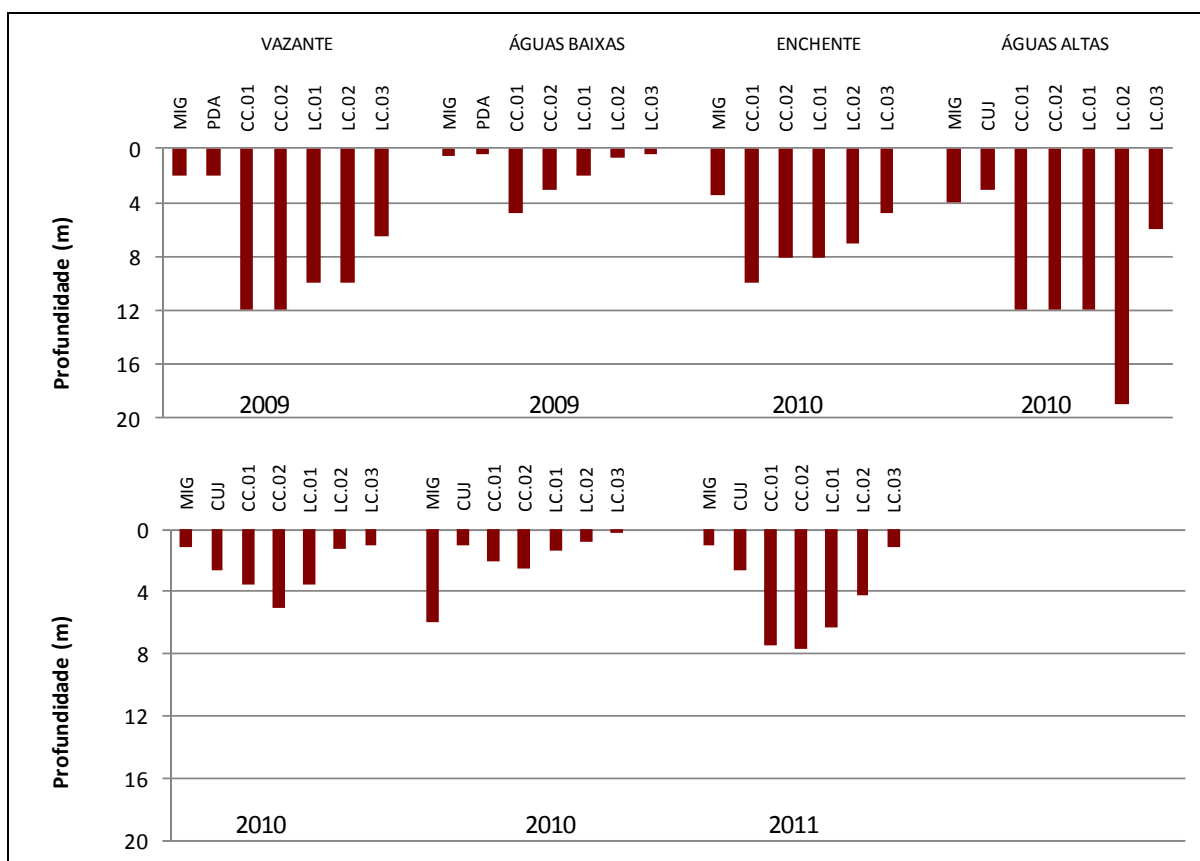


Figura 5.1-20 - Profundidade da coluna d'água nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

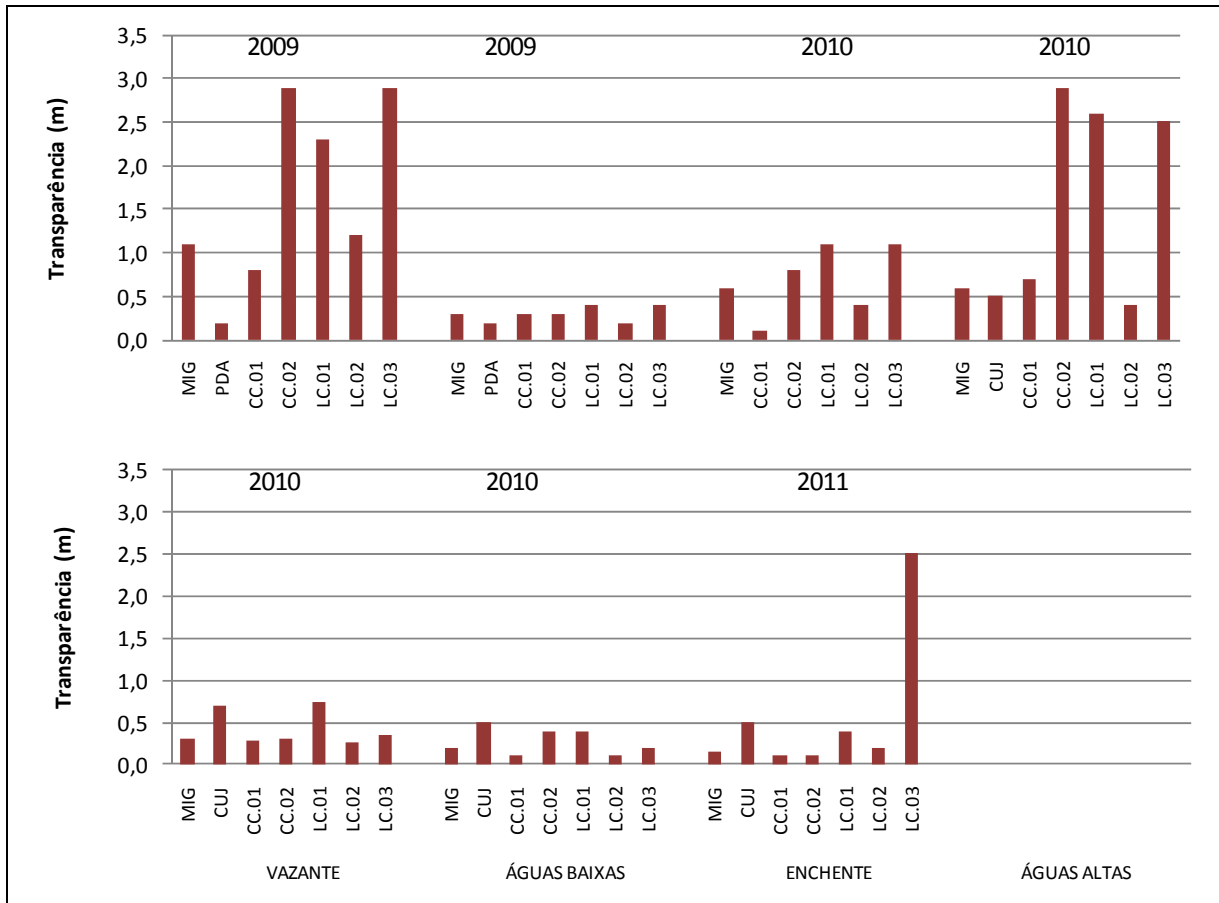


Figura 5.1-21 - Valores de transparência nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

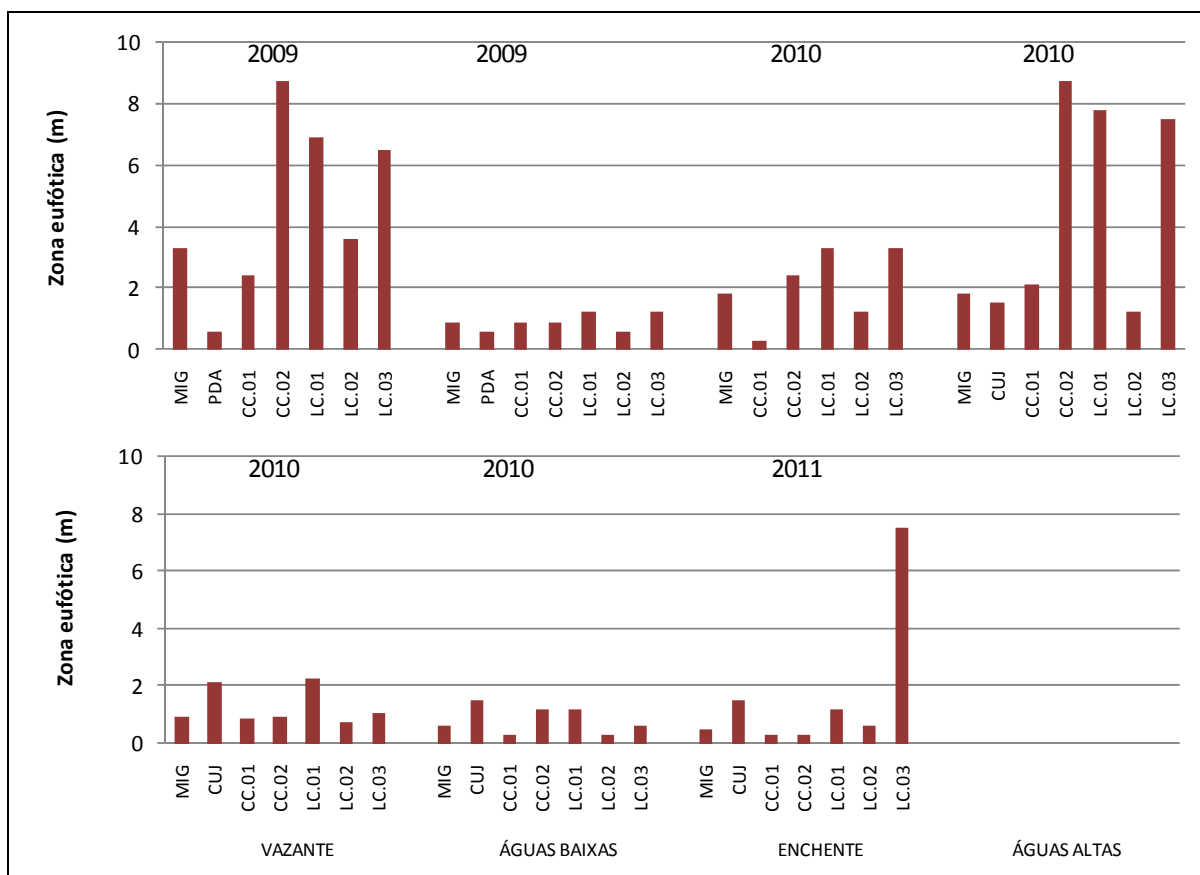


Figura 5.1-22 - Profundidade da zona eufótica nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

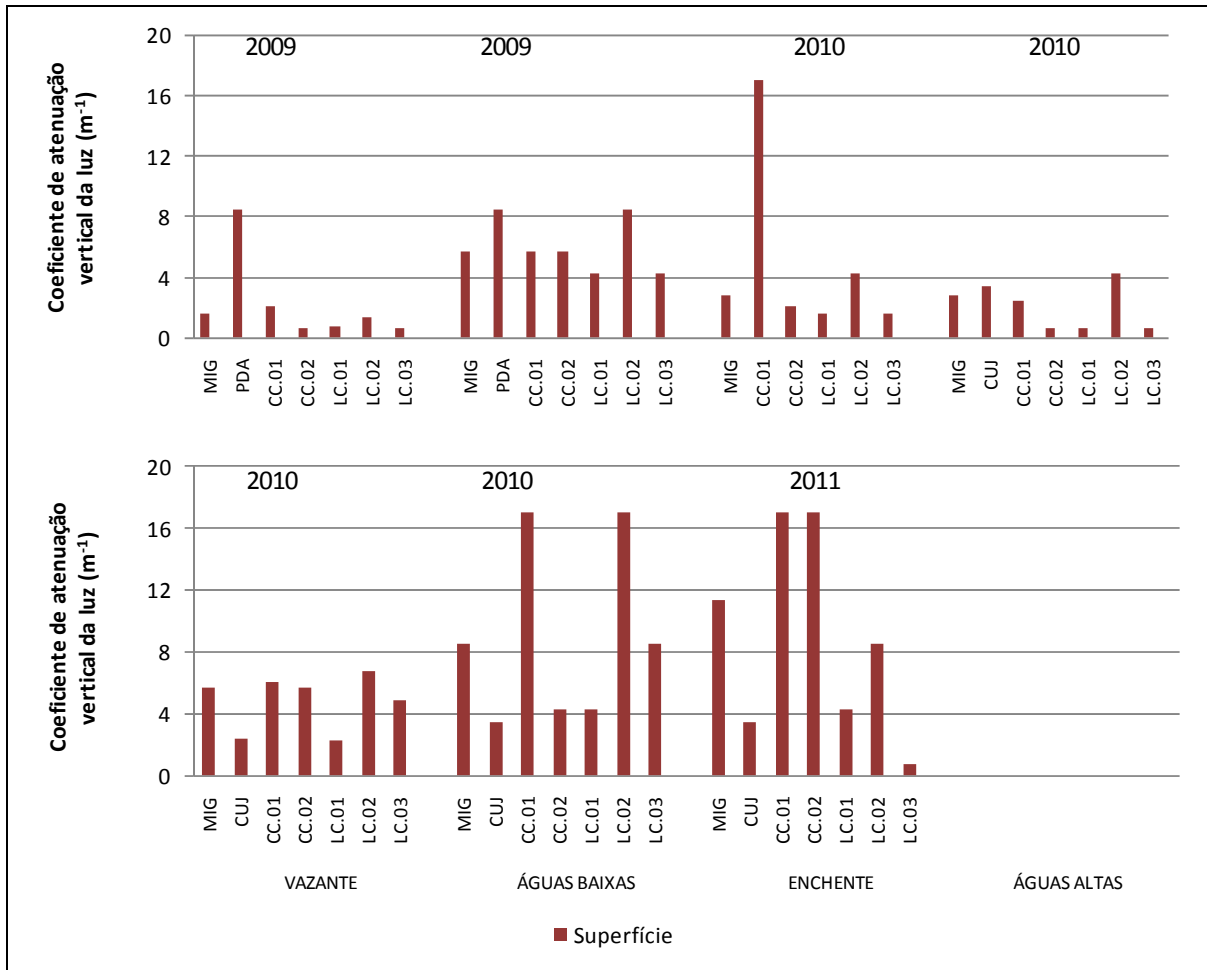


Figura 5.1-23 - Coeficiente de atenuação vertical da luz nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

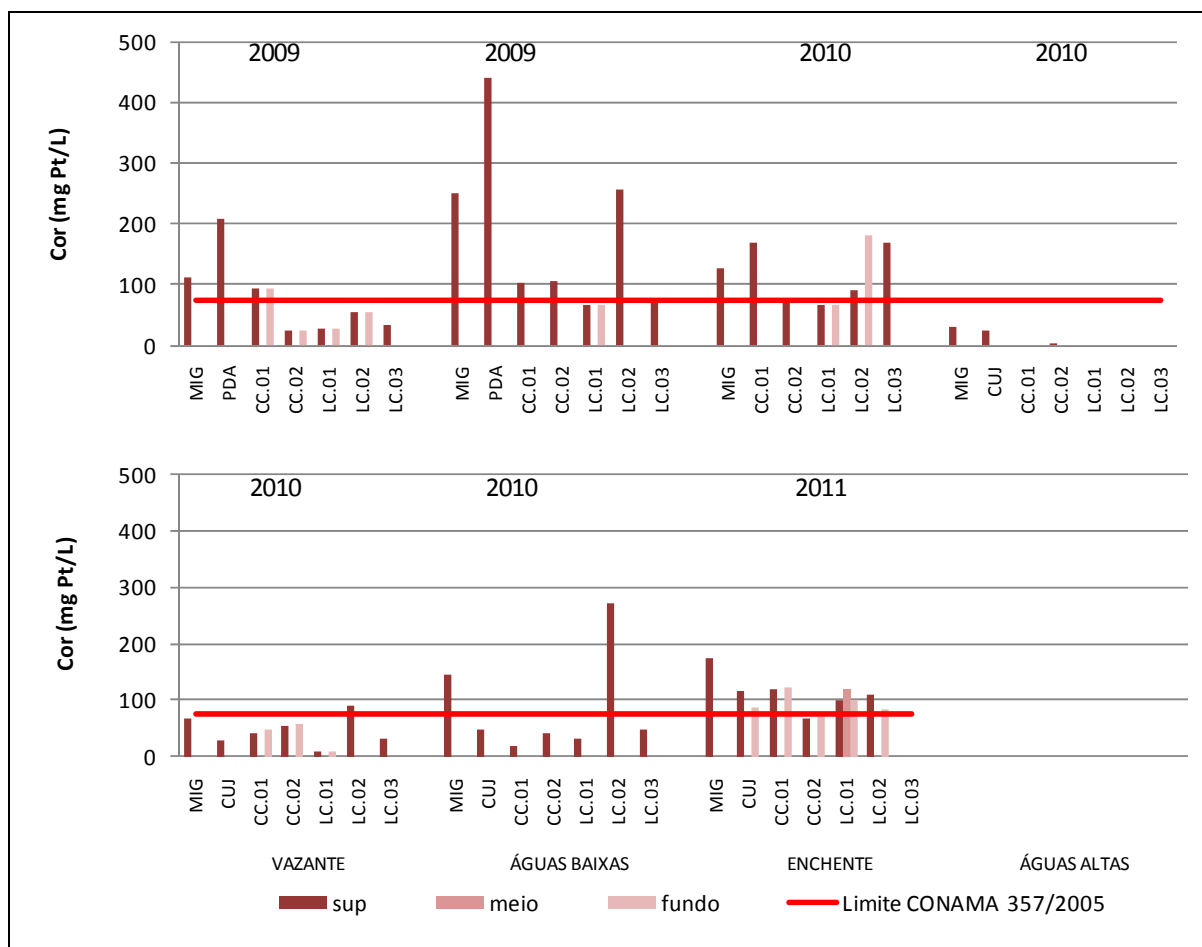


Figura 5.1-24 - Cor da água nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

O limite de cor de 75 mg Pt/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de Classe 2 não foi atendido na maior parte das estações amostradas no rio Madeira entre a vazante de 2009 e as águas baixas de 2010. Após a vazante de 2010 apenas o fundo de algumas estações não atenderam a este limite. Contudo, valores elevados de cor são comuns em ambiente que possuem elevada turbidez inorgânica. Nos tributários, as estações amostradas foram compatíveis com o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 na maioria dos períodos estudados. Na vazante e águas baixas de 2009 e na enchente de 2010 algumas estações apresentaram valores acima daquele estabelecido como limite por esta resolução. Nos lagos e canais, foram verificadas situações de não conformidade com esta resolução nos períodos de vazante, águas baixas e enchente. Por outro lado, todos os valores atenderam à referida resolução nas águas altas.



Destaca-se que as medidas de transparência, coeficiente de atenuação vertical da luz e zona eufótica são cálculos e derivações feitos com a medida de profundidade do desaparecimento Disco de Secchi e apresentam correspondência direta. Assim sendo, recomenda-se a exclusão da apresentação gráfica das medidas de coeficiente de atenuação vertical da luz e zona eufótica, mantendo apenas a transparência.

### 5.1.1.2 - Físicas C

#### 5.1.1.2.1 - Turbidez

A turbidez do rio Madeira apresentou média global de  $315 \pm 216$  NTU (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $352 \pm 231$  NTU (média  $\pm$  DP) para o fundo. Os valores mais elevados foram verificados sempre na enchente (**Figura 5.1-25**). A turbidez média registrada no EIA foi de  $89 \pm 17$  NTU, e apesar dos procedimentos metodológicos terem sido diferentes, os valores encontrados neste monitoramento foram superiores àqueles obtidos no EIA. Divergências na intensidade em que o pulso de inundação atinge o rio Madeira em cada ano podem explicar essas diferenças. Os perfis de turbidez indicaram que não houve grande diferença entre superfície e fundo na maioria dos períodos amostrados. Apenas nos períodos de enchente de 2010 e 2011 ocorreram variações verticais, com variação irregular ao longo da coluna d'água (**Figura 5.1-26**).

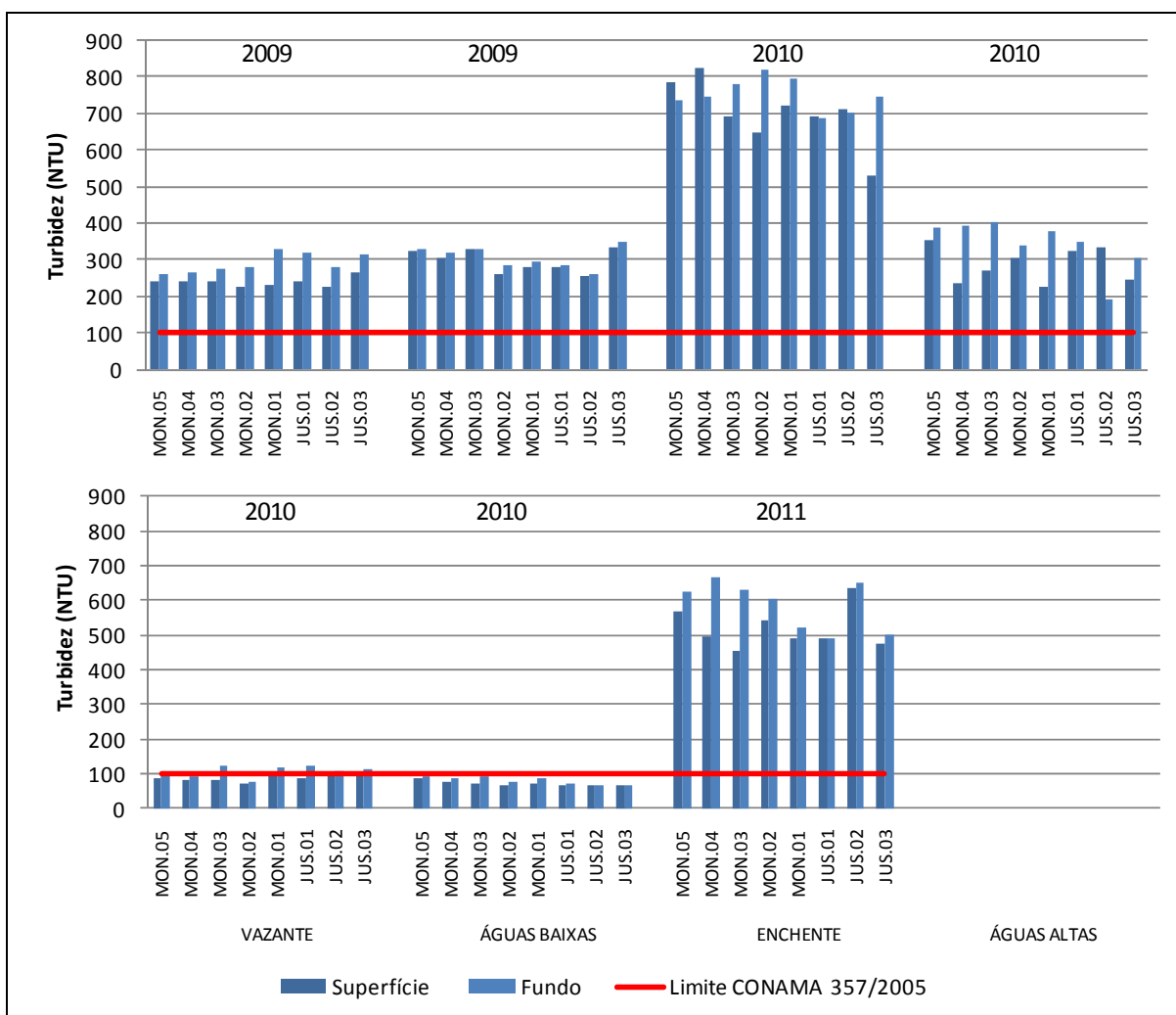


Figura 5.1-25 - Valores de turbidez no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

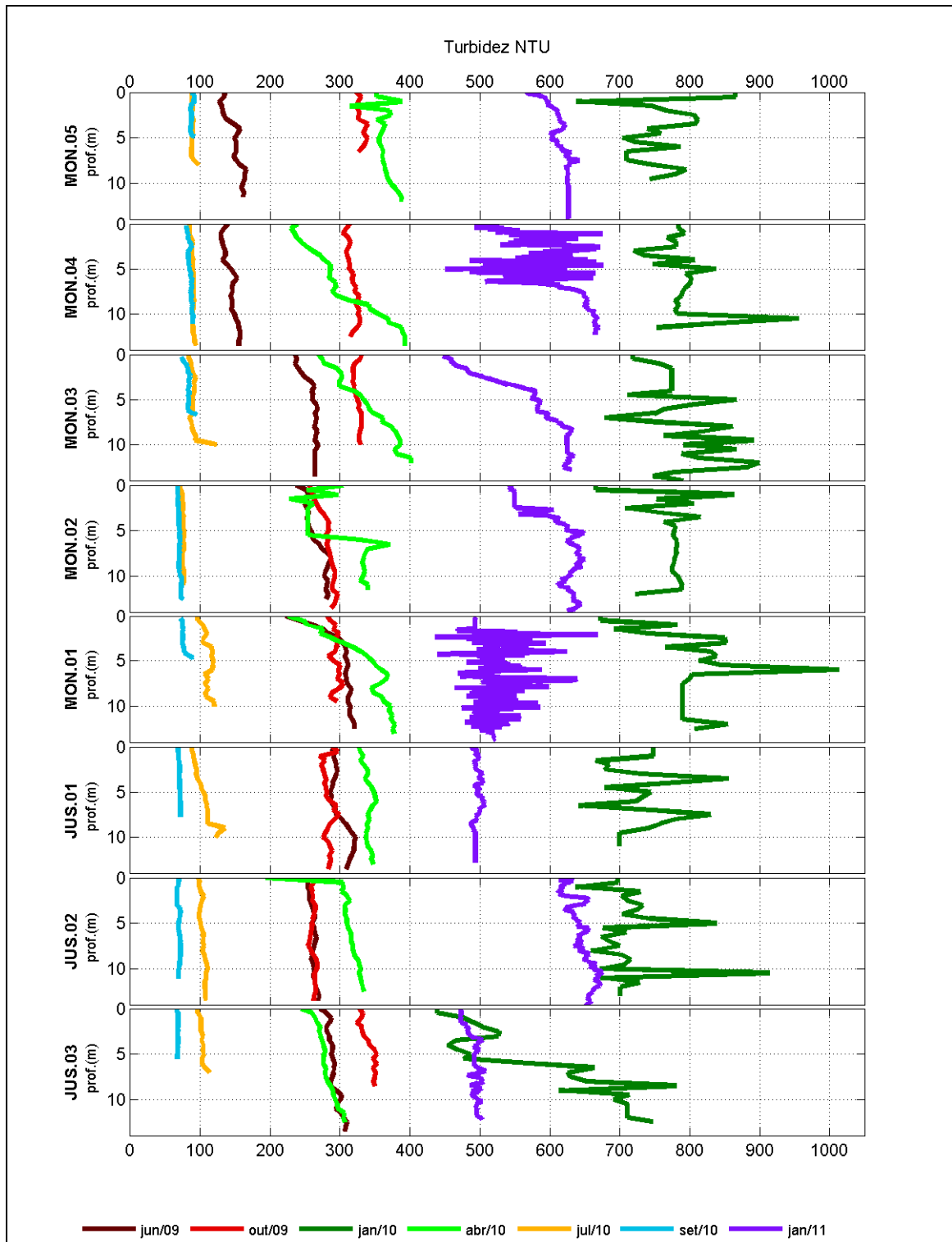


Figura 5.1-26 - Perfis de turbidez no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

A turbidez global média dos tributários foi de  $64 \pm 109$  NTU (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $65 \pm 101$  NTU (média  $\pm$  DP) para o fundo. Os valores médios variaram entre  $8 \pm 5$  NTU (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 e  $129 \pm 152$  NTU (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010. Os altos valores registrados nas estações JAT II e BEL na enchente de 2010 elevaram tanto a média do período como a média global (Figura 5.1-27). Essas estações tiveram suas águas 'lavadas' pelo pulso de inundação do rio Madeira na enchente, o que conferiu elevados valores de turbidez. Porém, de uma maneira geral, os tributários apresentaram baixos valores de turbidez, mais notadamente o rio Caripuna (estação CAR), cujas características físico-químicas permitem caracterizá-lo como rio de águas claras. Os perfis verticais não indicaram variação vertical da turbidez, com exceção das estações JAT II e BEL, que apresentaram certa variação na enchente de 2010 (Figura 5.1-28).

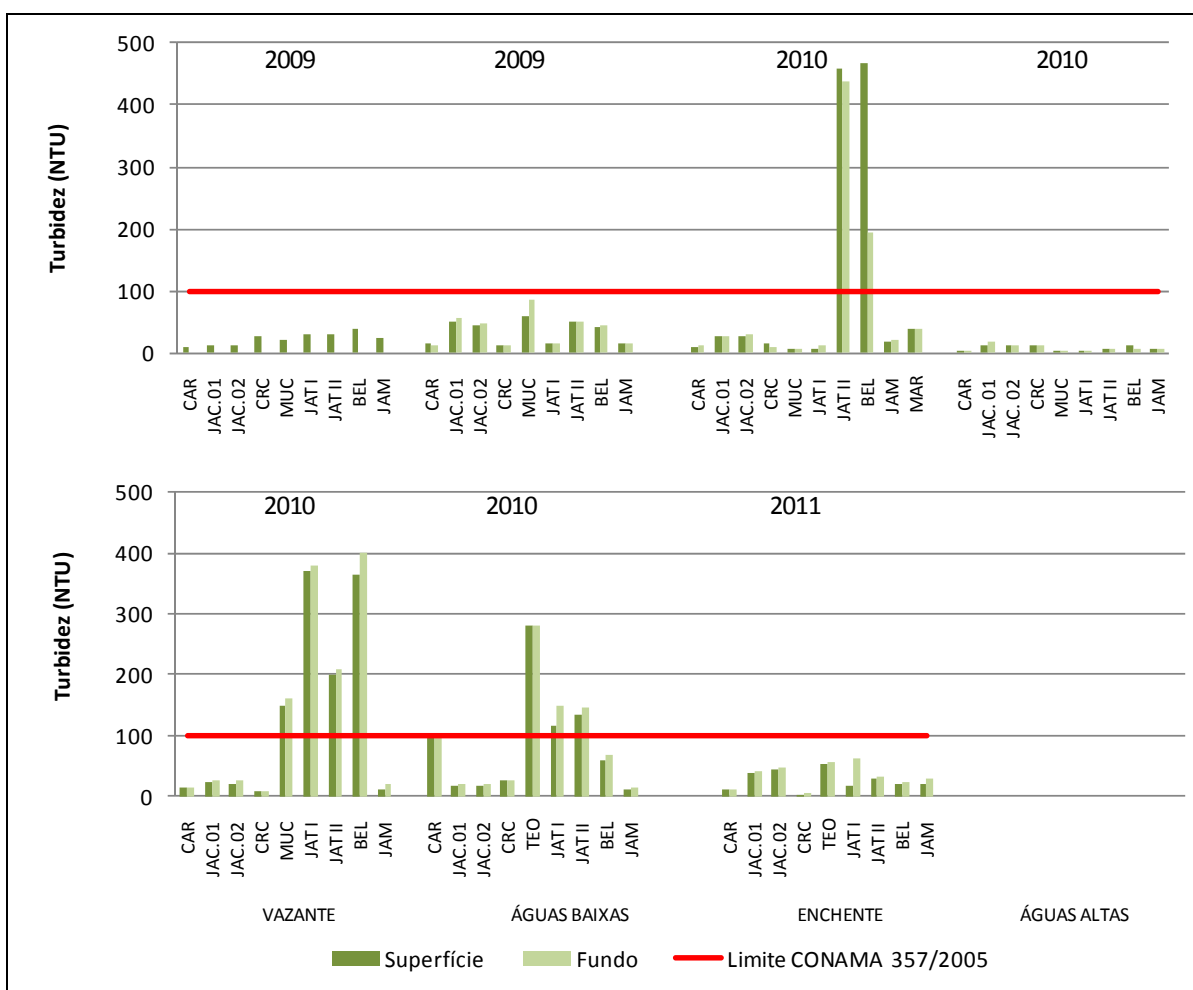


Figura 5.1-27 - Valores de turbidez nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

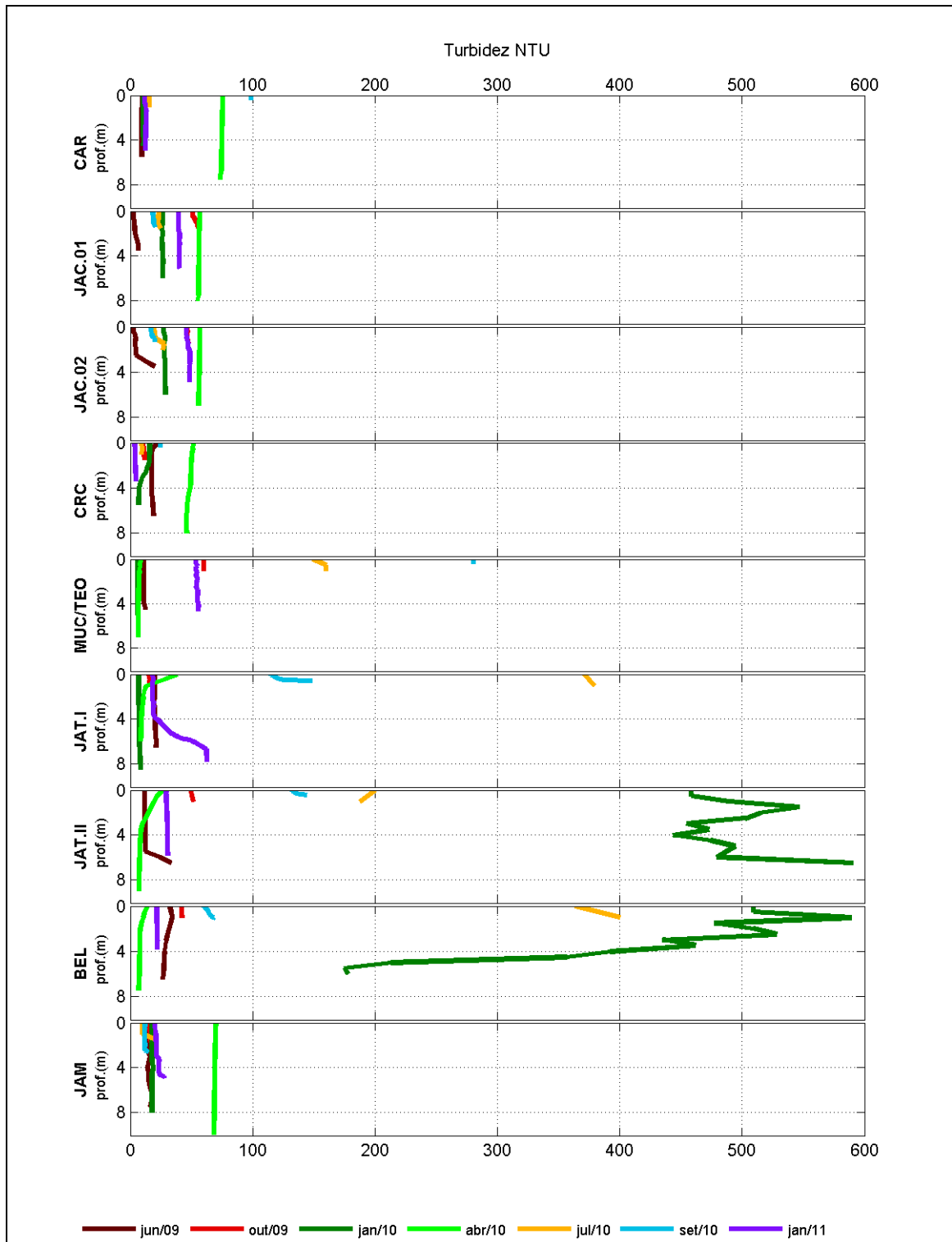


Figura 5.1-28 - Perfis de turbidez nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos lagos e canais, a turbidez apresentou valor médio global de  $62 \pm 101$  NTU (média  $\pm$  DP) para as amostras de superfície e  $78 \pm 118$  NTU (média  $\pm$  DP) para as amostras de fundo. As águas altas apresentaram os valores mínimos, com média de  $4 \pm 1$  NTU (média  $\pm$  DP), ao passo que a enchente apresentou os valores máximos, com média de  $127 \pm 149$  NTU (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-29). As enchentes de 2010 e 2011 foram períodos em que as estações situadas nos lagos e canais (principalmente a estação CC.01) sofreram maior influência do pulso de inundação do rio Madeira, rio extremamente turbido. Esta influência do rio principal fez com que a média do período fosse elevada. No período de águas altas, contudo, a turbidez em todas as estações foi muito baixa. Os perfis de turbidez indicaram pouca variação vertical nos lagos e canais (Figura 5.1-30). Além disso, os perfis evidenciaram que a estação CC.01 apresentou grande variação da turbidez ao longo dos períodos estudados.

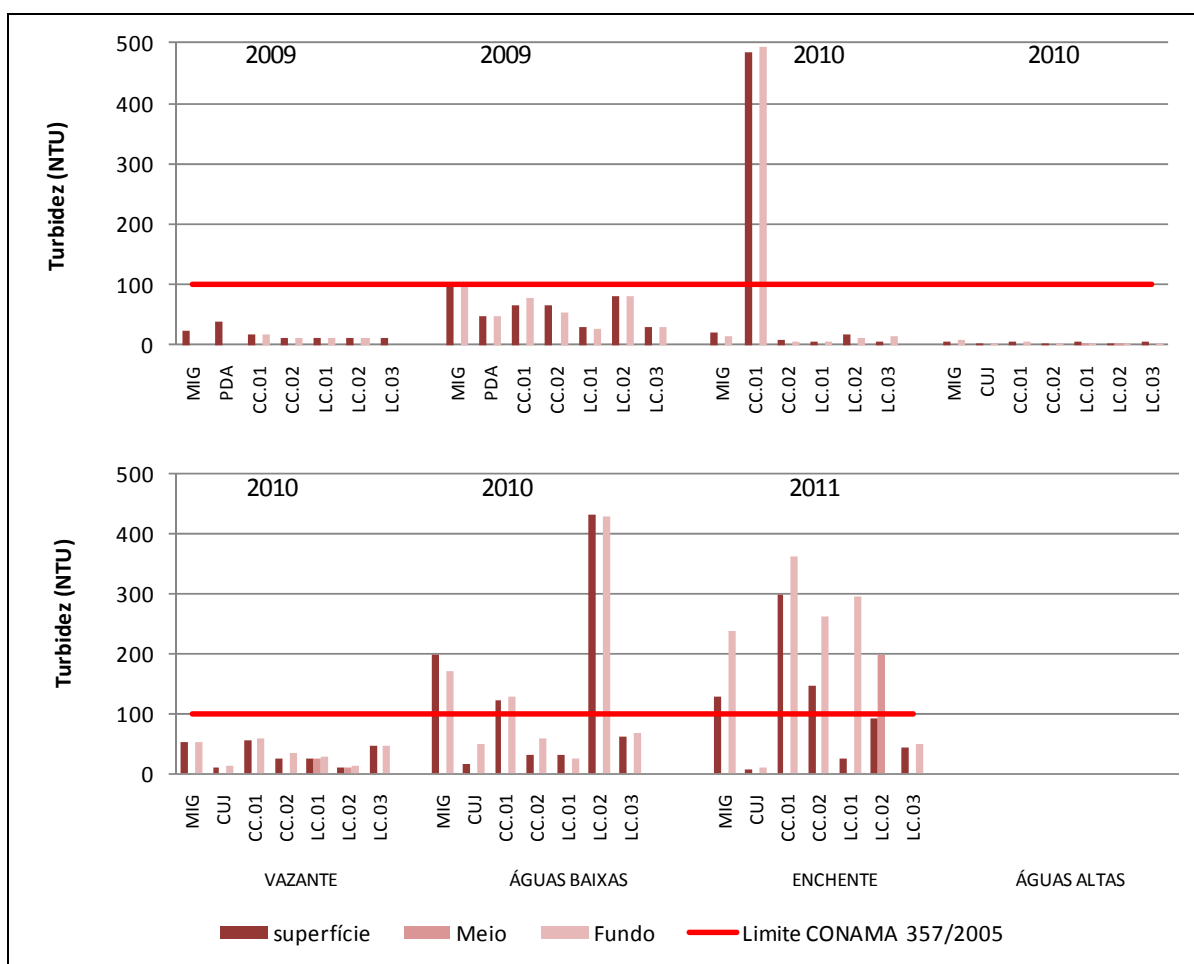


Figura 5.1-29 - Valores de turbidez nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

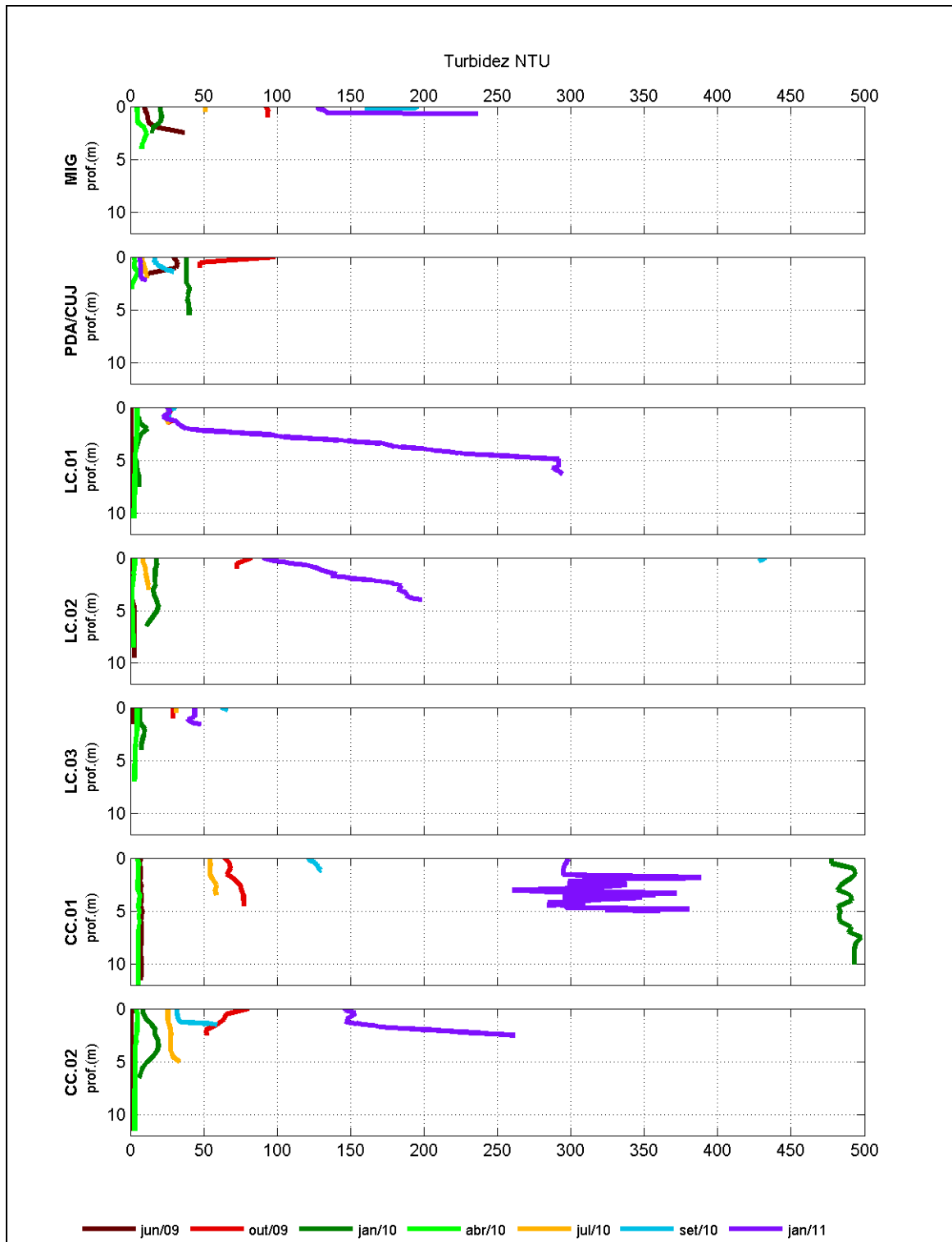


Figura 5.1-30 - Perfis de turbidez nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

O limite de 100 NTU previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de Classe 2 foi atendido apenas na vazante e águas baixas de 2010 nas estações amostradas no rio Madeira. O rio Madeira é um rio de águas brancas, 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. Nos tributários, com exceção das estações JAT II e BEL na enchente de 2010; das estações MUC, JAT I, JAT II e BEL na vazante e das estações TEO, JAT I e JAT II nas águas baixas de 2010, todos os ambientes amostrados estiveram dentro do limite permitido pela resolução em questão. O pulso de inundação do rio Madeira, chuvas fortes pontuais e isoladas e atividade erosiva podem ter contribuído para esses resultados. Nos lagos e canais, somente as estações CC.01 na enchente de 2010, MIG, CC.01, LC.02 nas águas baixas de 2011 e MIG, CC.01, CC.02, LC.01 e LC.02 na enchente de 2011 não atenderam à referida resolução. Os resultados sugerem que estas estações têm sua hidroquímica bastante influenciada pelo pulso de inundação do rio Madeira nos períodos de menor nível da água.

#### 5.1.1.2.2 - 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 teor de sólidos totais foi semelhante entre os períodos de vazante, águas baixas e águas altas. Em contrapartida, os valores foram mais elevados na enchente de 2010 e 2011, quando a concentração média foi, respectivamente, de  $697 \pm 209$  mg/L e  $490 \pm 75$  mg/L (média  $\pm$  DP) (valores das amostras de superfície) (**Figura 5.1-31**). A média global foi de  $316 \pm 213$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $354 \pm 248$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo. Os maiores valores na enchente são corroborados pelos maiores valores de turbidez nesse período. A regressão linear simples entre estas duas variáveis aponta que 77% da variabilidade da turbidez é devida ao total de sólidos em suspensão. A fração suspensa foi a mais frequente no rio Madeira, tendo respondido, em média, por 63% do total (**Figura 5.1-32**). As concentrações médias de sólidos em suspensão variaram entre  $53 \pm 10$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $411 \pm 135$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010, com média global de  $198 \pm 148$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $222 \pm 159$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (**Figura 5.1-33**). Os sólidos totais dissolvidos apresentaram concentração média global de  $118 \pm 89$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a



superfície e  $133 \pm 115$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo. As médias dos períodos variaram entre  $42 \pm 22$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 e  $286 \pm 79$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010 (Figura 5.1-34). Em relação à volatilidade, a fração fixa foi a mais comum, contribuindo em média com 81% do total. As concentrações de sólidos fixos variaram entre  $101 \pm 50$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $619 \pm 243$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010. O valor médio global foi de  $259 \pm 210$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $288 \pm 236$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (Figura 5.1-35). Já os sólidos voláteis apresentaram média global de  $57 \pm 36$  mg/L (média  $\pm$  DP), com os valores médios dos períodos oscilando entre  $29 \pm 22$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010 e  $82 \pm 49$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas, também de 2010 (Figura 5.1-36).

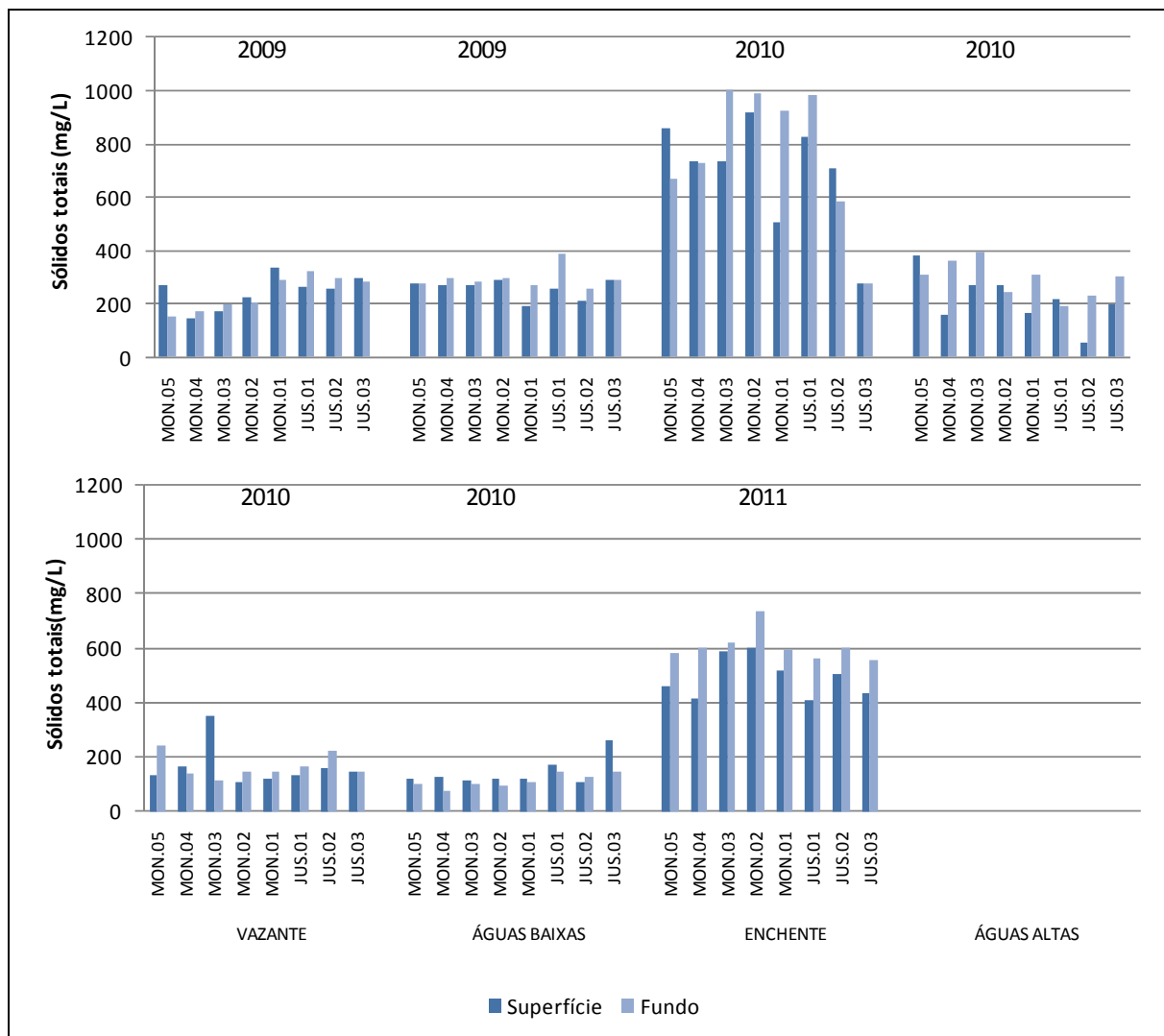


Figura 5.1-31 - Concentrações de Sólidos totais no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

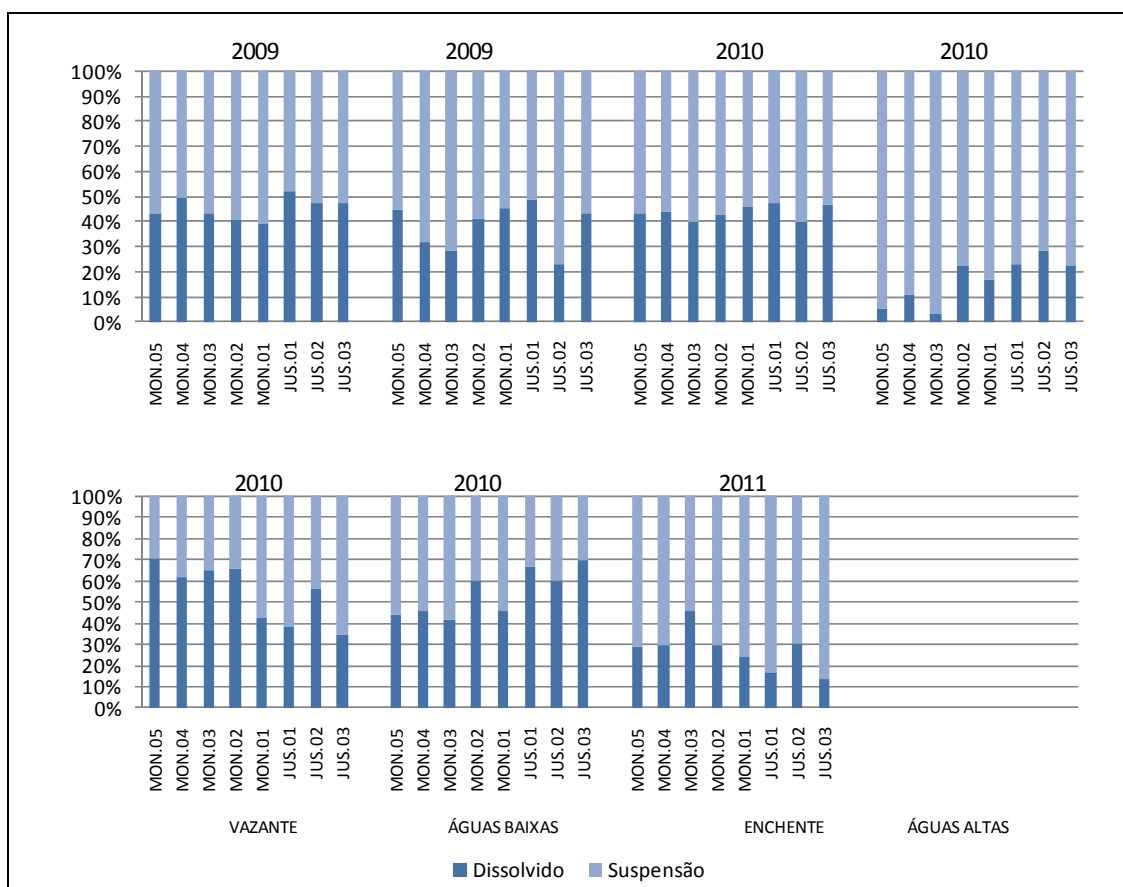


Figura 5.1-32 - Composição dos sólidos totais quanto ao tamanho da partícula no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

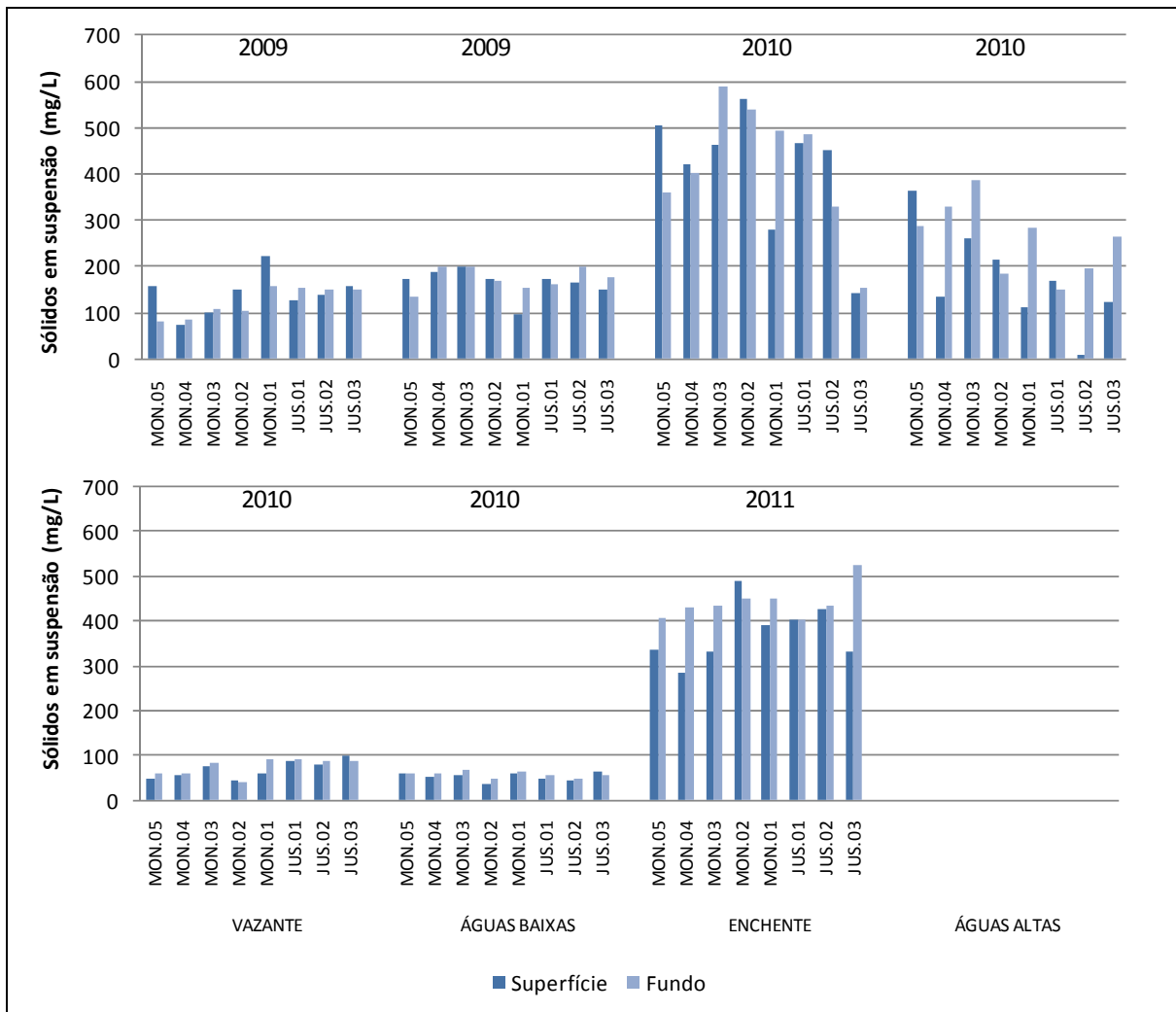


Figura 5.1-33 - Concentrações de Sólidos em suspensão no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

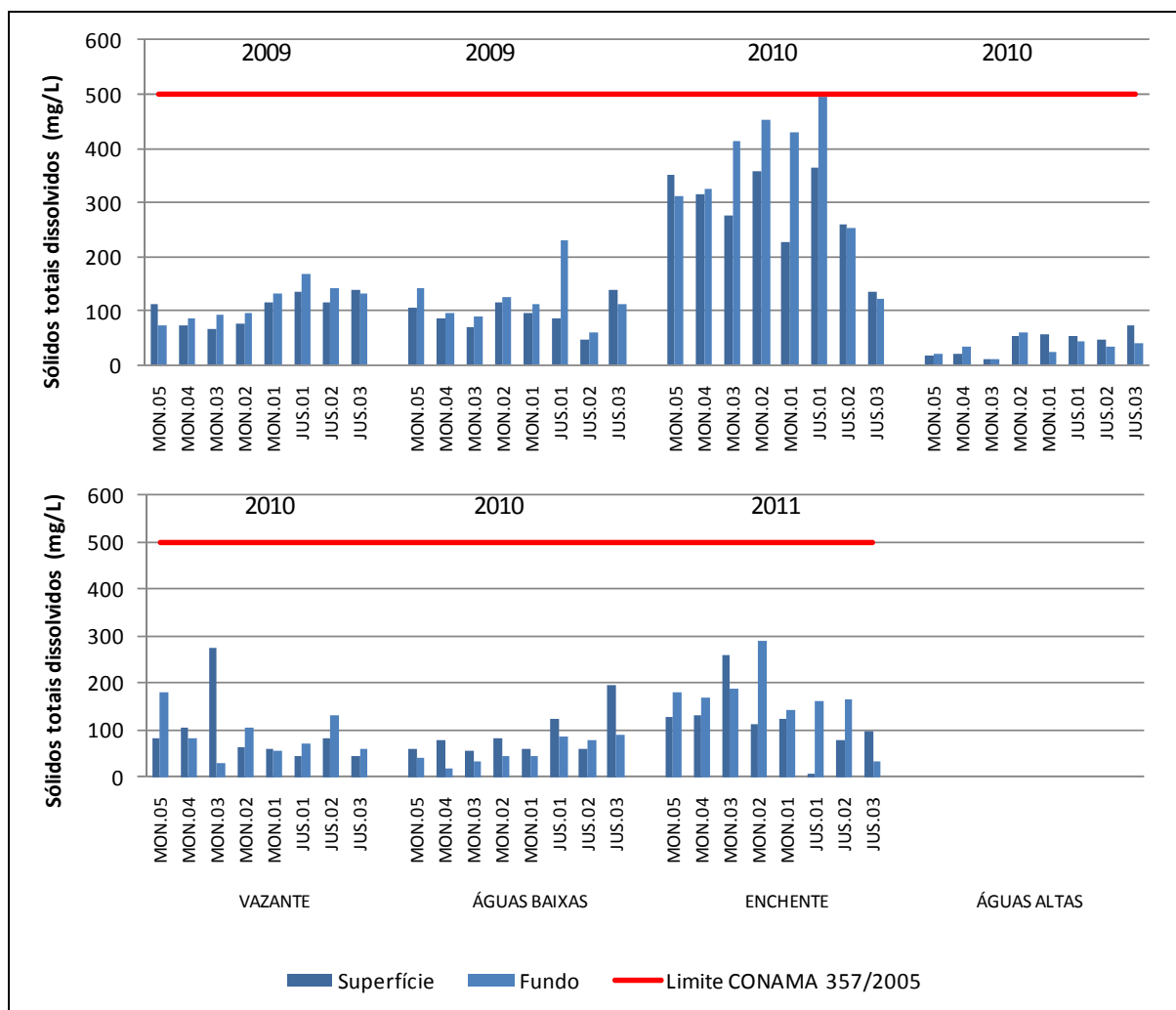


Figura 5.1-34 - Concentrações de Sólidos totais dissolvidos no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

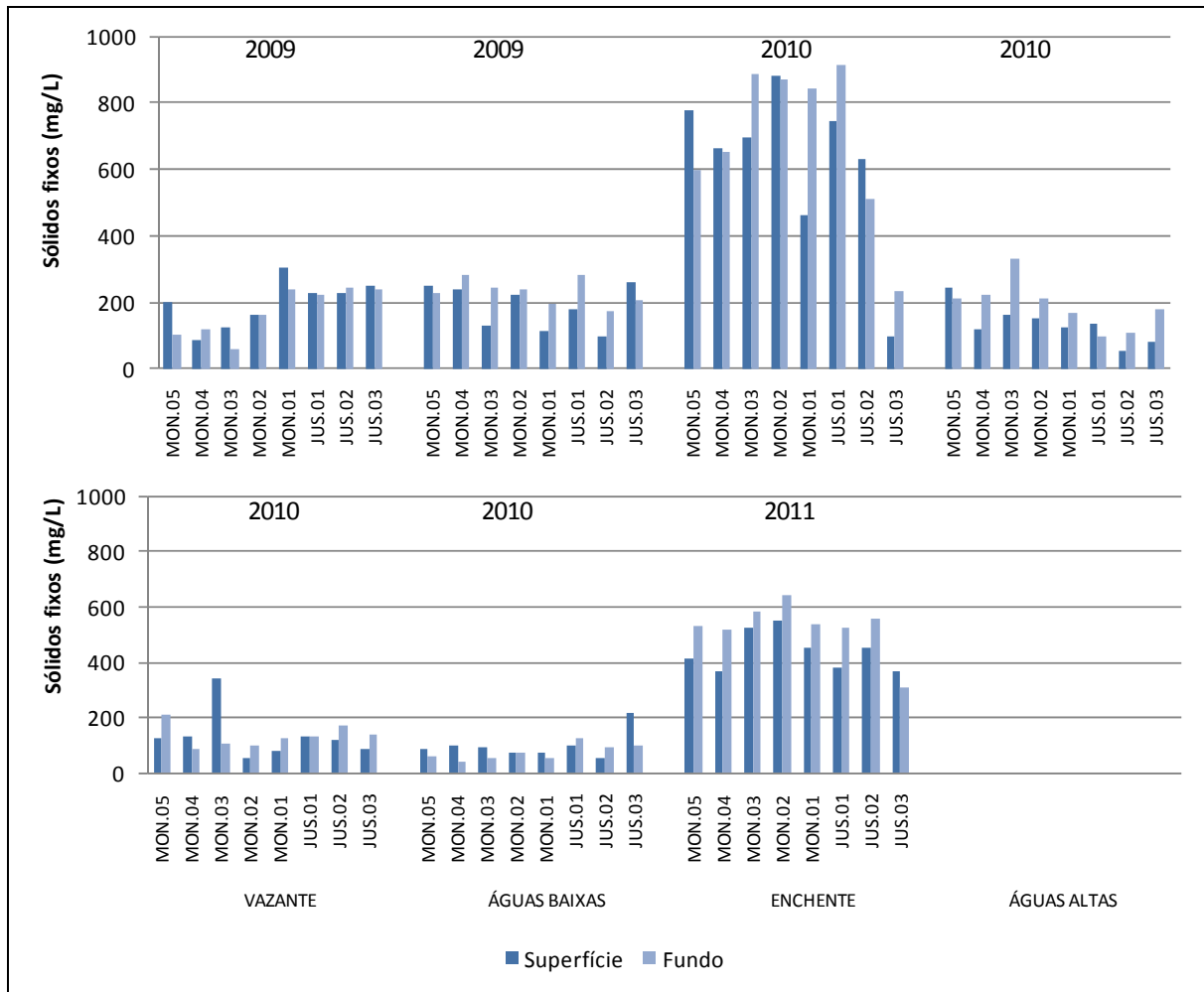


Figura 5.1-35 - Concentrações de Sólidos fixos no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

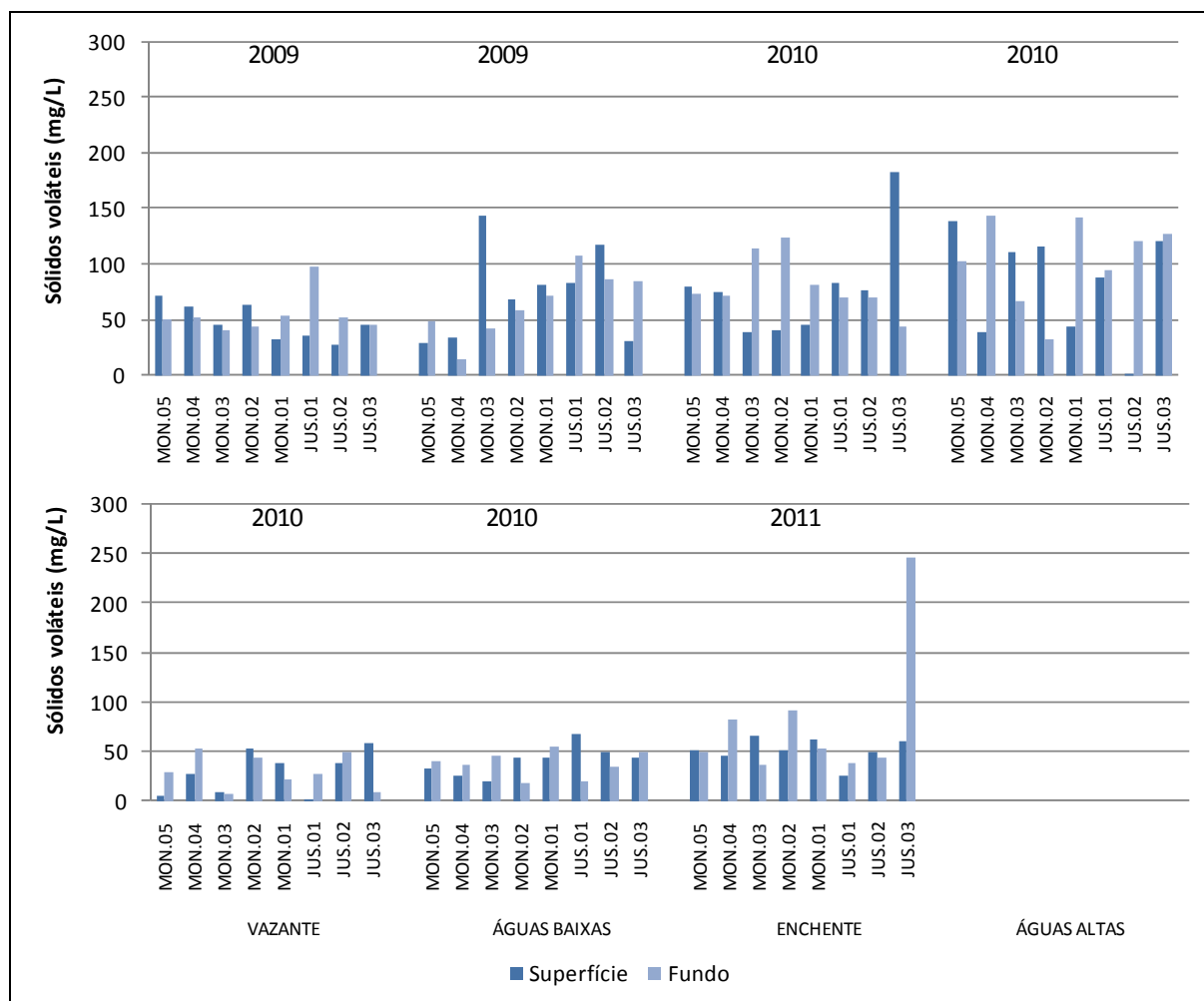


Figura 5.1-36 - Concentrações de Sólidos voláteis no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

As concentrações de sólidos nos tributários foram bastante inferiores às encontradas no rio Madeira. Os sólidos totais apresentaram média global de  $122 \pm 166$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $30 \pm 21$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo. As concentrações médias dos períodos oscilaram entre  $25 \pm 20$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 e  $270 \pm 327$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010 (Figura 5.1-37). Os valores médios de sólidos em suspensão oscilaram entre  $23 \pm 11$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $164 \pm 228$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010, sendo a média global igual a  $71 \pm 120$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-39). Já os sólidos totais dissolvidos apresentaram média global de  $50 \pm 82$  mg/L (média  $\pm$  DP). Os valores médios de sólidos totais dissolvidos nos períodos oscilaram entre  $13 \pm 18$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 e  $106 \pm 194$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010 (Figura 5.1-40). Os resultados mostram

que houve certa equivalência na composição dos sólidos totais em relação ao tamanho das partículas, com discreto pendor para os sólidos em suspensão, que responderam por 59% do total (Figura 5.1-38). Em relação à volatilidade, a fração fixa foi a predominante, representando 72% dos sólidos totais. As concentrações médias de sólidos fixos oscilaram entre  $11 \pm 10$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 e  $254 \pm 321$  mg/L (média  $\pm$  DP) vazante de 2010. O valor médio global foi de  $88 \pm 158$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-41). Já a fração volátil apresentou média global de  $33 \pm 34$  mg/L (média  $\pm$  DP). Os valores de sólidos voláteis variaram entre  $14 \pm 11$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 e  $65 \pm 66$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 (Figura 5.1-42). As concentrações das diferentes frações de sólidos variaram bastante tanto espacialmente como sazonalmente, sendo que nenhum padrão de distribuição pôde ser observado. As altas concentrações de sólidos nas estações BEL e JAT II na enchente podem ser consequência da forte influência do pulso de inundação do rio Madeira nesse período.

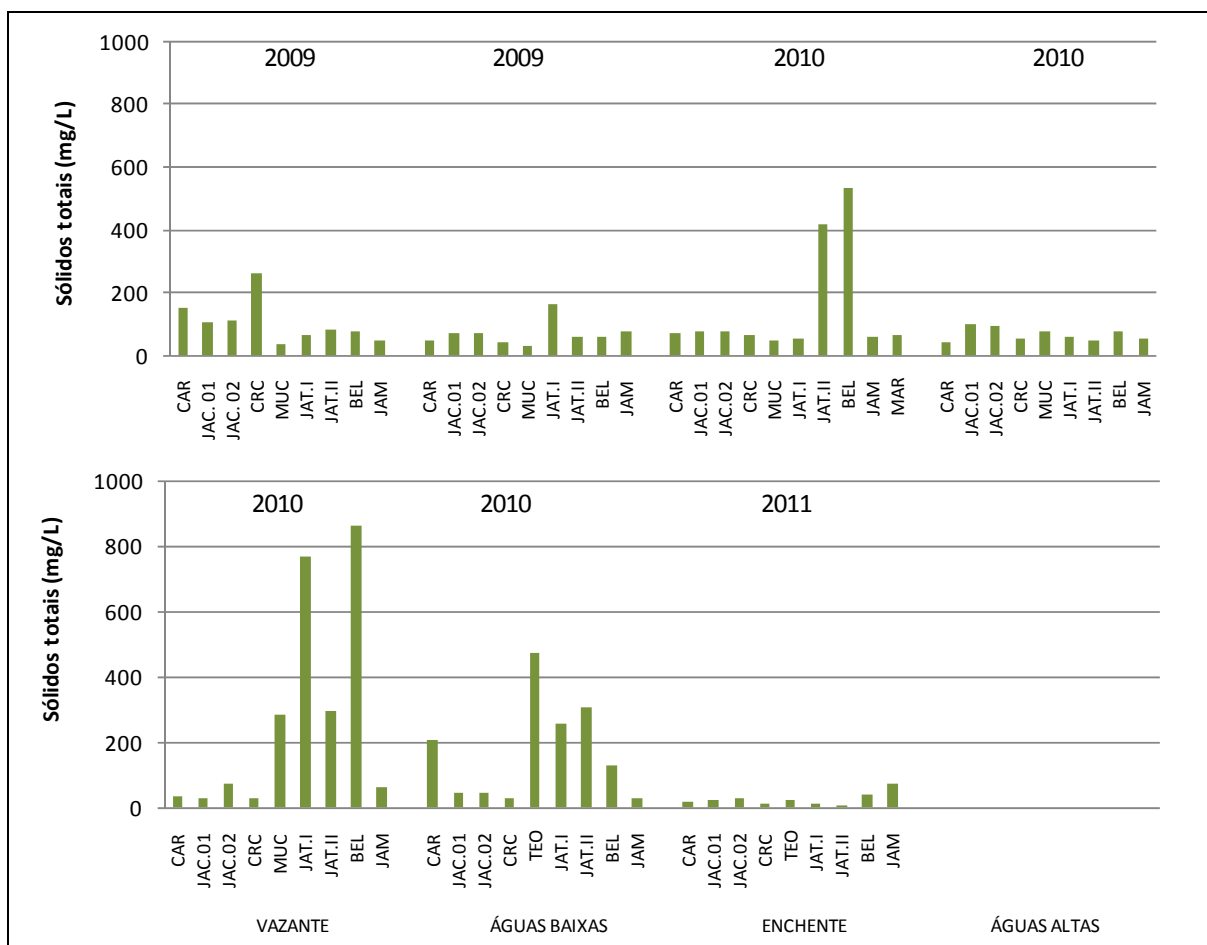


Figura 5.1-37 - Concentrações de sólidos totais nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

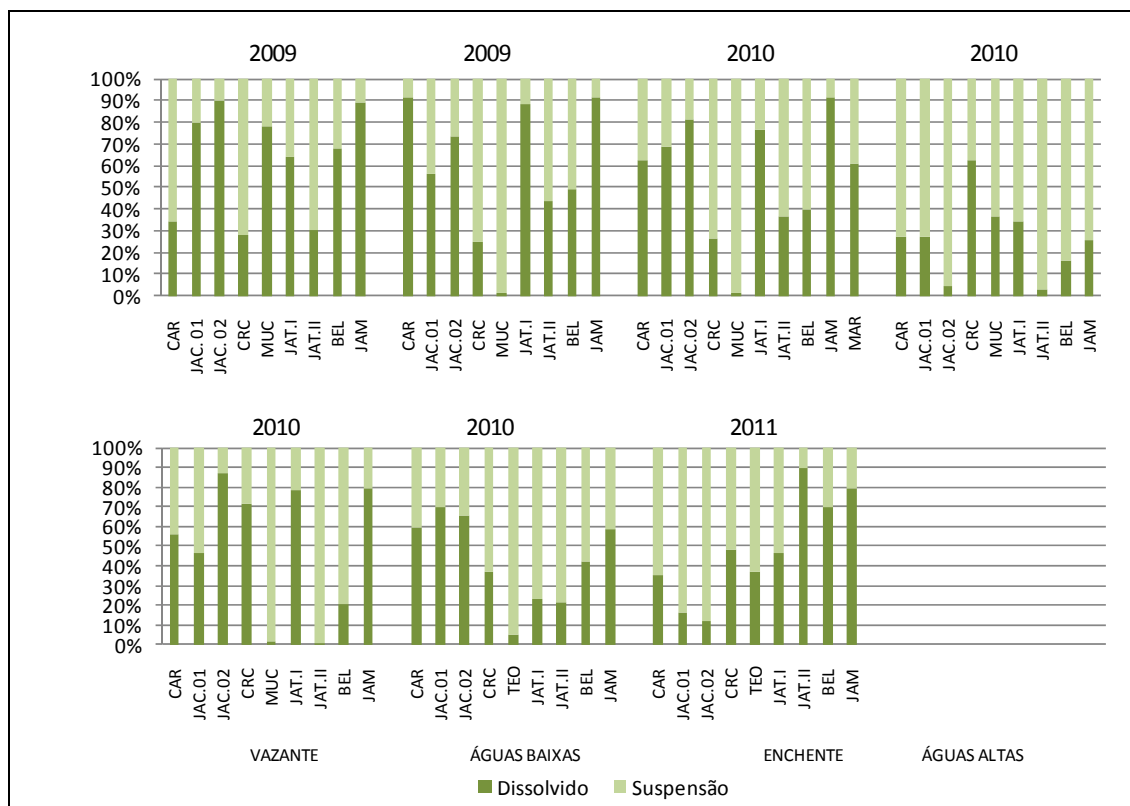


Figura 5.1-38 - Composição dos sólidos totais quanto ao tamanho da partícula nos rios tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



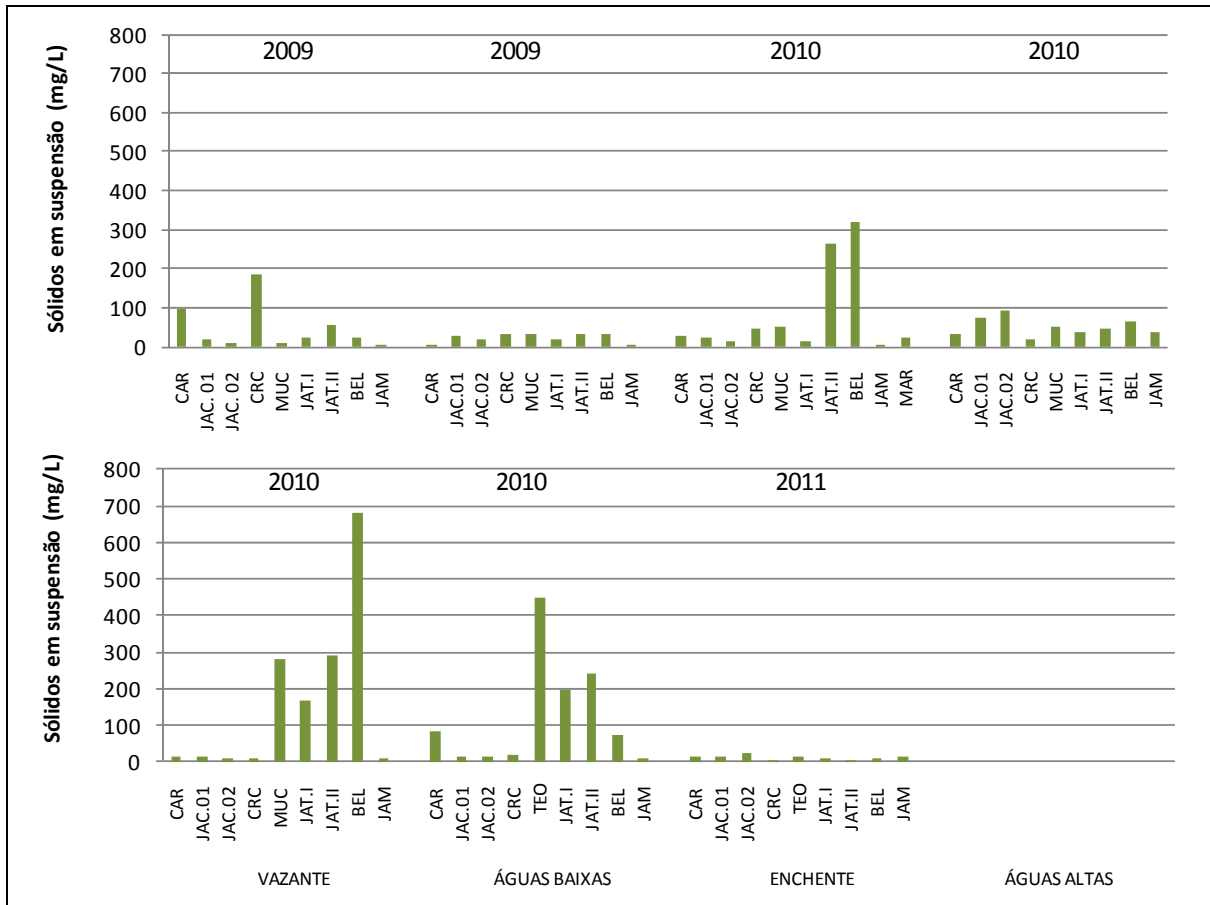


Figura 5.1-39 - Concentrações de sólidos em suspensão nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

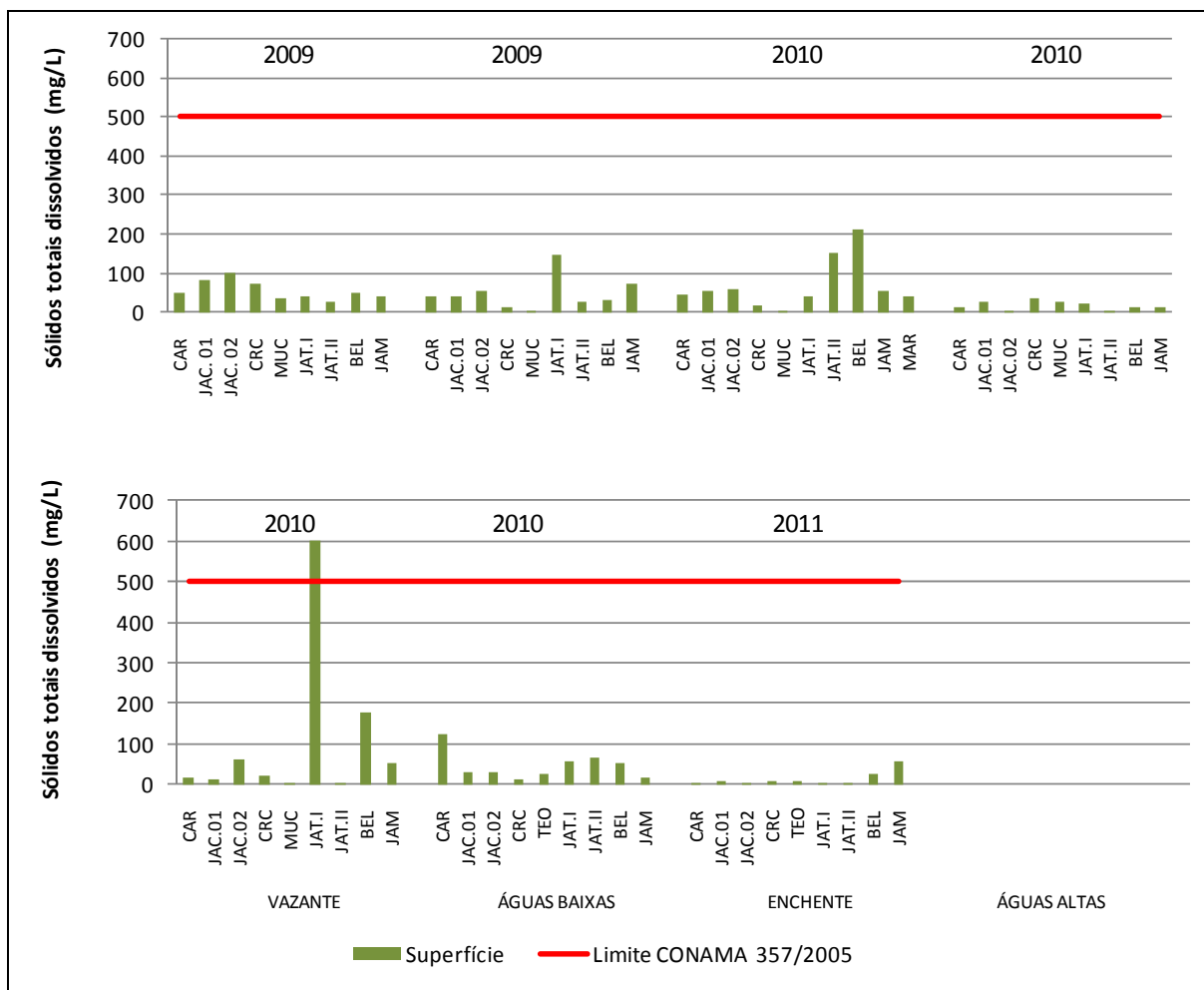


Figura 5.1-40 - Concentrações de sólidos totais dissolvidos nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

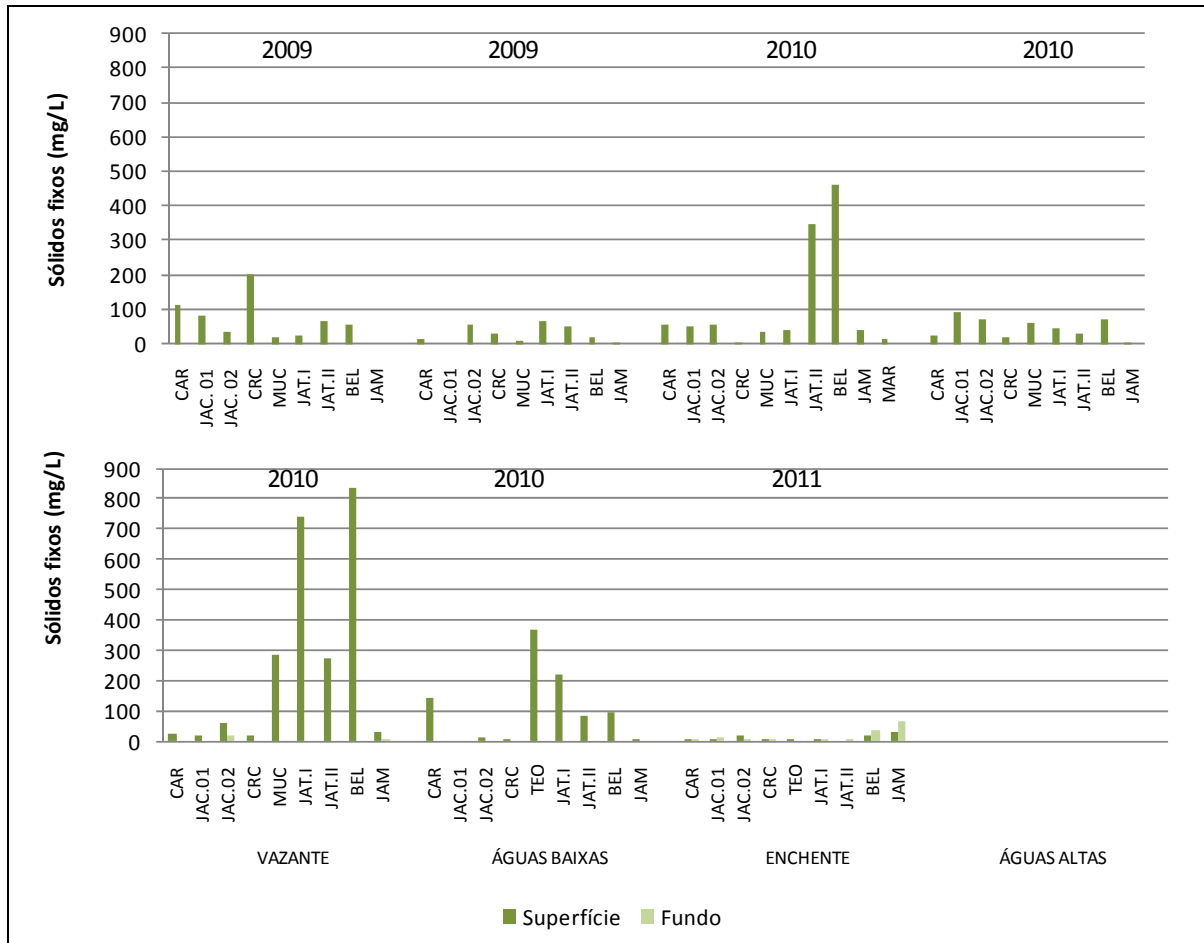


Figura 5.1-41 - Concentrações de sólidos fixos nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

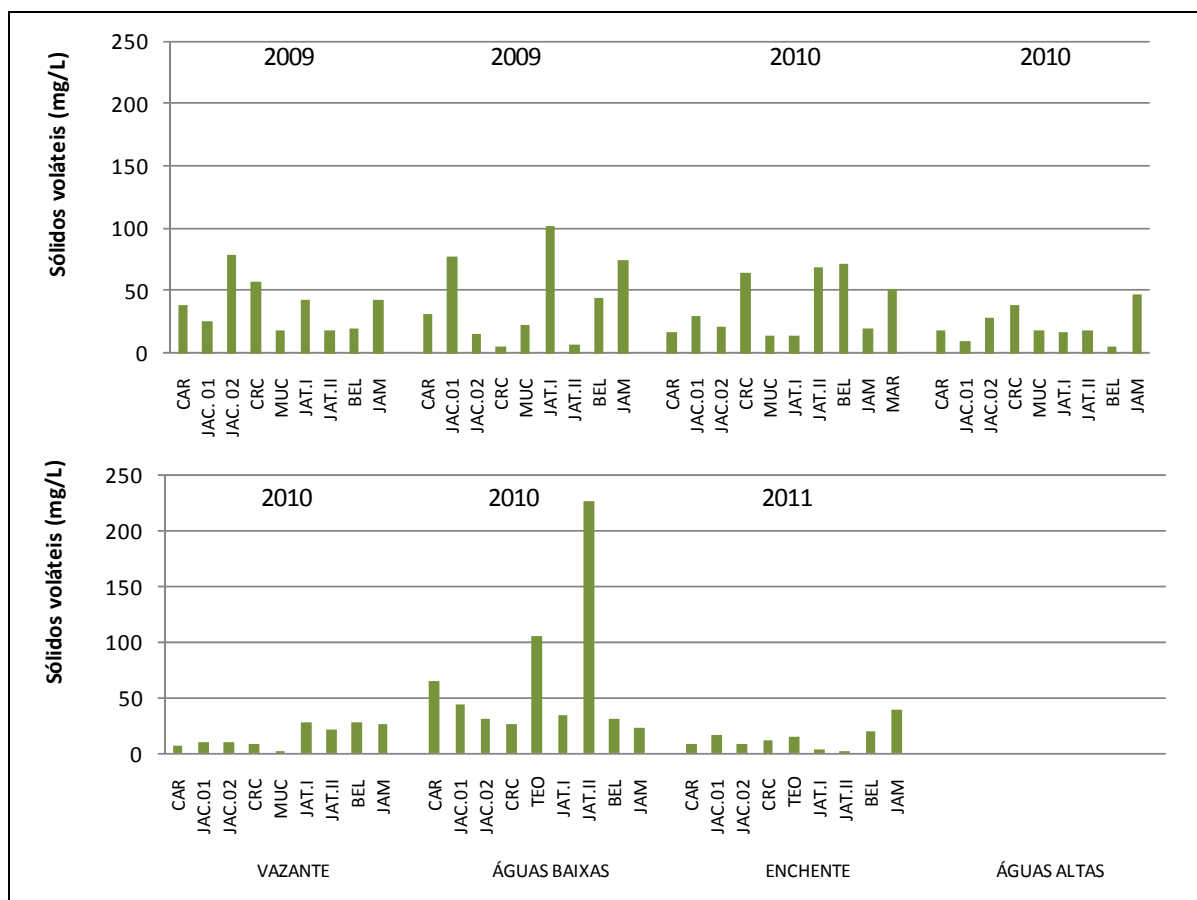


Figura 5.1-42 - Concentrações de sólidos voláteis nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Entre os sistemas amostrados, os lagos e canais apresentaram as menores concentrações de sólidos. 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  $81 \pm 65$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $75 \pm 52$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo. Os valores médios oscilaram entre  $26 \pm 24$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009 e  $138 \pm 117$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 (Figura 5.1-43). A estação CC.01 destacou-se nos períodos em que foi amostrada, o que pode estar relacionado ao pulso de inundação do rio Madeira. Os sólidos em suspensão apresentaram média global de  $46 \pm 53$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $41 \pm 45$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo. Os valores de sólidos em suspensão oscilaram entre  $8 \pm 7$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009 e  $94 \pm 106$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 (Figura 5.1-44). Já os sólidos totais dissolvidos variaram de  $11 \pm 9$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 a  $51 \pm$

49 mg/L (média ± DP) na vazante de 2010, com valor médio global de 35 ± 33 mg/L (média ± DP) para superfície e 45 ± 36 mg/L (média ± DP) para o fundo (Figura 5.1-45). A fração suspensa foi geralmente a mais comum, tendo respondido por 59% do total (Figura 5.1-46). Houve equivalência na relação sólidos fixos/sólidos voláteis nos lagos e canais, com discreta tendência para os sólidos fixos, que representaram, em média, 58% do total. As concentrações médias de sólidos fixos oscilaram entre 6 ± 10 mg/L (média ± DP) na vazante de 2009 e 77 ± 81 mg/L (média ± DP) nas águas baixas de 2010, com valor médio global de 42 ± 45 mg/L (média ± DP) para a superfície e 49 ± 49 mg/L (média ± DP) para o fundo (Figura 5.1-47). Os sólidos voláteis apresentaram média global de 39 ± 32 mg/L (média ± DP), com oscilação dos valores médios entre 19 ± 15 mg/L (média ± DP) na vazante de 2009 e 61 ± 48 mg/L (média ± DP) nas águas baixas de 2010 (Figura 5.1-48).

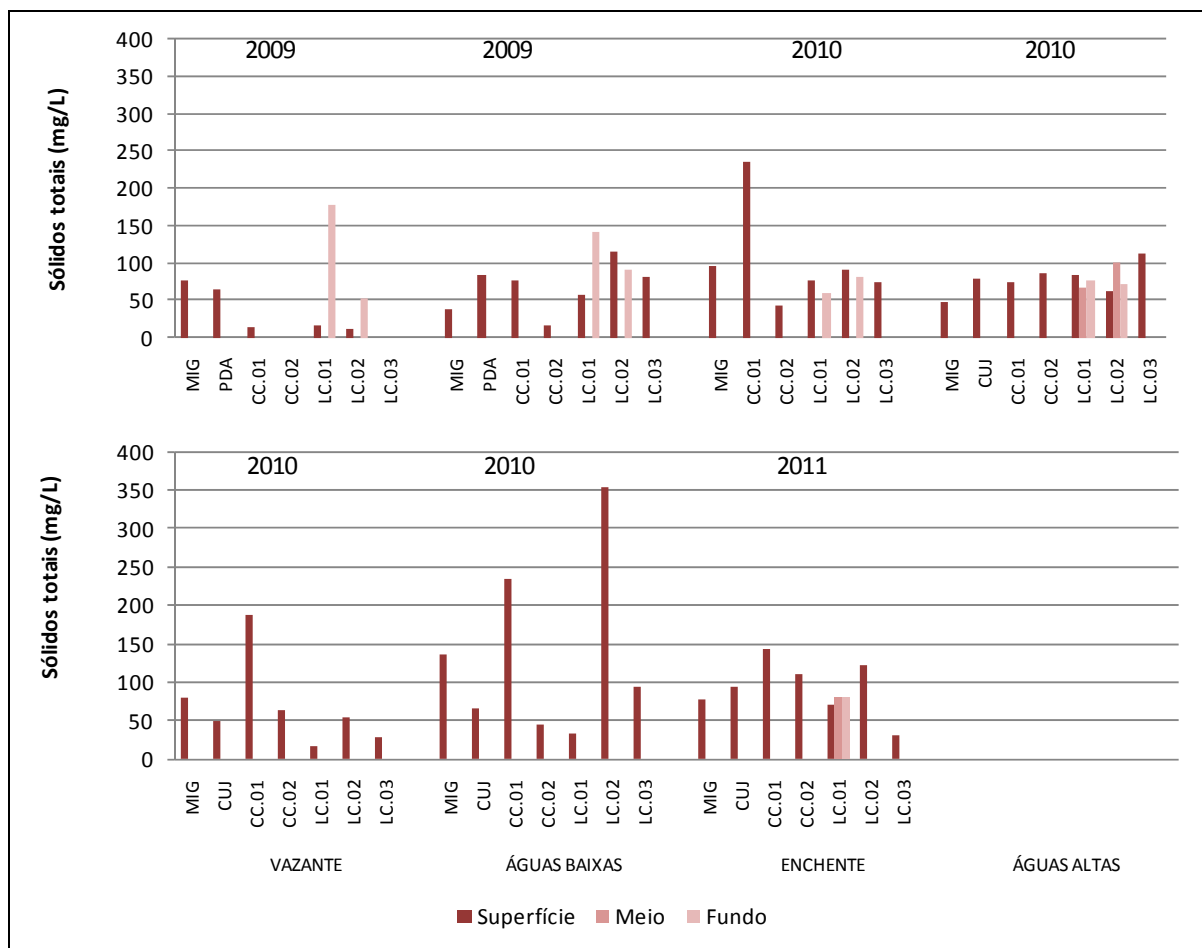


Figura 5.1-43 - Concentrações de sólidos totais nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

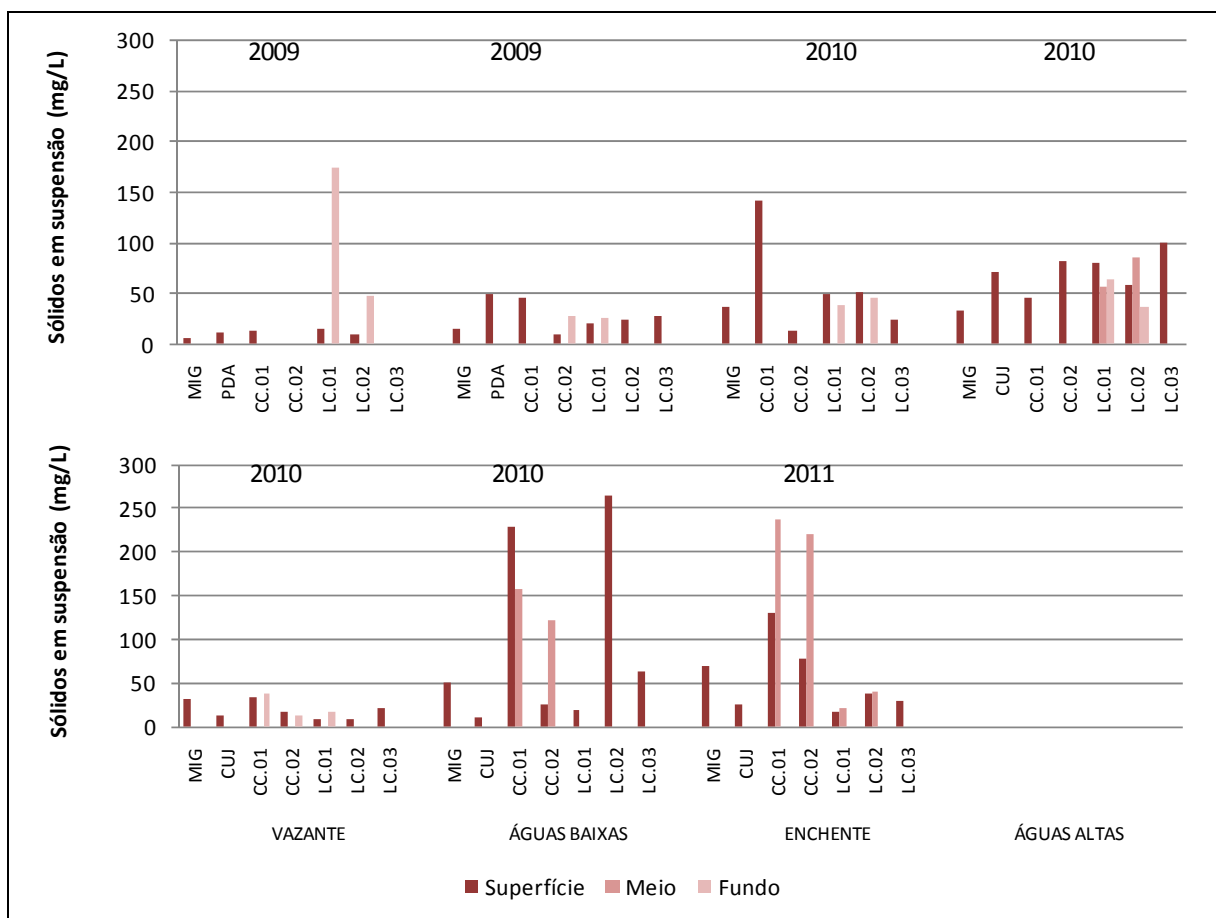


Figura 5.1-44 - Concentrações de sólidos em suspensão nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

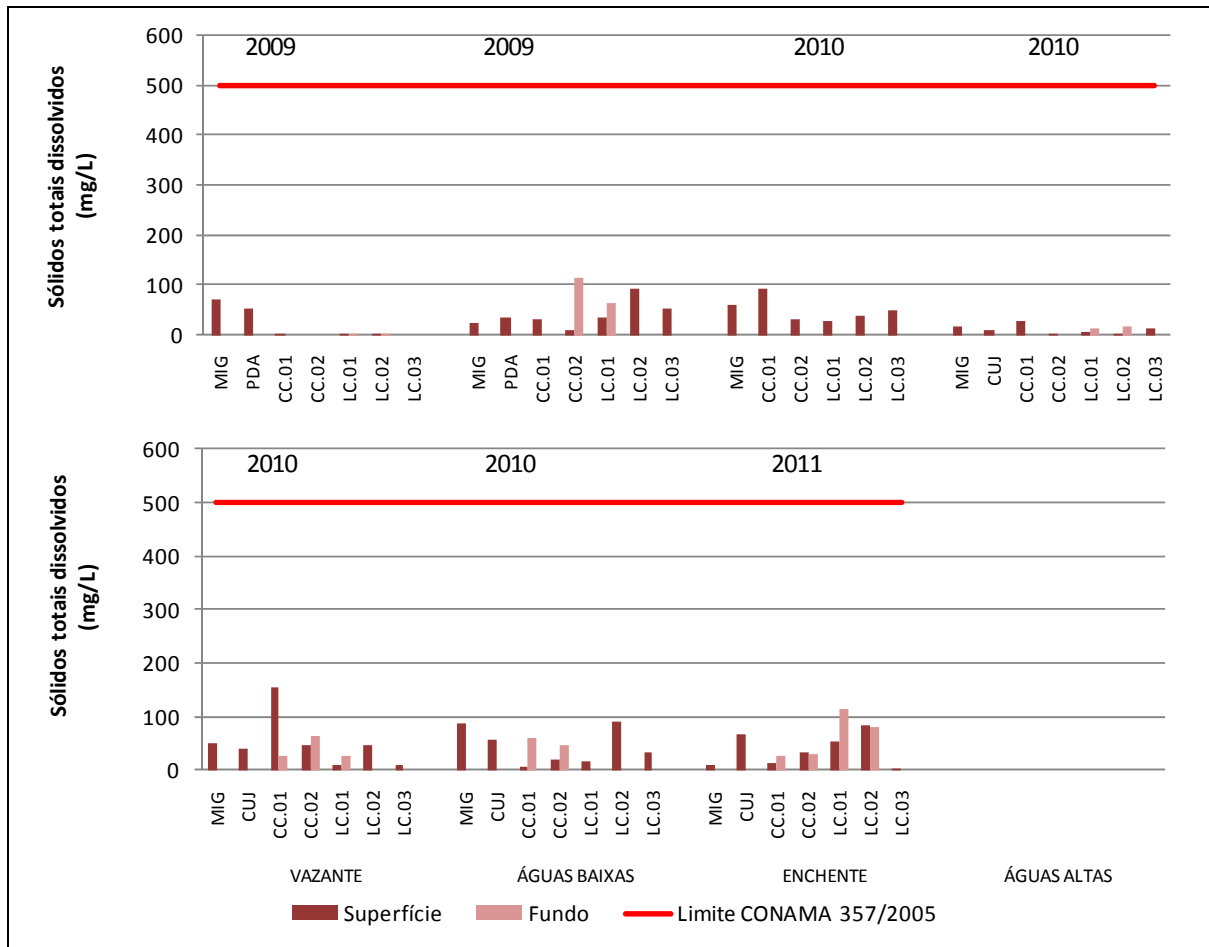


Figura 5.1-45 - Concentrações de sólidos totais dissolvidos nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

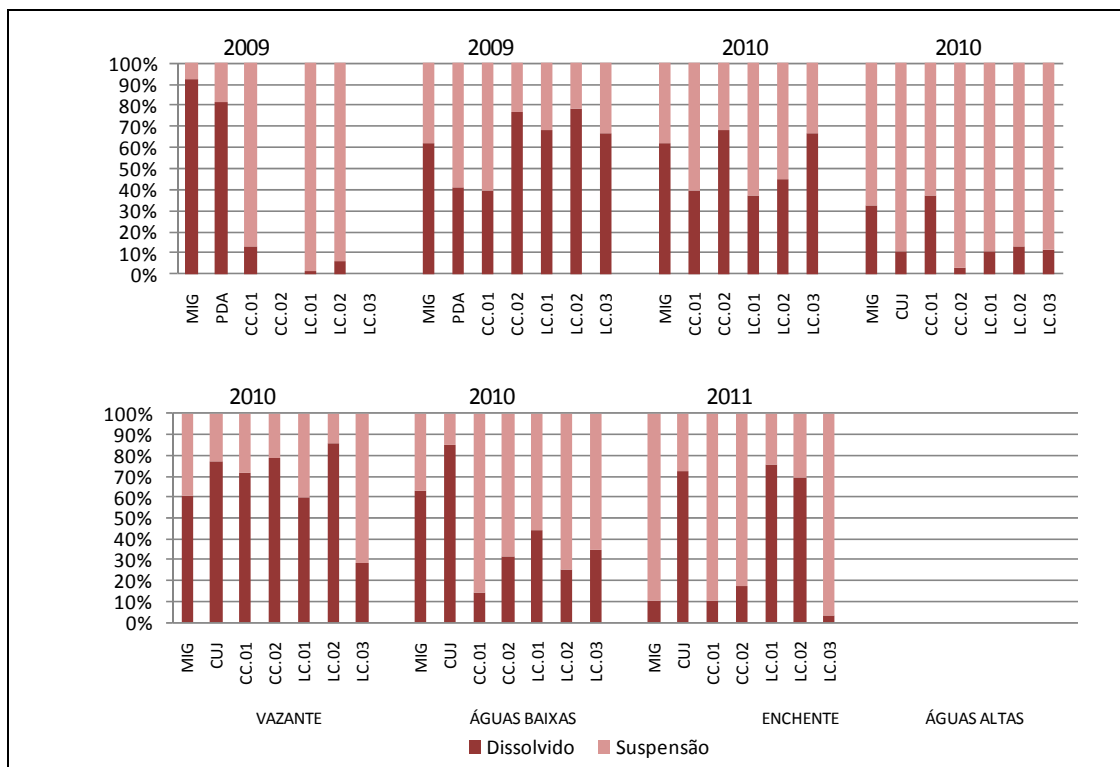


Figura 5.1-46 - Composição dos sólidos totais em relação ao tamanho da partícula nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



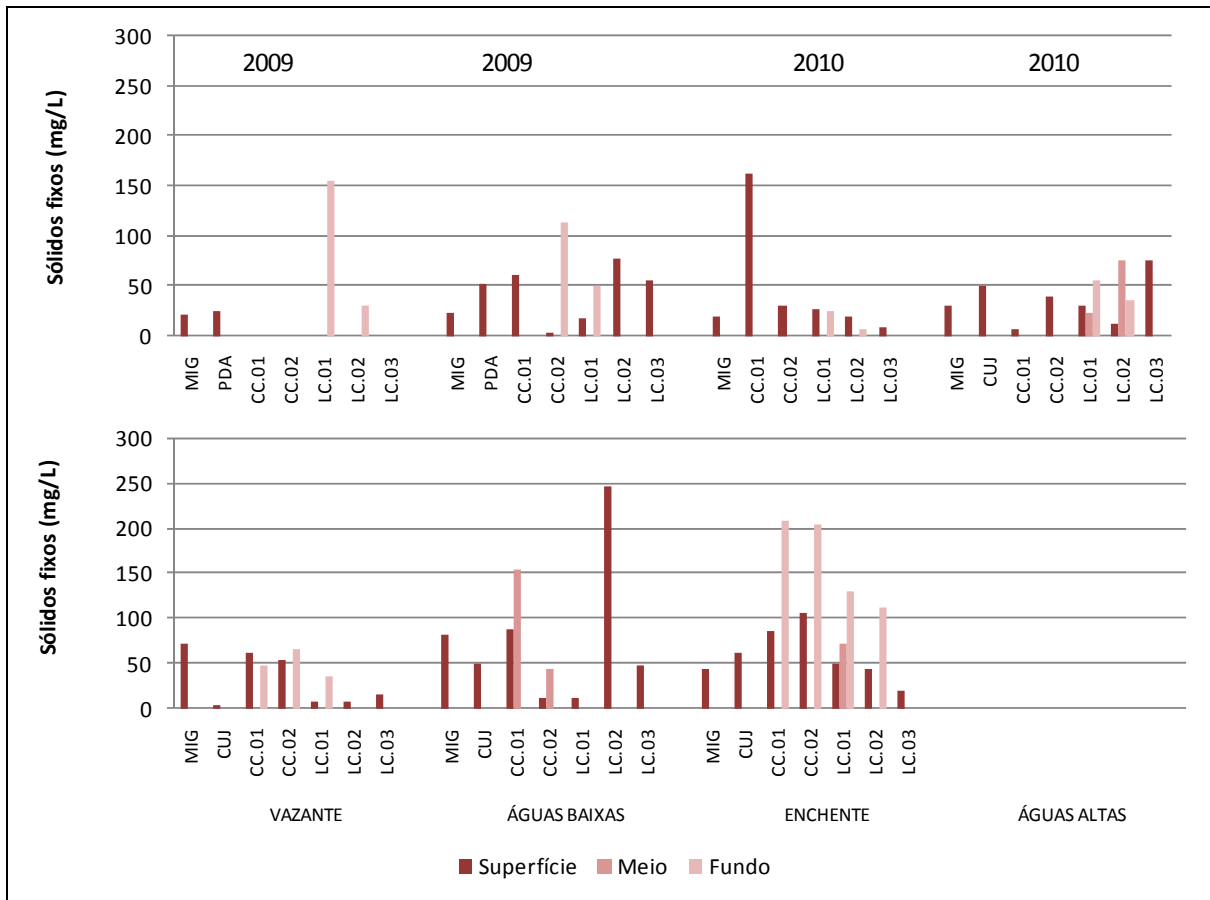


Figura 5.1-47 - Concentrações de sólidos fixos nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

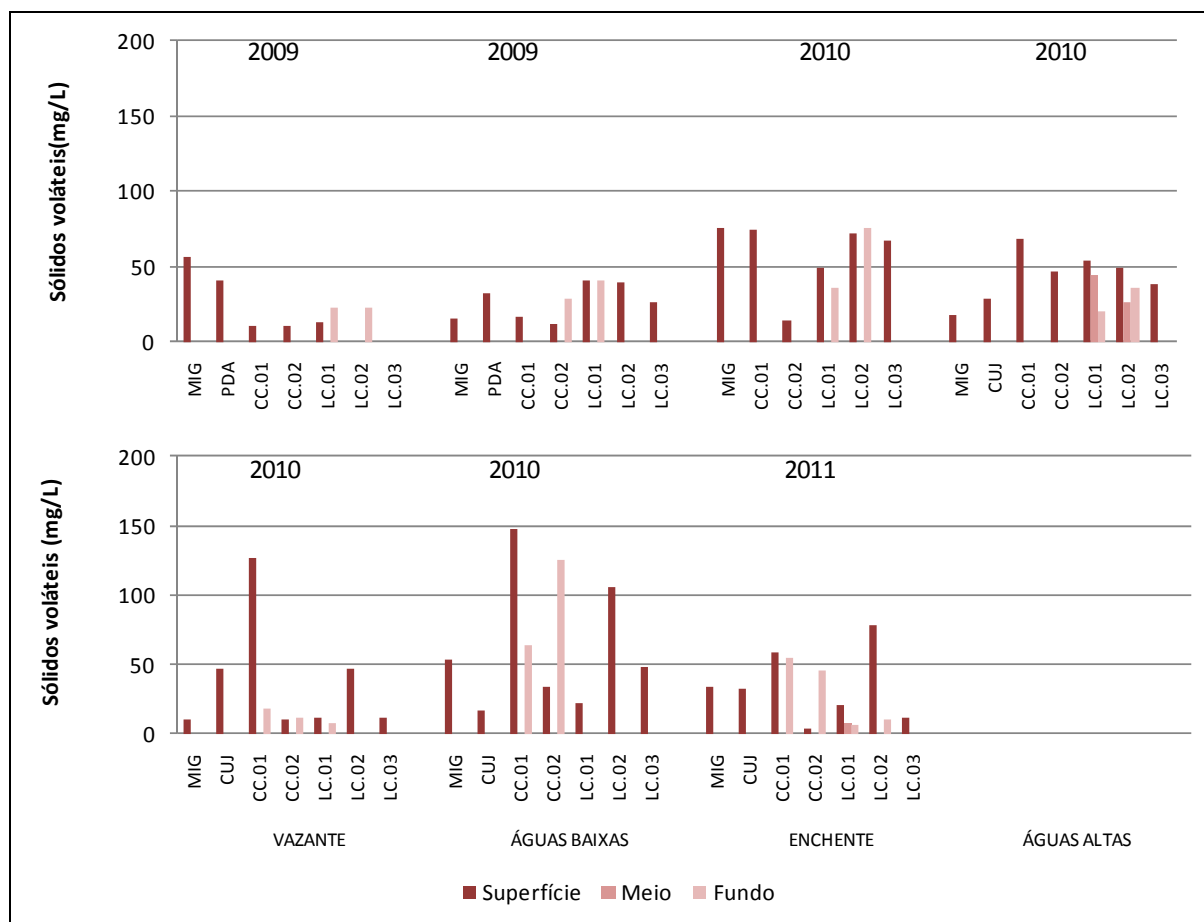


Figura 5.1-48 - Concentrações de sólidos voláteis nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Todos os valores de sólidos totais dissolvidos foram compatíveis com o limite de 500 mg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2, tanto nas amostras coletadas no rio Madeira, quanto nos tributários e nos lagos e canais. A única exceção foi a estação JAT I na vazante de 2010 que apresentou valor superior ao limite estabelecido por esta resolução. Ainda em relação aos dados de sólidos no rio Madeira é possível dizer que não existe diferença significativa entre os dados de montante e jusante do empreendimento.

### 5.1.1.3 - Físico-químicas

#### 5.1.1.3.1 - Condutividade elétrica

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

A condutividade no rio Madeira decresceu no sentido vazante-águas altas no primeiro ano de monitoramento (vazante de 2009 à águas altas de 2010. A média global foi de  $100 \pm 25 \mu\text{S}/\text{cm}$  (média  $\pm$  DP) tanto para a superfície quanto para o fundo, considerando todas as campanhas realizadas (**Figura 5.1-49**). A média global registrada no EIA/RIMA (2005) foi de  $73 \pm 7,7 \mu\text{S}/\text{cm}$ , valor bem próximo ao registrado no presente monitoramento (100 NTU). Os altos valores de condutividade do rio Madeira são característicos de sistemas amazônicos de águas brancas, como é o caso. Os perfis de condutividade ao longo da coluna d'água indicaram que não há diferença entre superfície e fundo (**Figura 5.1-50**). Somente a estação JUS.03 apresentou alguma diferenciação entre superfície e fundo, no período de enchente de 2010.

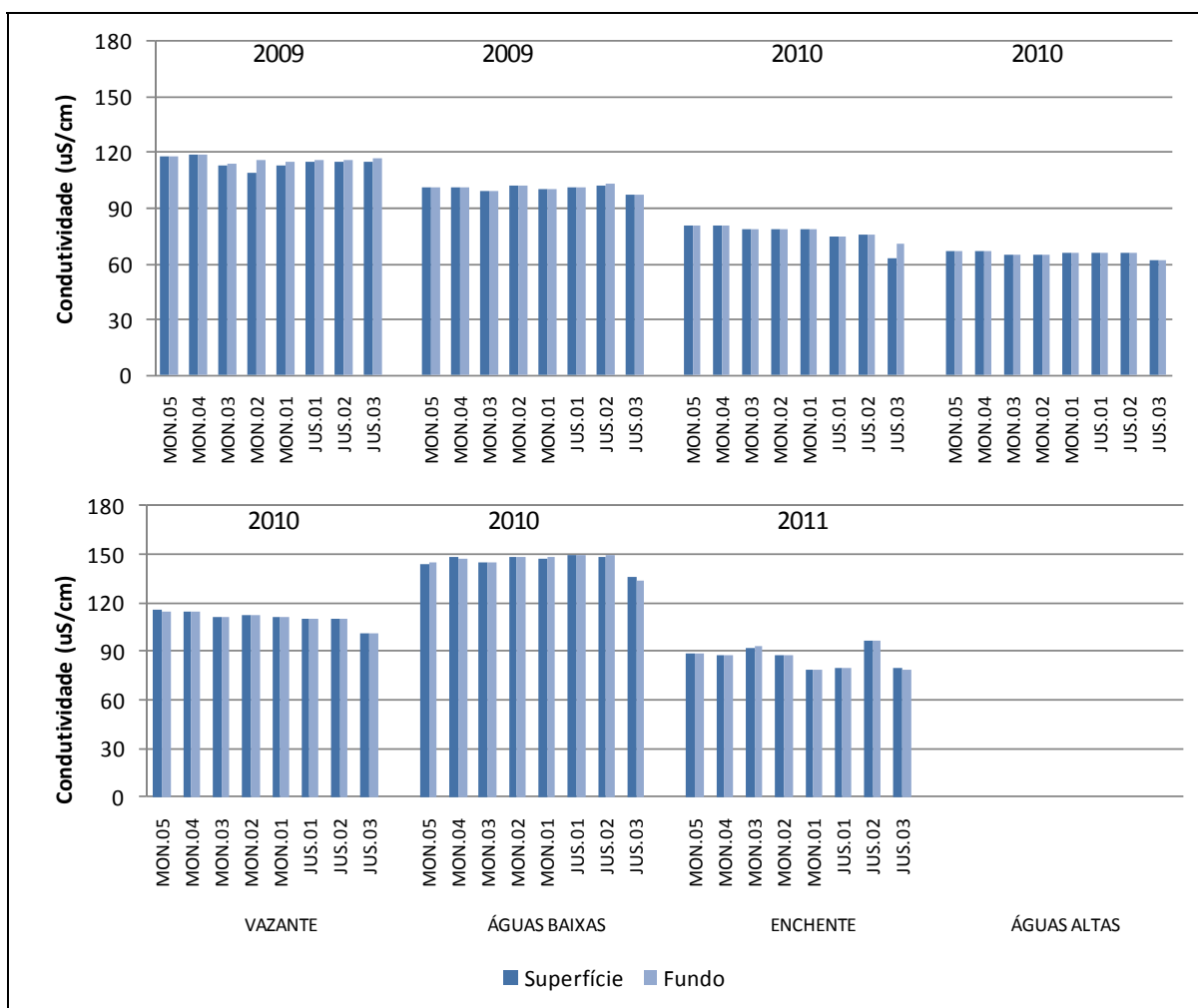


Figura 5.1-49 - Condutividade elétrica no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

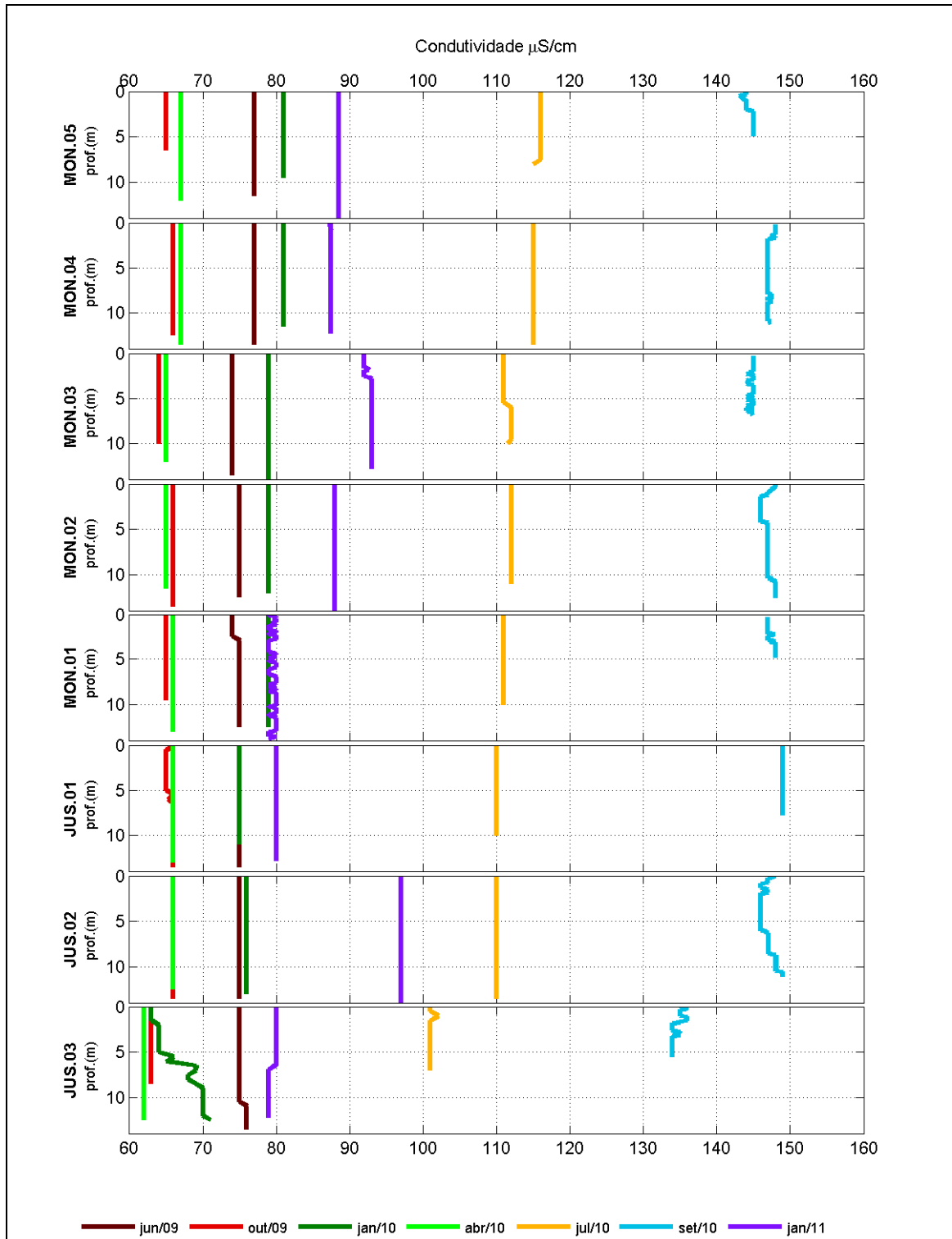


Figura 5.1-50 - Perfis de condutividade elétrica no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos tributários, a condutividade elétrica apresentou valores menores do que os encontrados no rio Madeira. A variação espacial foi sempre alta, mas com um padrão de variação constante, com a estação CAR sendo responsável pelos menores valores e a estação BEL responsável pelos maiores valores (Figura 5.1-51). A condutividade média global foi de  $19 \pm 16 \mu\text{S}/\text{cm}$  (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $18 \pm 15 \mu\text{S}/\text{cm}$  (média  $\pm$  DP) para o fundo. Os perfis de condutividade indicaram pouca variação vertical, com exceção da estação BEL, no igarapé Belmont, que apresentou diferenças significativas entre superfície e fundo (Figura 5.1-52).

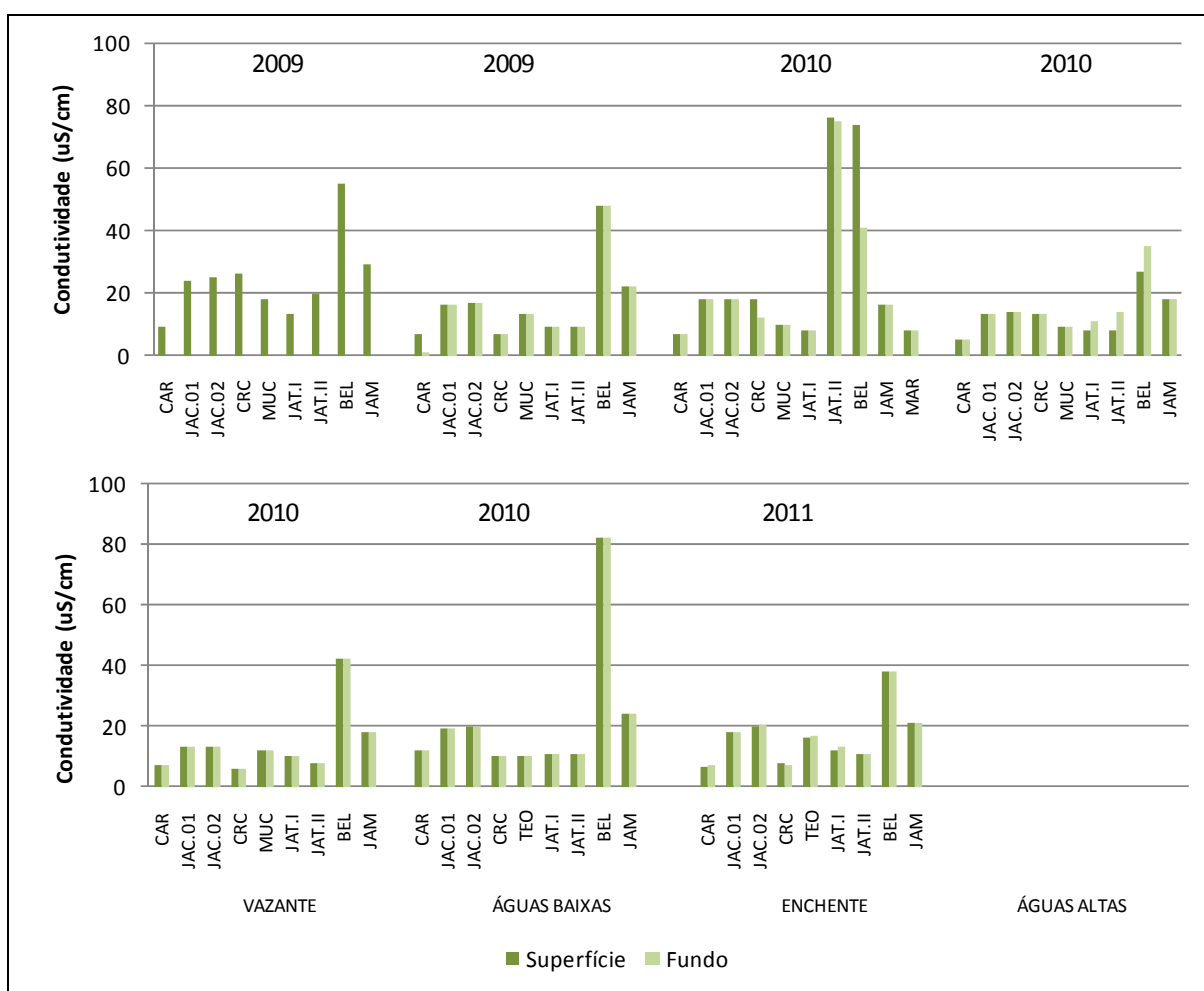


Figura 5.1-51 - Condutividade elétrica nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

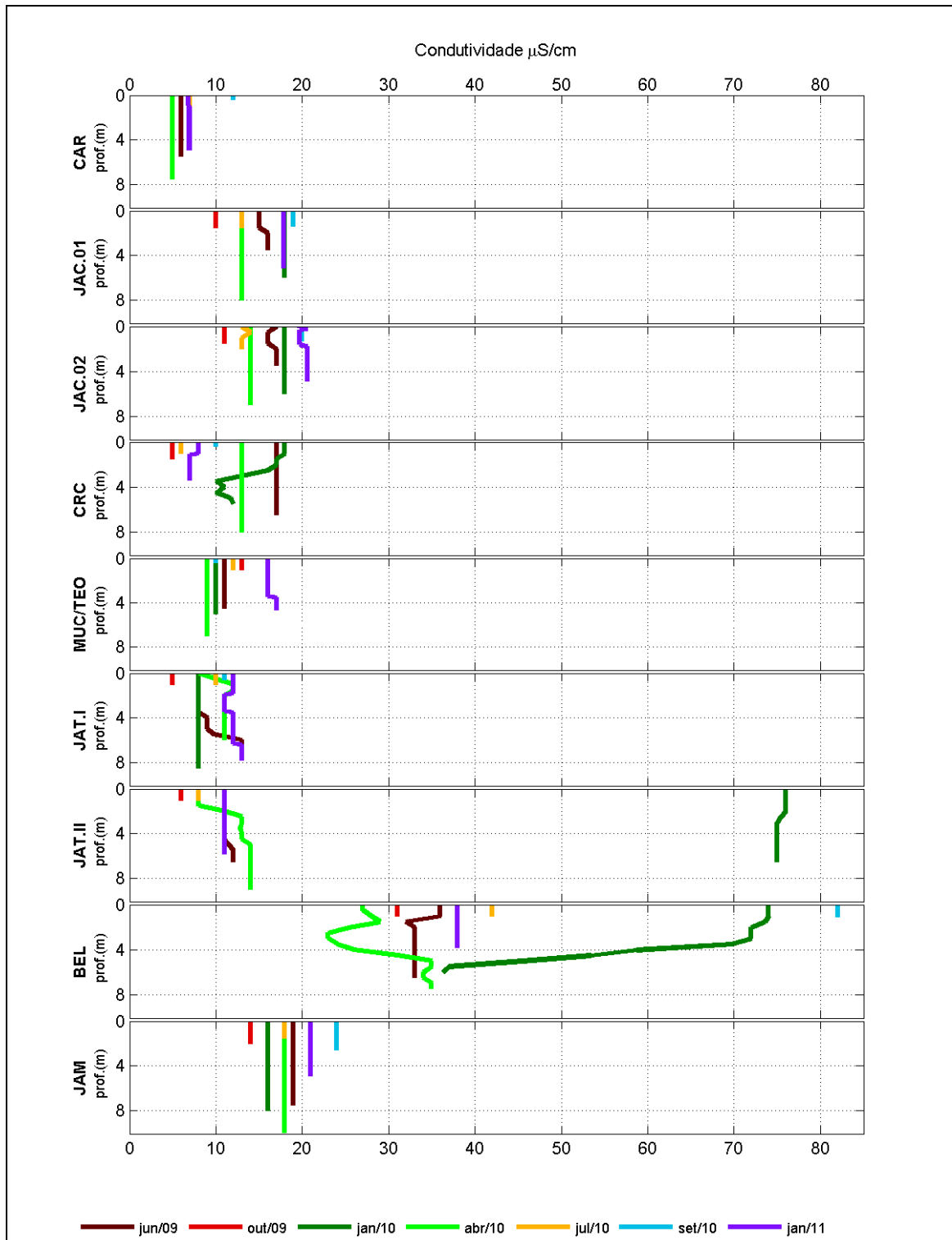


Figura 5.1-52 - Condutividade elétrica nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

A condutividade dos lagos e canais foi semelhante à dos tributários, com média global de  $26 \pm 23 \mu\text{S}/\text{cm}$  (média  $\pm$  DP) tanto para a superfície quanto para o fundo das estações. Os valores mais elevados foram registrados na enchente de 2009 e 2010, com respectivamente  $32 \pm 28 \mu\text{S}/\text{cm}$  (média  $\pm$  DP) e  $49 \pm 32 \mu\text{S}/\text{cm}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-53). Destacam-se as estações CC.01 e LC.02, que apresentaram, na maioria dos períodos amostrados, as maiores condutividades. Os perfis de condutividade elétrica ao longo da coluna d'água dos lagos e canais, diferentemente do rio Madeira e dos tributários, indicaram variação vertical dessa variável (Figura 5.1-54). A única exceção foi a estação CC.01, situada no canal de acesso ao lago Cuniã, que apresentou características muito semelhantes às do rio Madeira. As diferenças no perfil vertical são explicadas pelo fato de que lagos são considerados sistemas lênticos e apresentam tendência à estratificação da coluna d'água, ao contrário de rios.

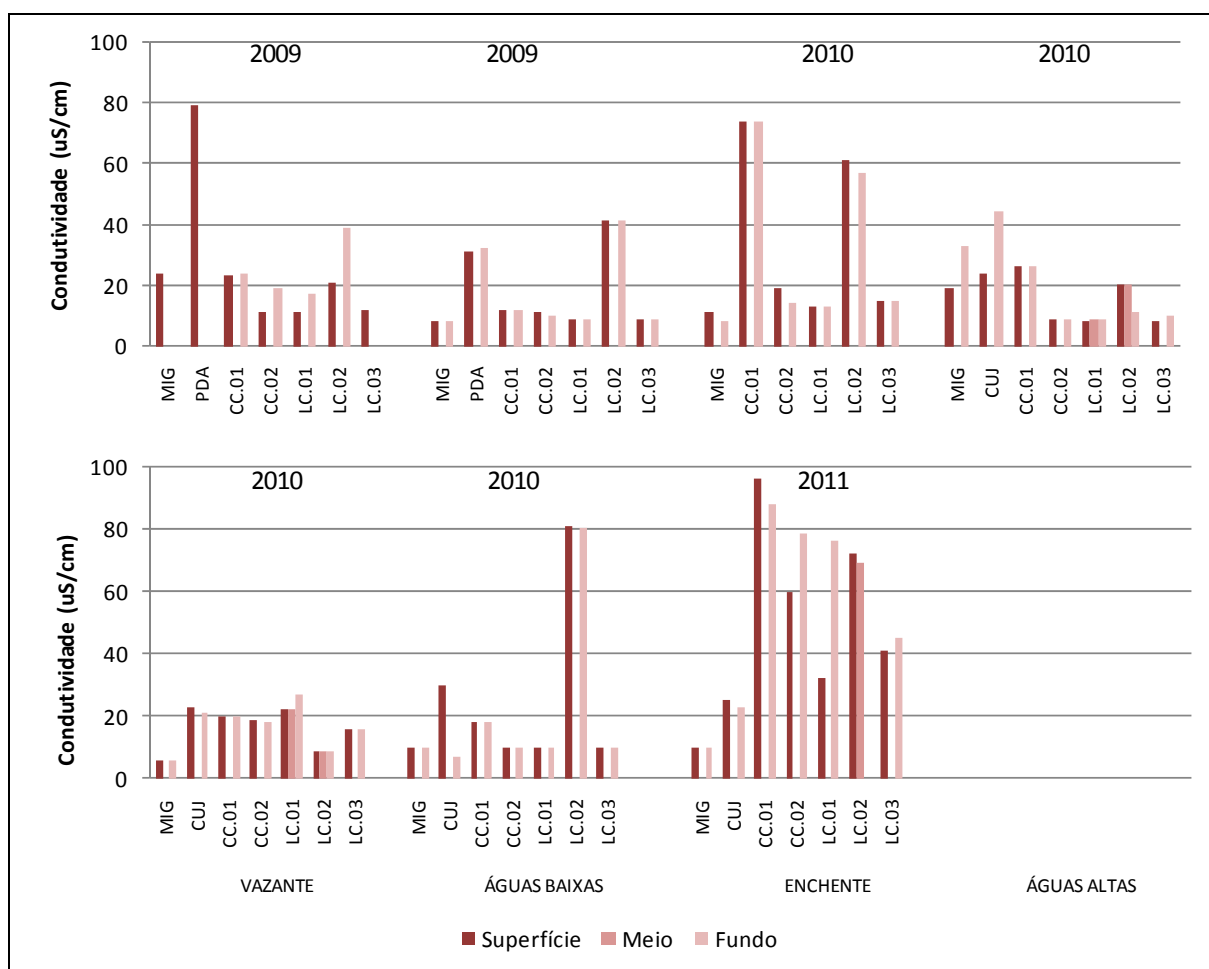


Figura 5.1-53 - Condutividade elétrica nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



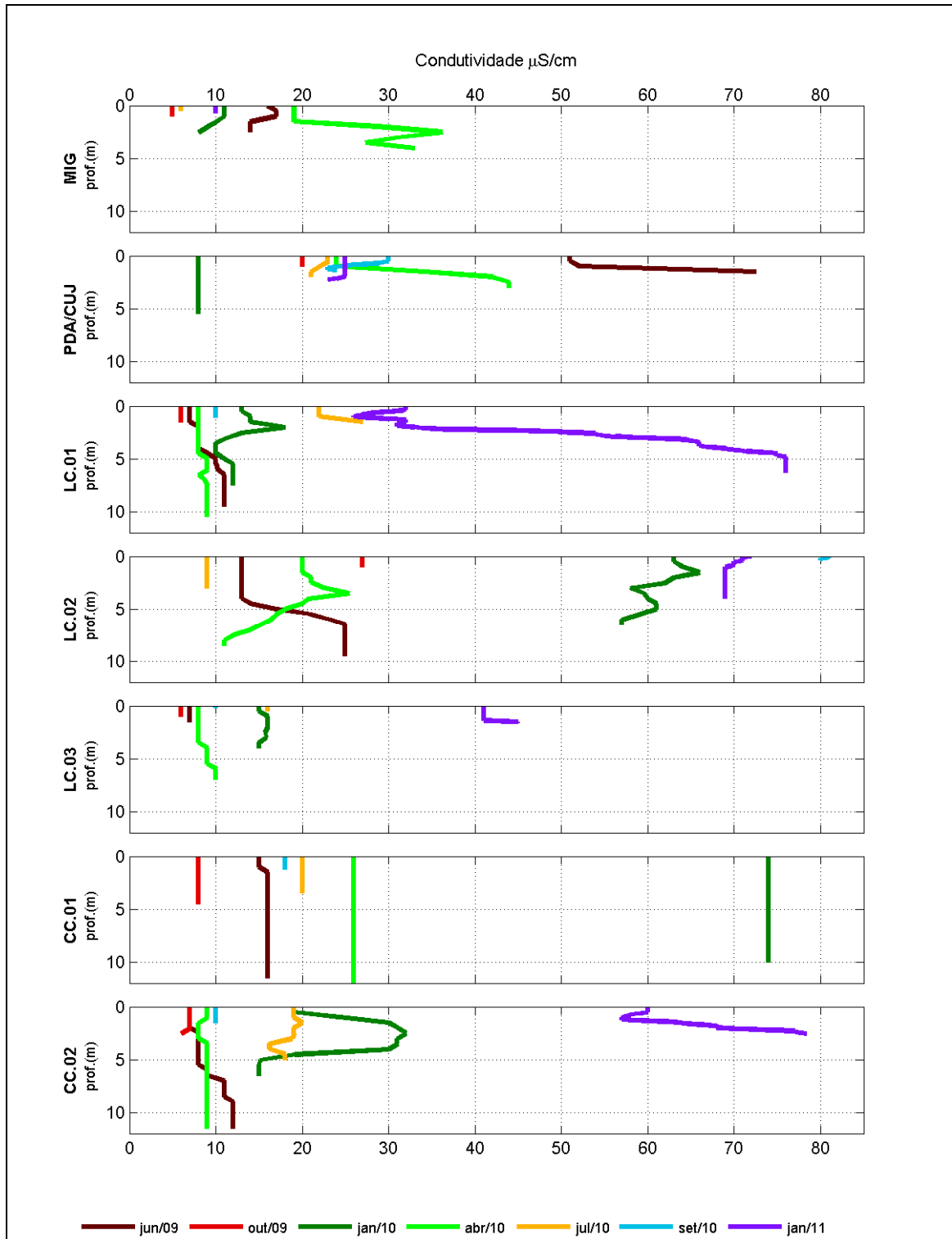


Figura 5.1-54 - Perfis de condutividade elétrica nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

### 5.1.1.3.2 - Potencial hidrogeniônico (pH) e Concentração molar [H<sup>+</sup>]

No rio Madeira o pH esteve próximo da neutralidade na maior parte do período estudado, com valores variando, geralmente, entre 6 e 8 (Figura 5.1-55). Desta forma, a variação espaço-temporal do pH foi pequena, de modo que a média global do período estudado foi  $7,2 \pm 0,5$  (média  $\pm$  DP), semelhante ao valor médio relatado no EIA -  $6,8 \pm 0,3$  (média  $\pm$  DP). O EIA relatou, ainda, maiores valores de pH nas águas baixas e na enchente, o que vai ao encontro dos resultados obtidos no presente estudo. O perfil de pH evidencia a pequena variação vertical desta variável nas estações amostradas, sendo que somente nas águas altas a variação foi um pouco mais pronunciada (Figura 5.1-57). A concentração molar, que é inversamente proporcional ao pH, foi maior nas águas altas de 2010, uma vez que o pH foi menor nesse período. A concentração molar média encontrada no rio Madeira foi de  $0,1 \pm 0,3 \mu\text{mol/L}$  (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $0,2 \pm 0,6 \mu\text{mol/L}$  (média  $\pm$  DP) para o fundo. O alto desvio padrão da média observado foi consequência das altas concentrações de H<sup>+</sup> nas águas altas (Figura 5.1-56).

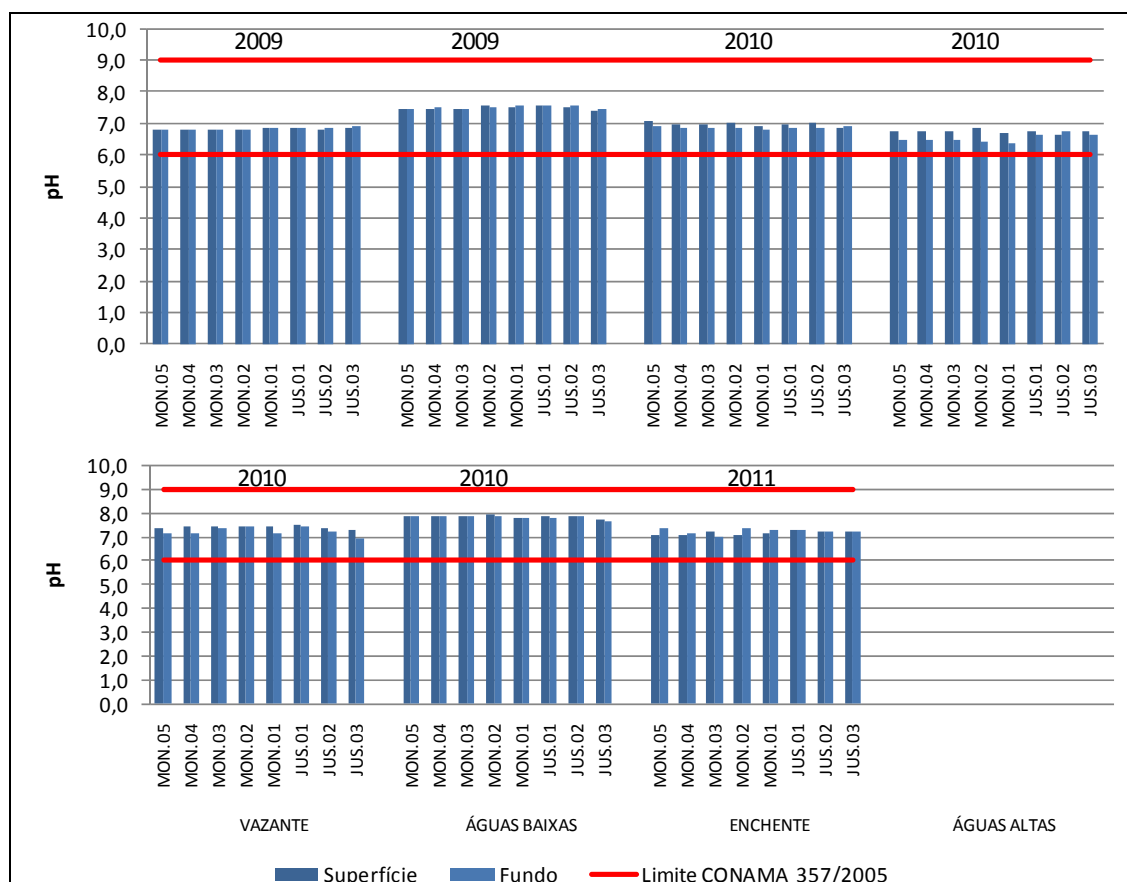


Figura 5.1-55 - Valores de pH no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

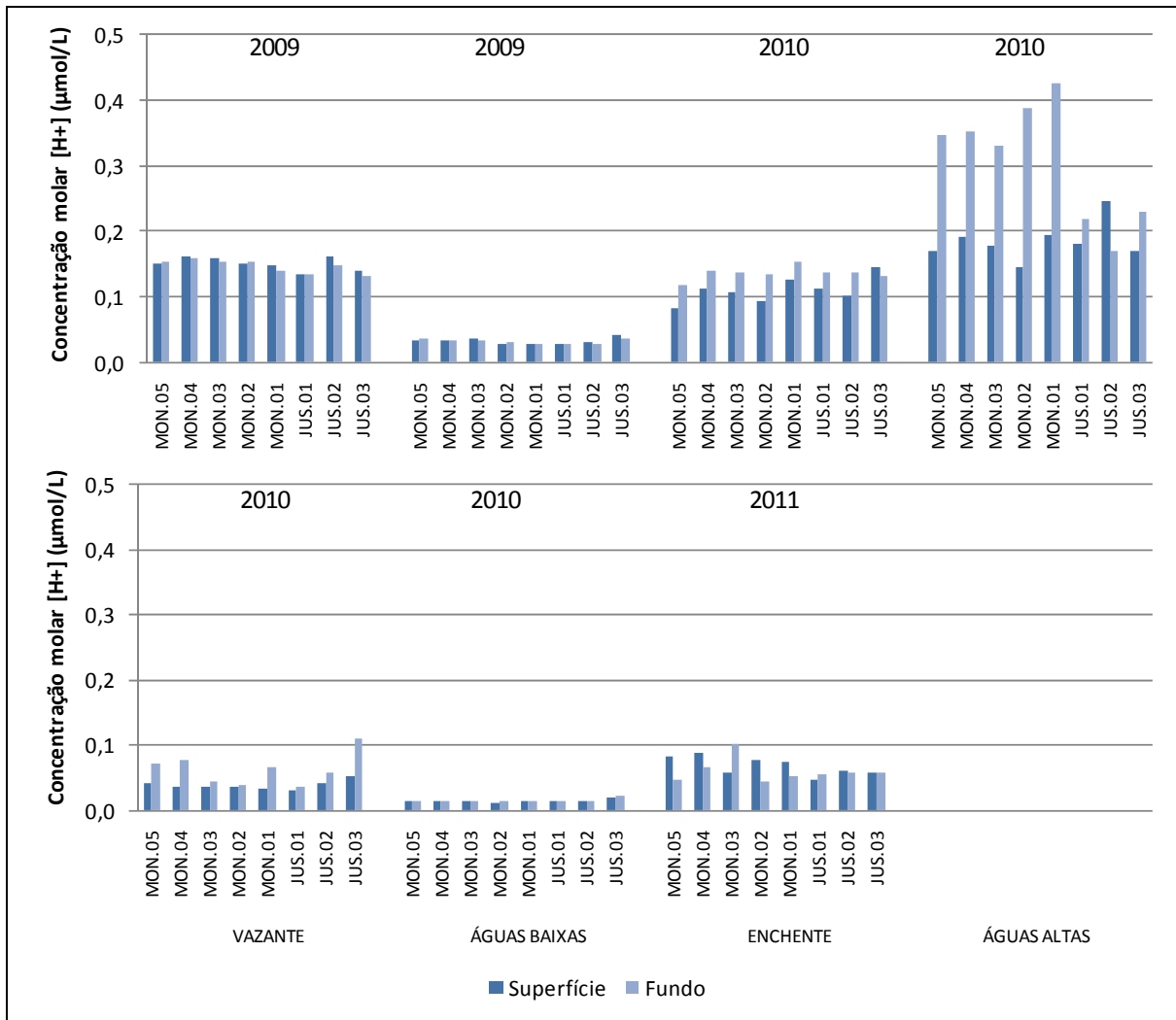


Figura 5.1-56 - Concentrações molares  $[H^+]$  no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

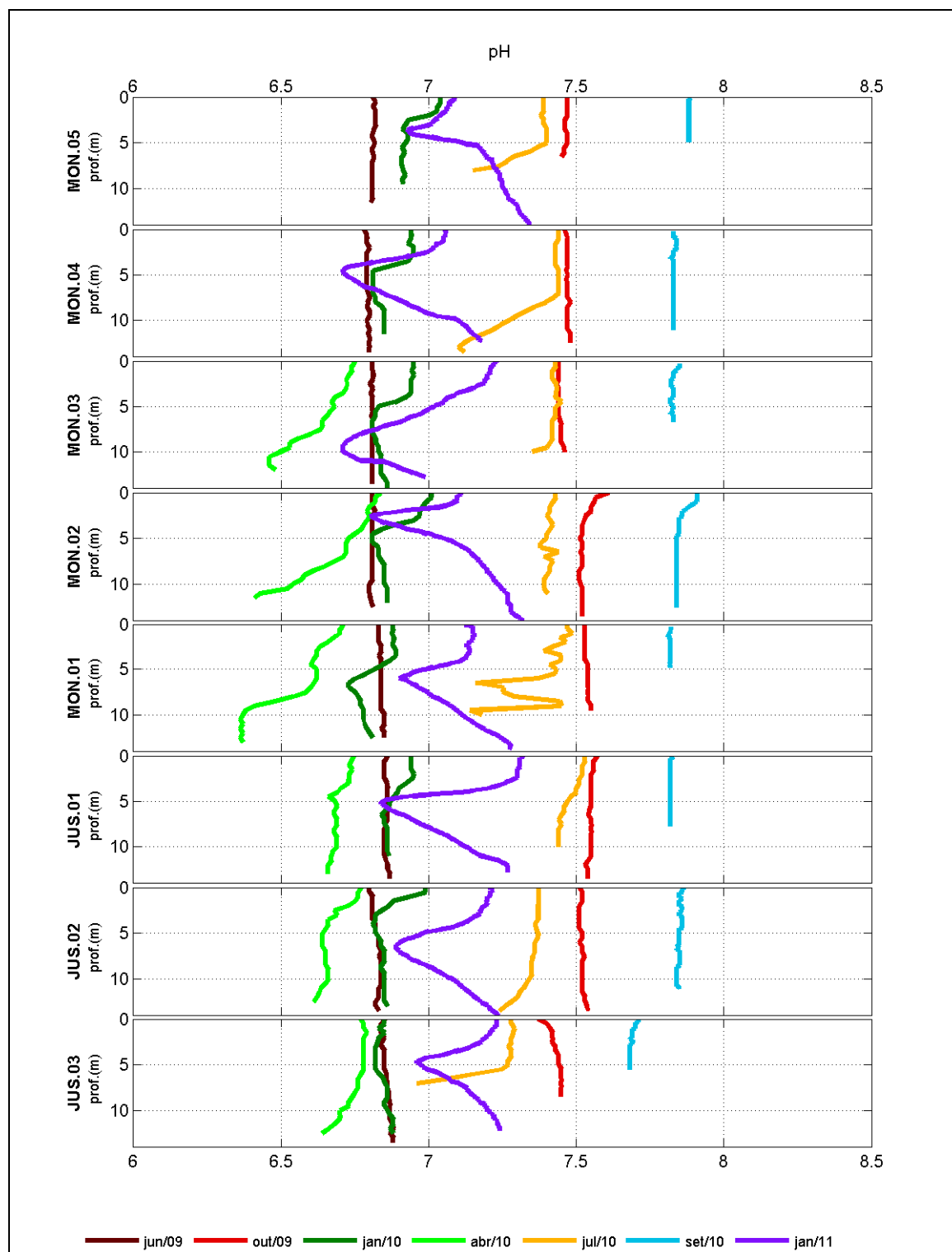


Figura 5.1-57 - Perfis de pH no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos tributários, o pH foi geralmente mais ácido do que no rio Madeira. Os valores médios nos tributários variaram de  $5,3 \pm 0,6$  (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 a  $6,4 \pm 0,3$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010, com valor médio global de  $6,0 \pm 0,6$  (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $5,8 \pm 0,7$  (média  $\pm$  DP) para o fundo (Figura 5.1-58). Não houve variação vertical significativa nas estações amostradas (Figura 5.1-60). Em relação à concentração molar, a estação CAR apresentou o maior valor nas águas altas de 2010, uma vez que este ambiente ficou marcado por apresentar pH ácido neste período. A concentração molar média variou de  $0,5 \pm 0,3 \mu\text{mol/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 a  $8,6 \pm 9,8 \mu\text{mol/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010, com média global de  $2,5 \pm 4,7 \mu\text{mol/L}$  (média  $\pm$  DP) na superfície e  $5,6 \pm 12,3 \mu\text{mol/L}$  (média  $\pm$  DP) no fundo (Figura 5.1-59).



Figura 5.1-58 - Valores de pH nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

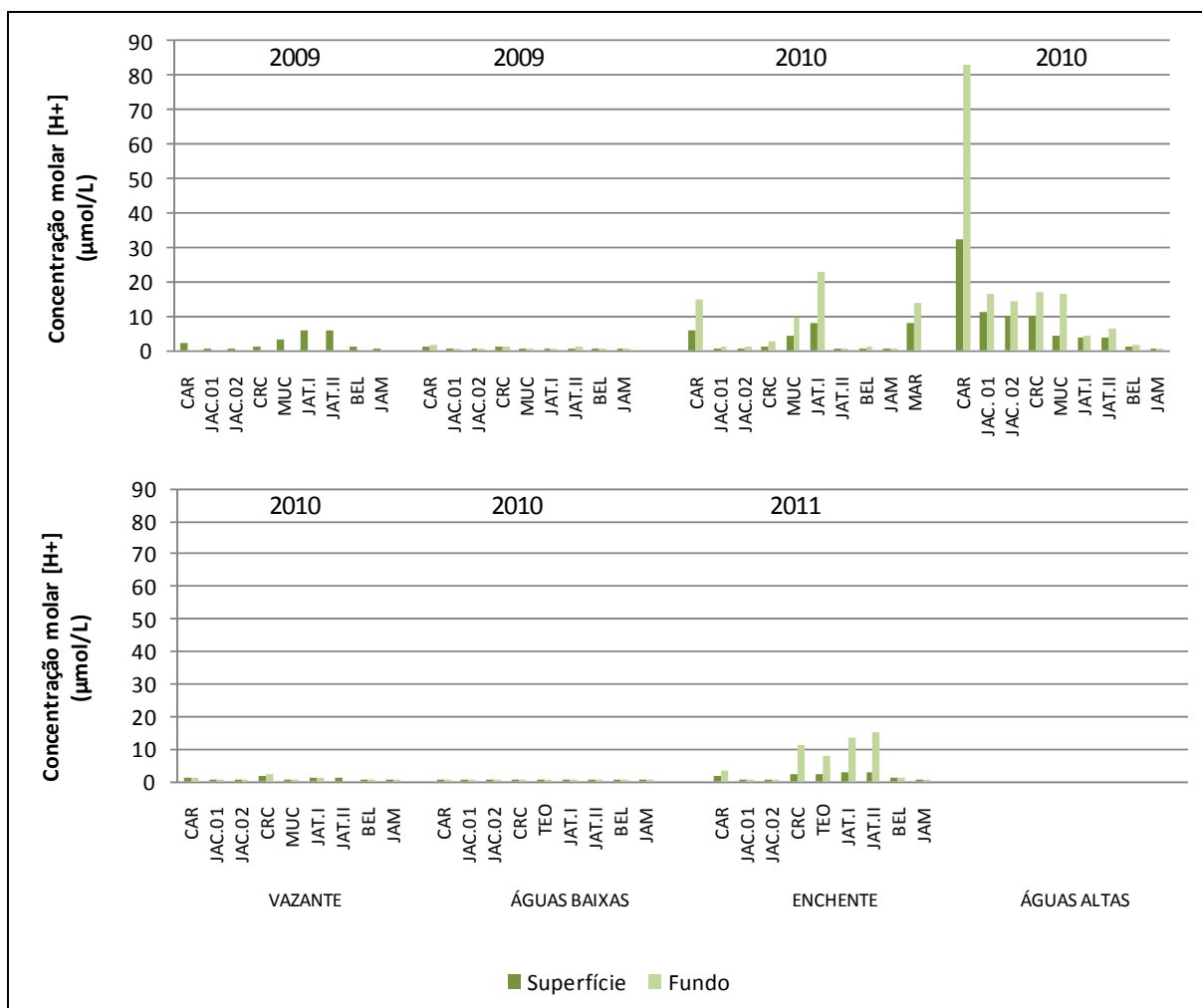


Figura 5.1-59 - Concentrações molares  $[H^+]$  nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

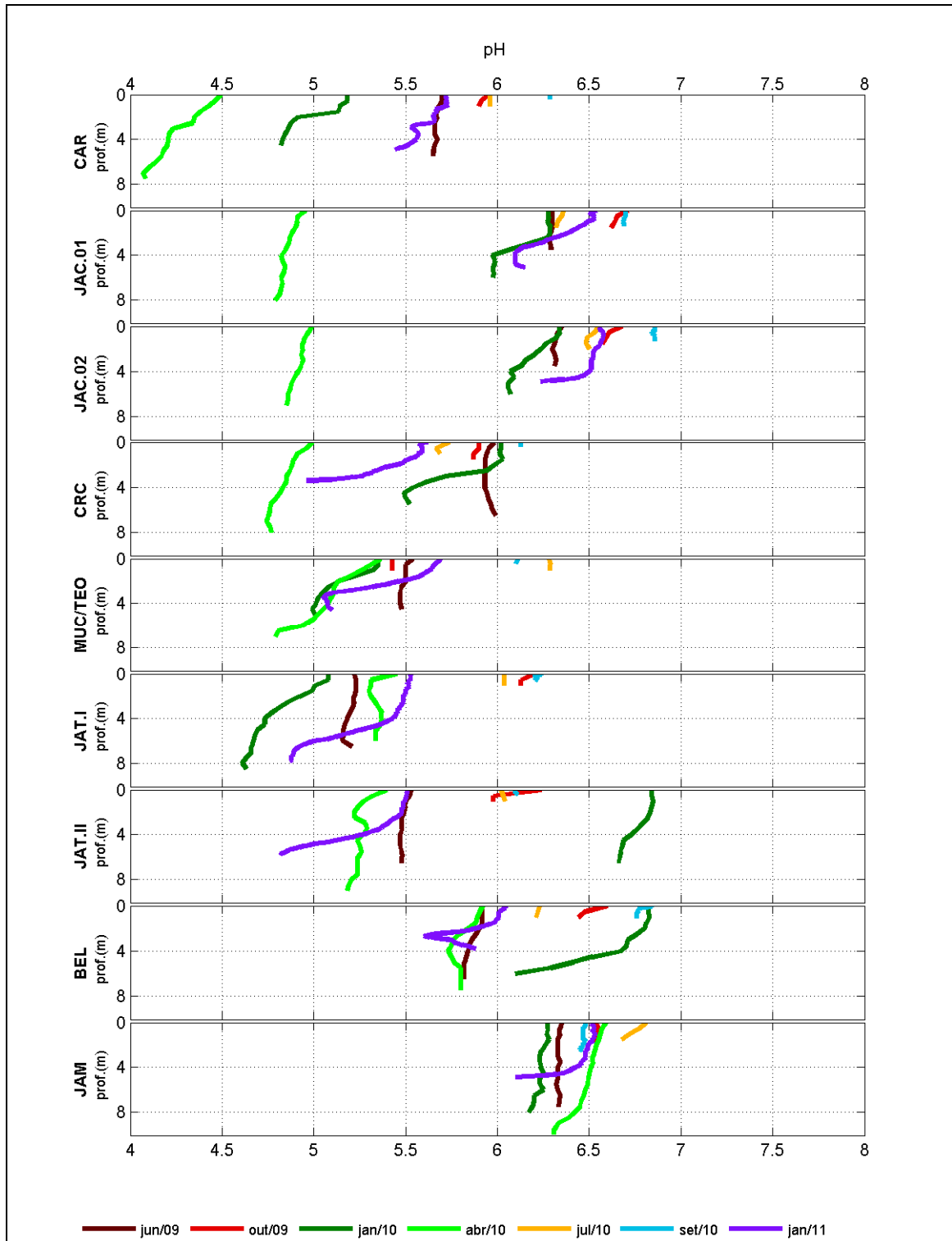


Figura 5.1-60 - Perfis de pH nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos lagos e canais, a variação sazonal do pH foi pequena. Os menores valores médios foram de  $5,7 \pm 0,1$  e  $5,7 \pm 0,5$  (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009 e nas águas baixas de 2009, ao passo que o maior valor médio foi de  $6,9 \pm 1,1$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 (Figura 5.1-61). O valor médio global foi de  $6,2 \pm 0,9$  (média  $\pm$  DP) na superfície e  $5,9 \pm 0,7$  (média  $\pm$  DP) no fundo. Ao contrário do rio Madeira e dos tributários, houve variação vertical no pH nos lagos e canais, ocorrendo aumento da acidez com o aumento da profundidade (Figura 5.1-63). No fundo de sistemas lânticos o pH tende a ser menor 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 lânticos, entretanto, a ocorrência de estratificação térmica causa aprisionamento de gás carbônico no fundo, diminuindo o pH. A concentração molar apresentou média global de  $1,5 \pm 2,6 \mu\text{mol/L}$  (média  $\pm$  DP) na superfície das estações. Os valores que conferiram esta média oscilaram entre  $0,4 \pm 0,4 \mu\text{mol/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 e  $3,8 \pm 6,3 \mu\text{mol/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 (Figura 5.1-62).

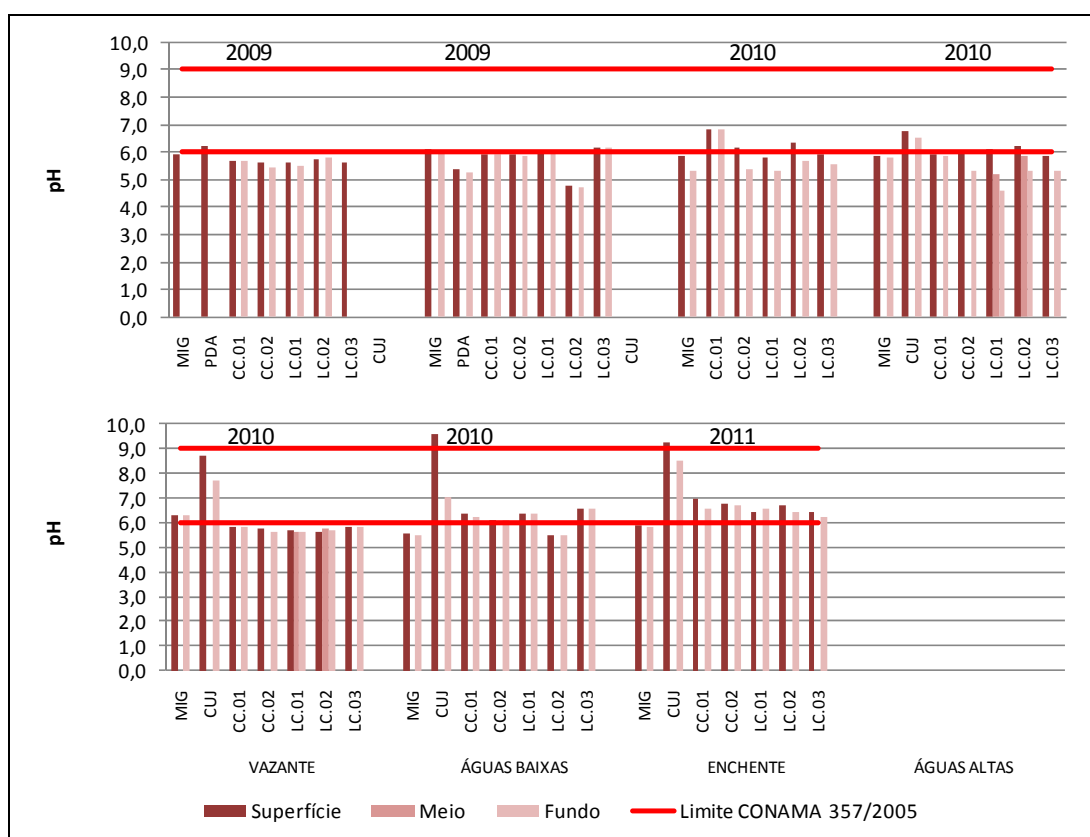


Figura 5.1-61 - Valores de pH nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



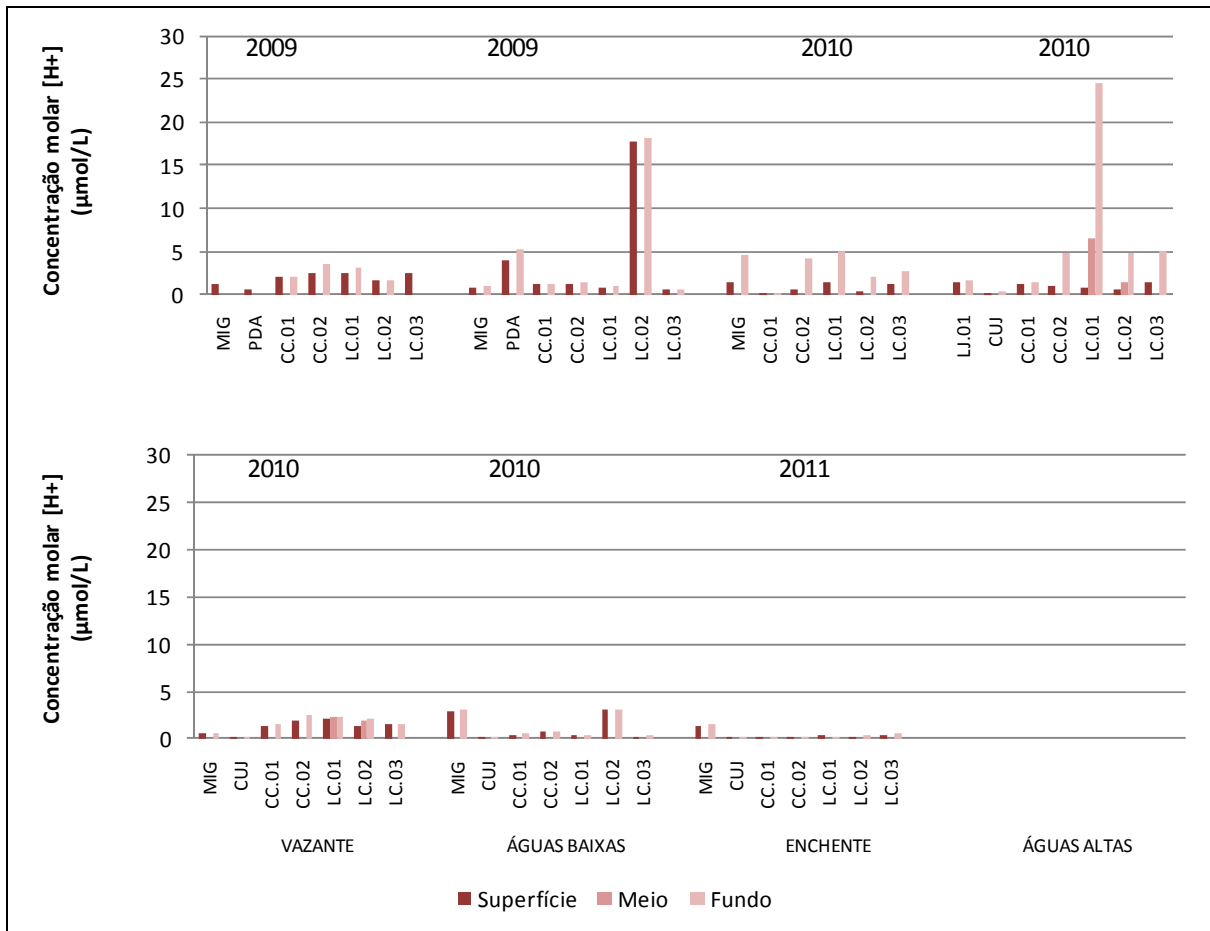


Figura 5.1-62 - Concentrações molares [H<sup>+</sup>] nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

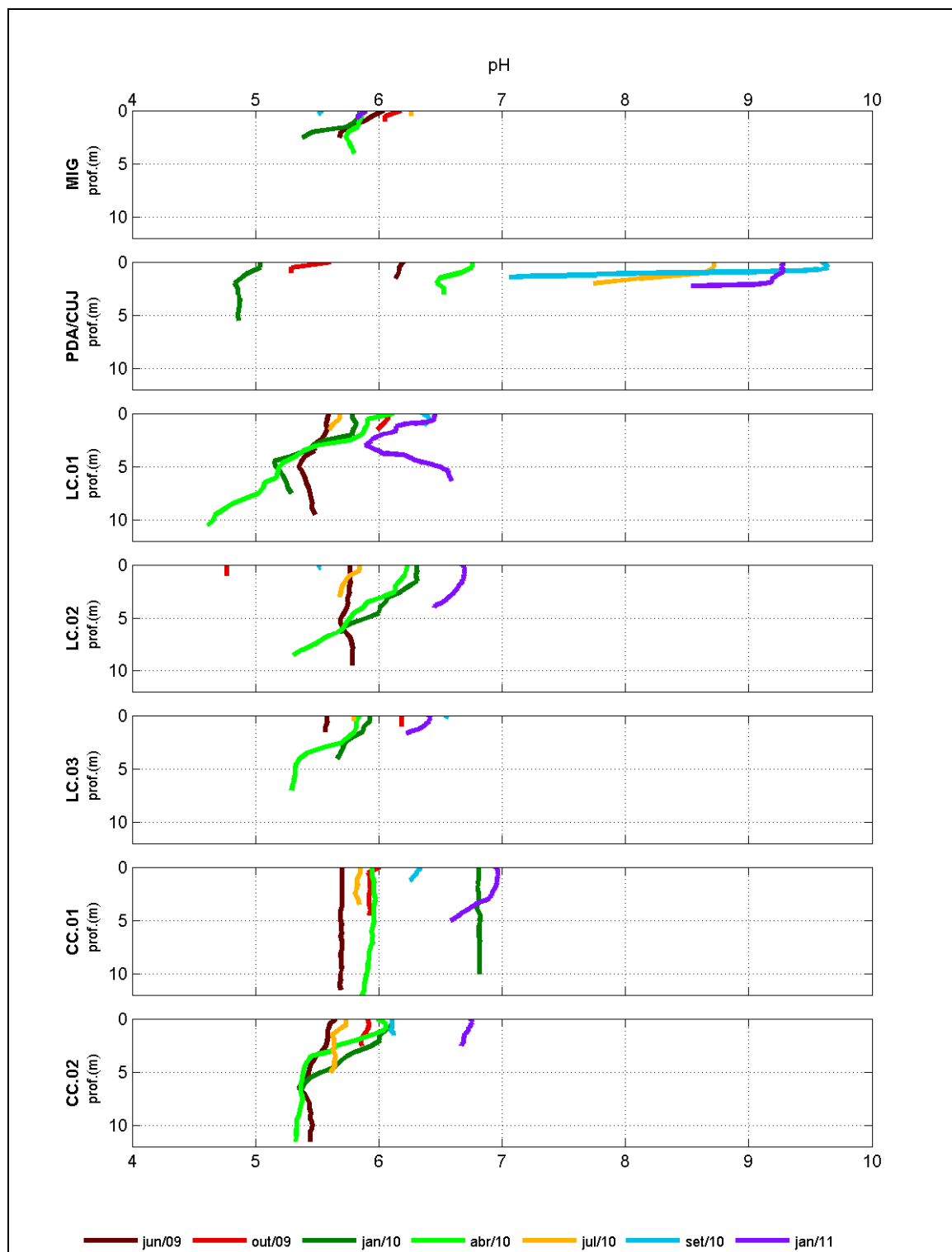


Figura 5.1-63 - Perfis de pH nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

No rio Madeira, apenas as estações MON.05 e MON.04, nas águas altas, não foram compatíveis com o intervalo de pH de 6 a 9 previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de Classe 2. Já nos tributários, somente a estação JAM atendeu a esse limite, em todos os períodos. Também para os lagos e canais, os valores de pH não foram compatíveis com o intervalo de 6 a 9 previsto no Art.15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de Classe 2 na maior parte do período estudado. Contudo, o caráter ácido é uma condição natural de alguns ambientes aquáticos amazônicos (Melack & Fisher, 1983).

Destaca-se que as medidas de pH e concentração molar são realizadas por meio de pHmetro, de forma que é possível calcular uma a partir da outra; a medida de pH é definida pelo simétrico do logaritmo (cologaritmo) de base 10 da atividade dos íons  $H^+$  ( $pH = -\log_{10}[H^+]$ ). Uma vez que as medidas possuem correspondência, recomenda-se a exclusão das apresentação gráfica das medidas de concentração molar, mantendo apenas o pH, que é uma medida mais amplamente utilizada, além de ser um parâmetro de qualidade de água determinado pela Resolução CONAMA 357/05.

#### 5.1.1.4 - Químicas I-A

##### 5.1.1.4.1 - Oxigênio - porcentagem de saturação e 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). No rio Madeira, a saturação de oxigênio média variou de  $73 \pm 5\%$  (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 a  $107 \pm 8\%$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas 2010, com média global de  $92 \pm 12\%$  (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $92 \pm 13\%$  (média  $\pm$  DP) para o fundo (**Figura 5.1-64**). Em relação ao oxigênio dissolvido (OD), as concentrações médias oscilaram entre  $5,7 \pm 0,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas a  $8,1 \pm 0,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas 2010, com média global de  $7,2 \pm 0,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $7,2 \pm 1$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (**Figura 5.1-65**). Os perfis de saturação de oxigênio (**Figura 5.1-66**) e de oxigênio dissolvido (**Figura 5.1-67**) mostram 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.

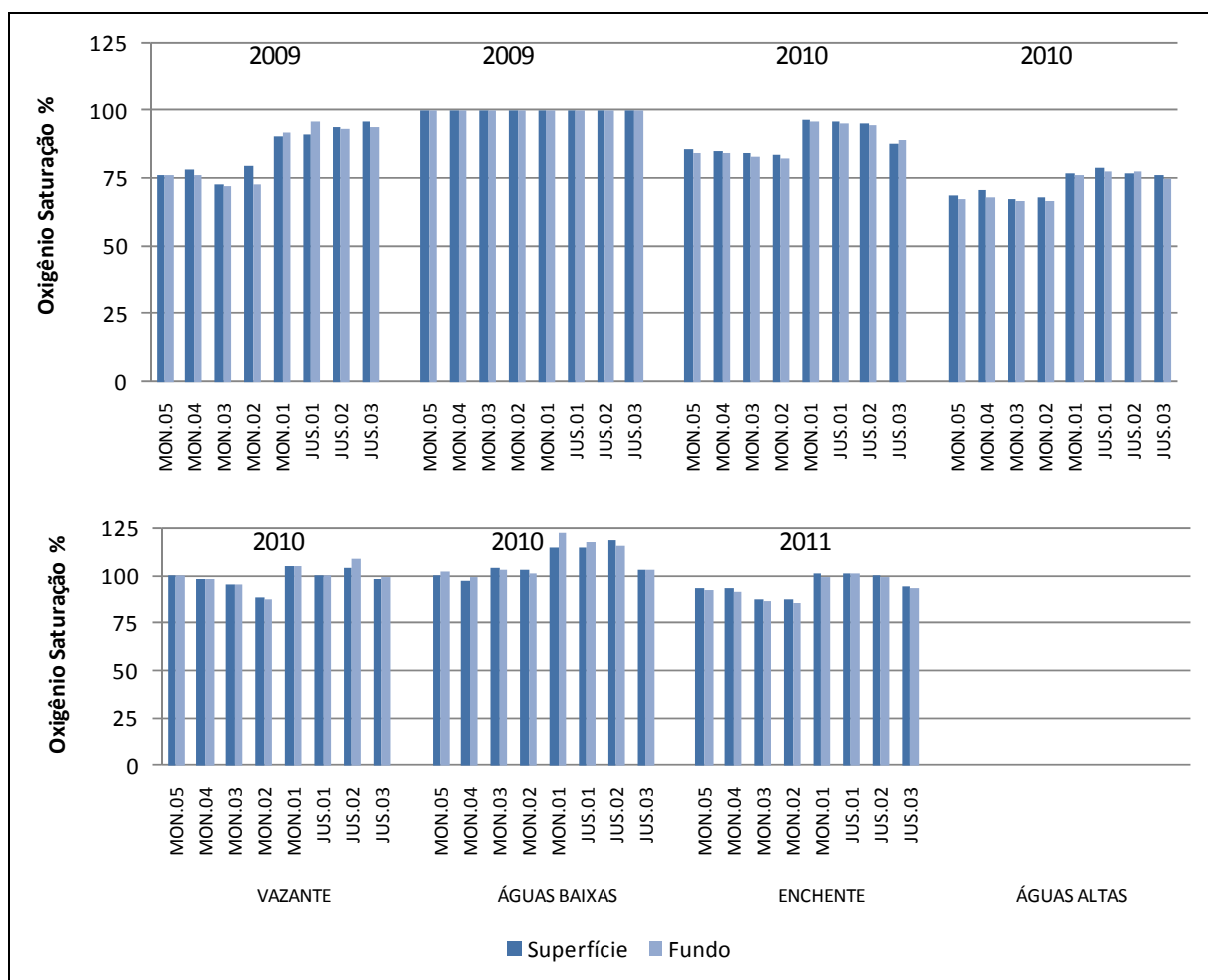


Figura 5.1-64 - Saturação de oxigênio no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

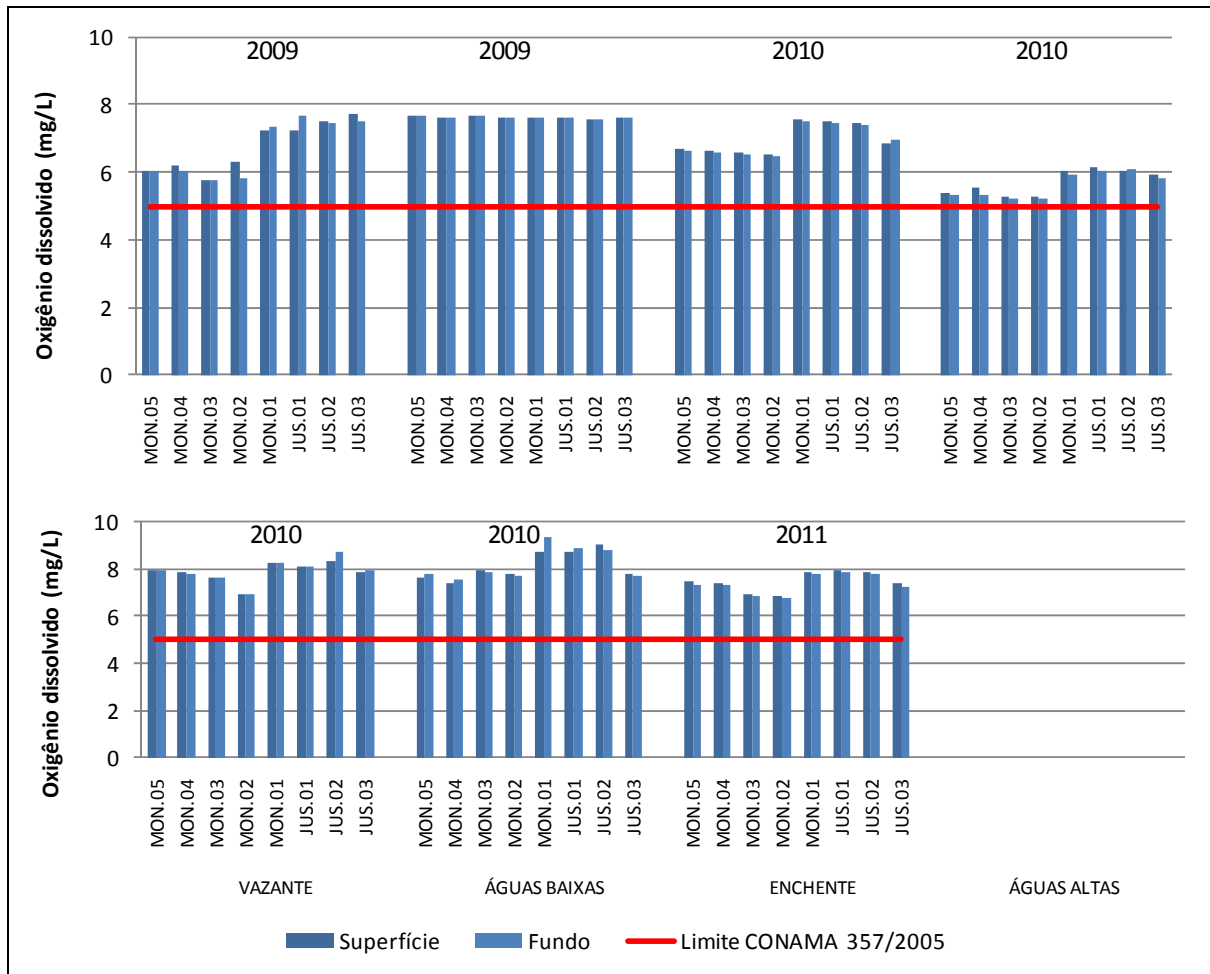


Figura 5.1-65 - Concentrações de oxigênio dissolvido no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

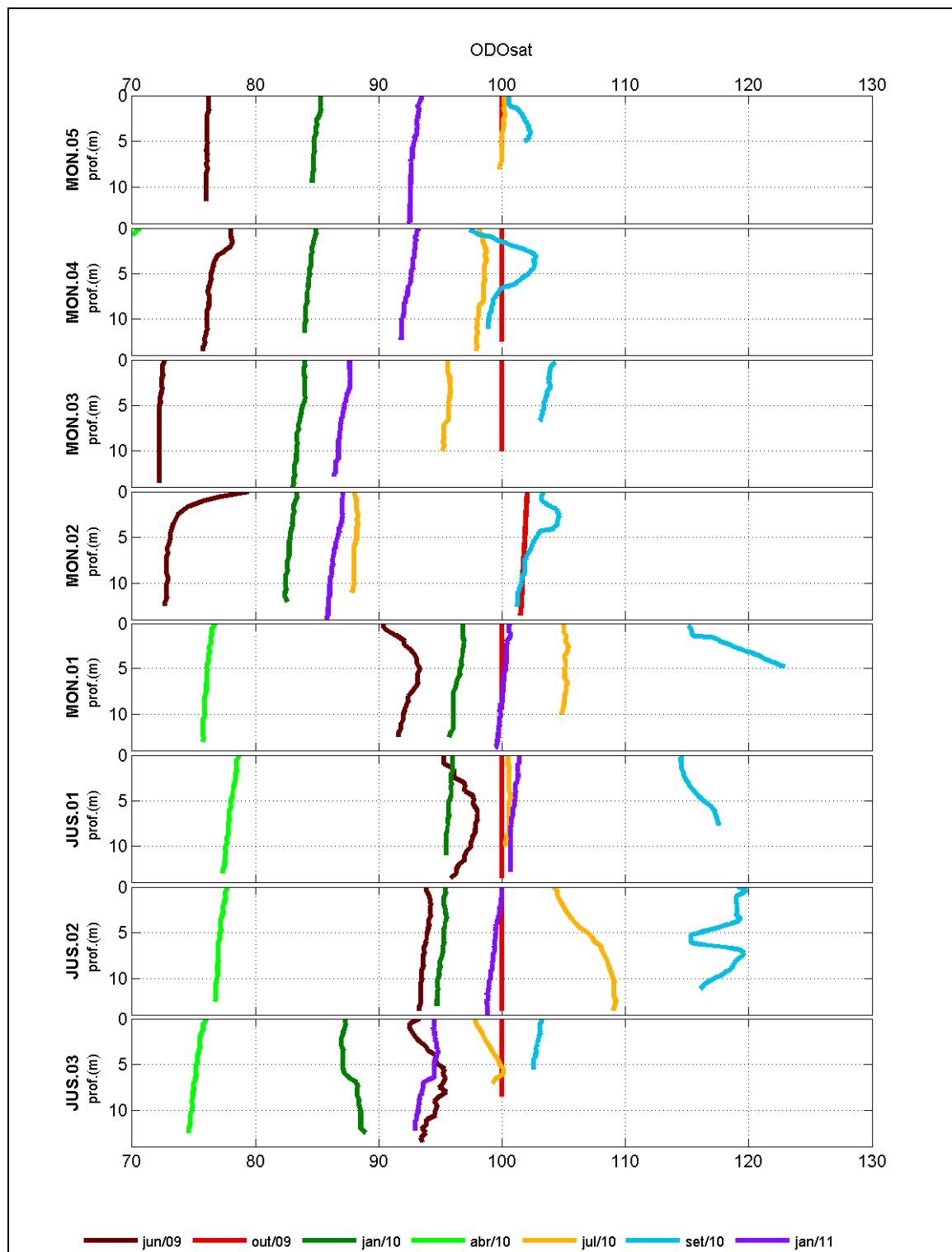


Figura 5.1-66 - Perfis de saturação de oxigênio no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

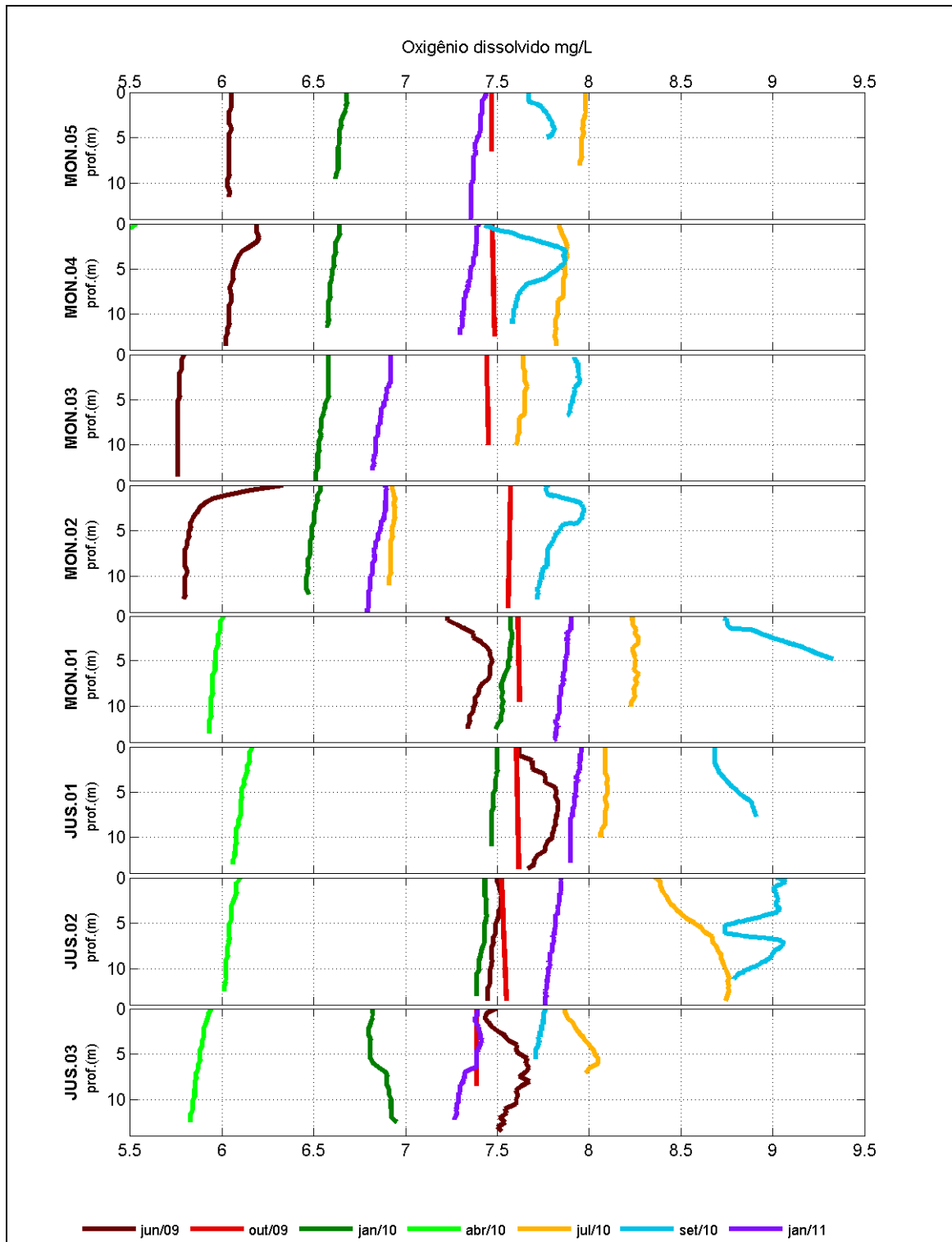


Figura 5.1-67 - Perfis de concentração de oxigênio dissolvido no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos tributários, a porcentagem média de saturação de oxigênio oscilou entre  $44 \pm 24\%$  (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 a  $92 \pm 7\%$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009, com valor médio global de  $68 \pm 28\%$  (média  $\pm$  DP) para superfície e entre  $66 \pm 29\%$  (média  $\pm$  DP) para o fundo (Figura 5.1-68). O oxigênio dissolvido (OD) médio variou entre  $3,5 \pm 1,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 a  $7,3 \pm 0,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010, com média global de  $5,3 \pm 2,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) para superfície e  $5,3 \pm 2,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (Figura 5.1-69). Os perfis de saturação de oxigênio (Figura 5.1-70) e de oxigênio dissolvido (Figura 5.1-71) mostram que as estações CAR, JAC.01, JAC.02 e JAM não apresentaram variação vertical dessas variáveis. Por outro lado, as estações JAT I, JAT II e BEL apresentaram gradiente vertical, com diminuição da concentração de oxigênio em direção ao fundo e com oxiclina bem definida. Esse gradiente de diminuição vertical do oxigênio corrobora a hipótese de que a estratificação térmica pode estar contribuindo para a hipoxia no fundo.

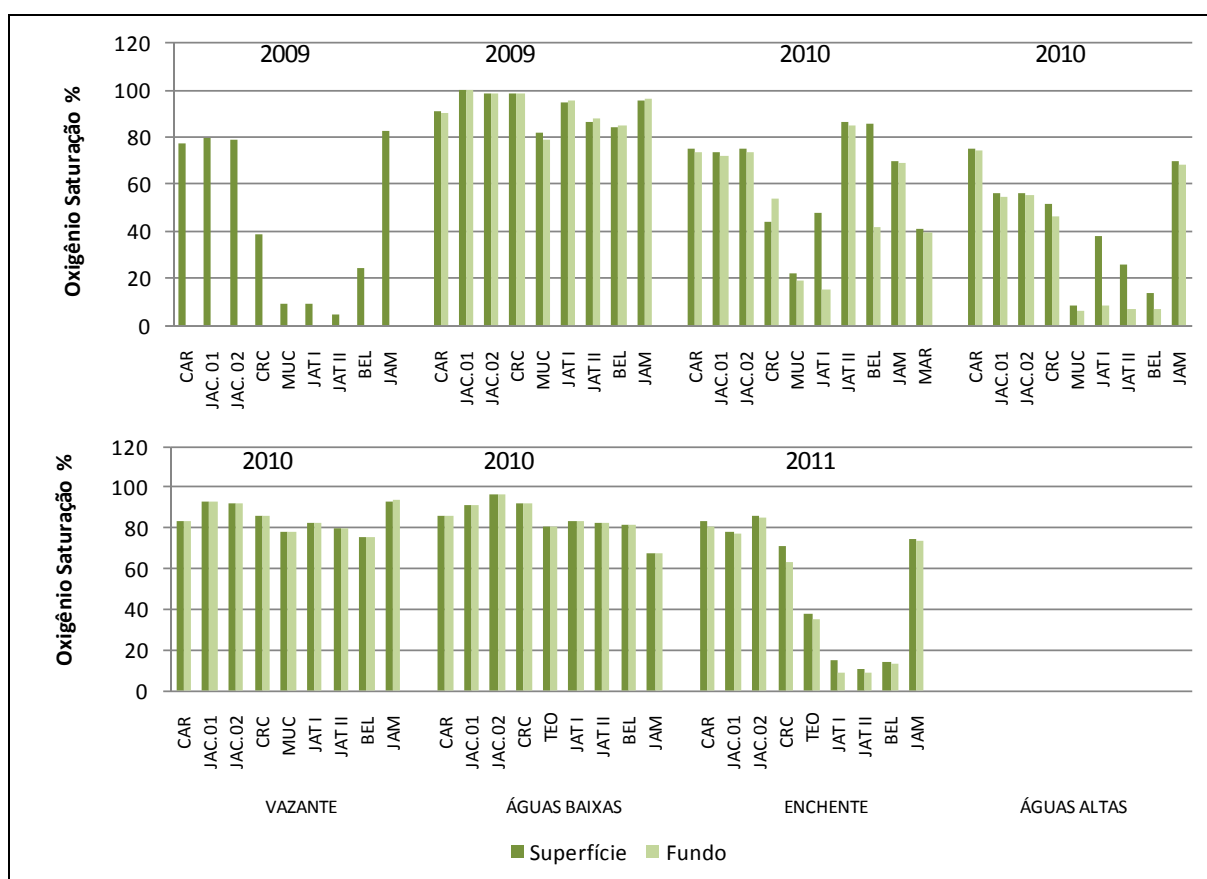


Figura 5.1-68 - Saturação de oxigênio nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.





**Figura 5.1-69 - Concentrações de oxigênio dissolvido nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.**

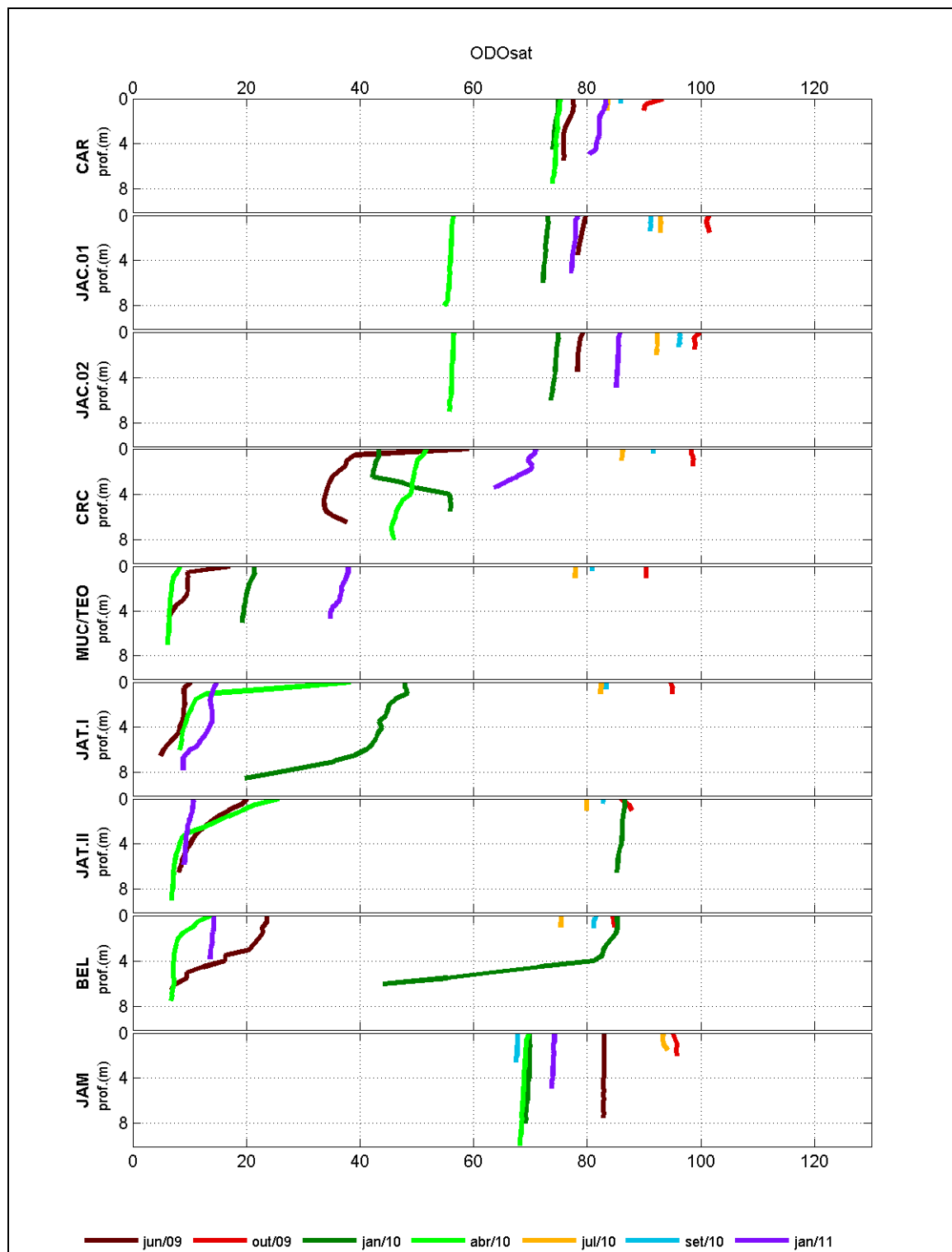


Figura 5.1-70 - Perfis de saturação de oxigênio nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

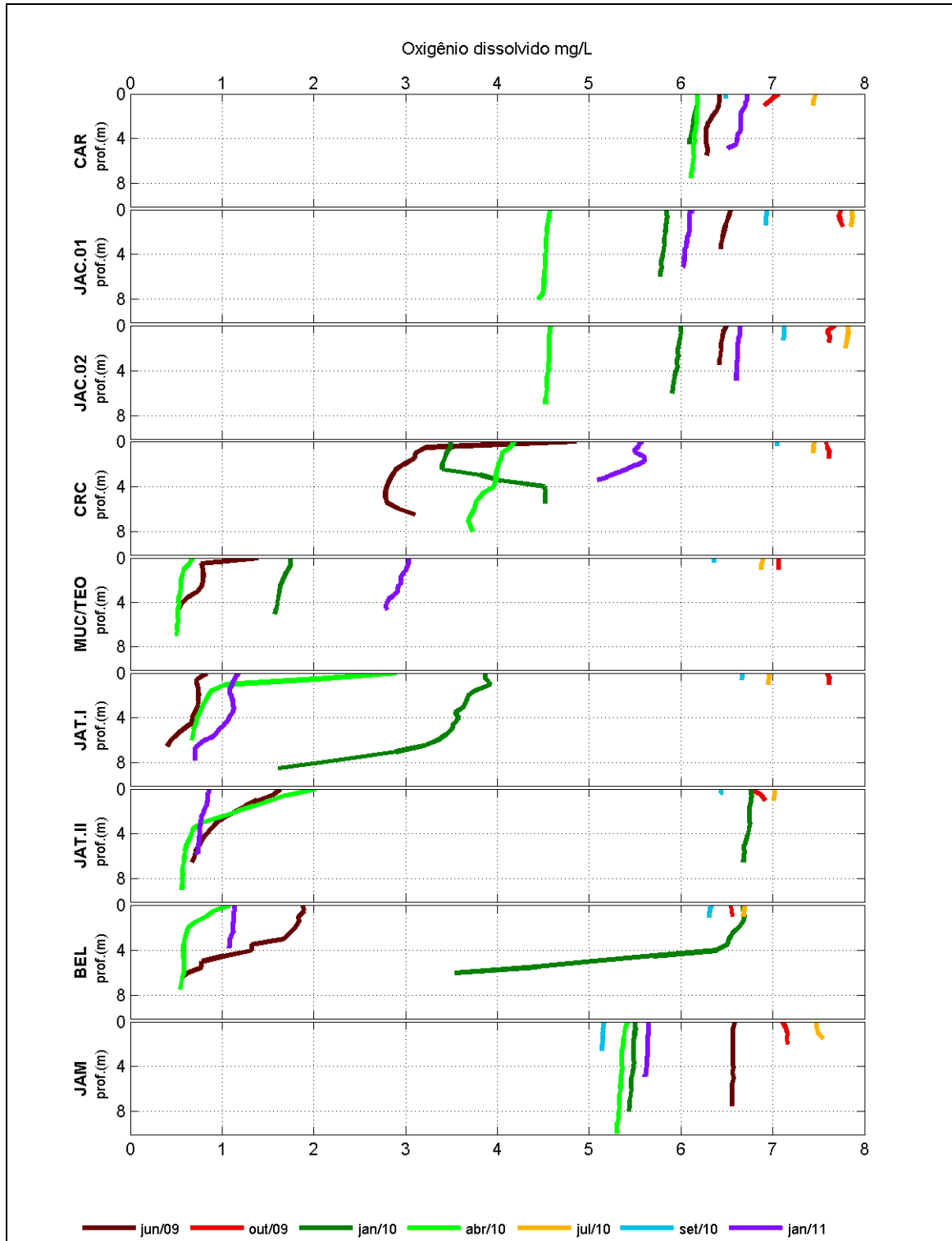


Figura 5.1-71 - Perfis de oxigênio dissolvido nos tributários, nos períodos hidrológico ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos lagos e canais, a porcentagem média de saturação de oxigênio variou entre  $39 \pm 22\%$  (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009 e  $86 \pm 14$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009, com valor médio de  $67 \pm 27\%$  (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $48 \pm 38\%$  (média  $\pm$  DP) para o fundo (Figura 5.1-72). Em relação ao oxigênio dissolvido (OD), houve oscilação das concentrações médias entre  $3,1 \pm 1,7$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante 2009 a  $6,3 \pm 1,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas 2009 (Figura 5.1-73). Os perfis de saturação de oxigênio (Figura 5.1-74) e de oxigênio dissolvido (Figura 5.1-75) mostram que os lagos e canais apresentaram declínio da concentração de oxigênio com o aumento da profundidade, com oxiclina bem definida. A única exceção foi a estação CC.01, situada no canal de acesso ao lago Cuniã, que não apresentou estratificação da coluna d'água em nenhum período e que pareceu comportar-se mais como rio do que como lago, sofrendo grande influência do rio Madeira. Nas águas baixas, não foi observado decréscimo das concentrações de oxigênio com o aumento da profundidade. Isto ocorreu devido à reduzida profundidade da coluna d'água, o que impossibilitou o fenômeno da estratificação térmica.

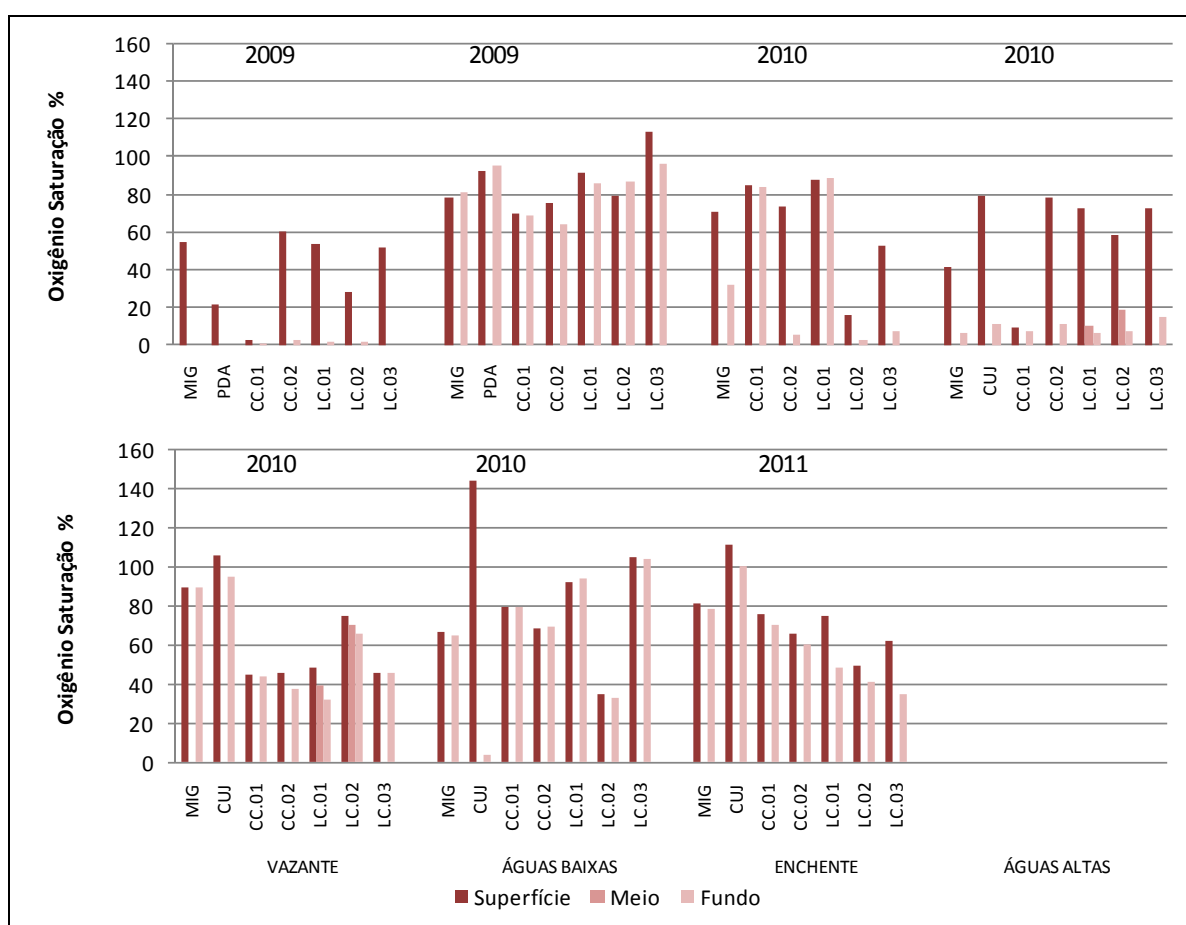


Figura 5.1-72 - Saturação de oxigênio nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

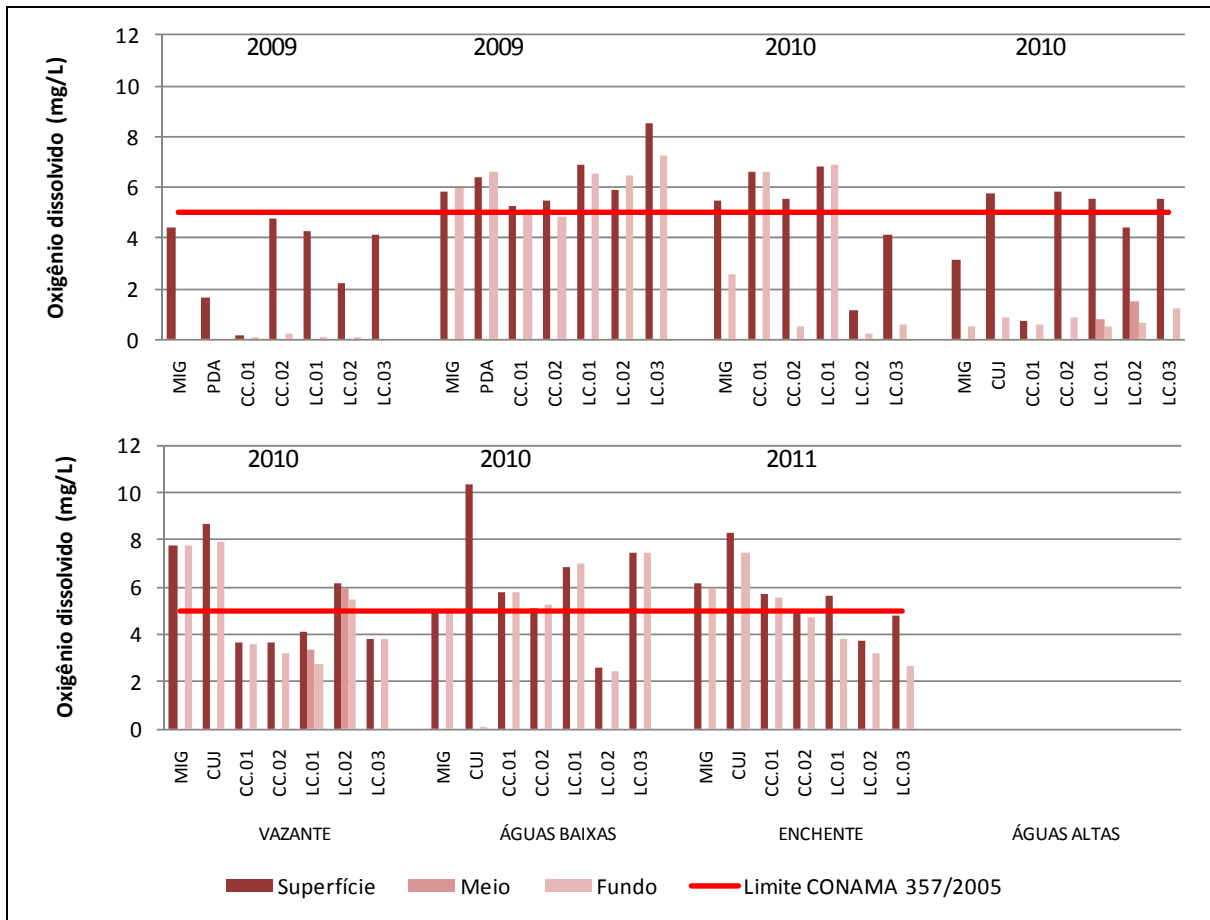


Figura 5.1-73 - Concentrações de oxigênio dissolvido nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

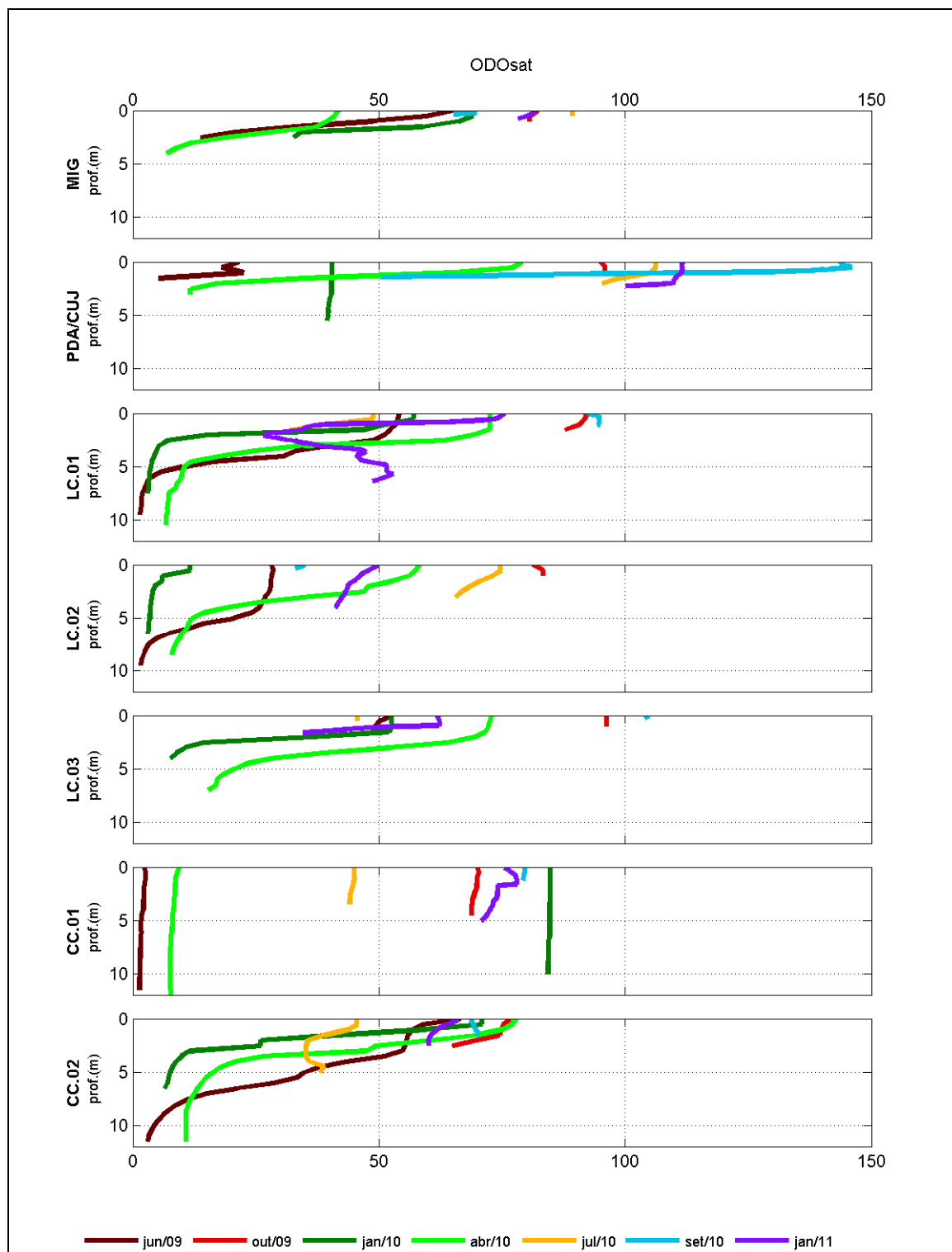


Figura 5.1-74 - Perfis de saturação de oxigênio nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

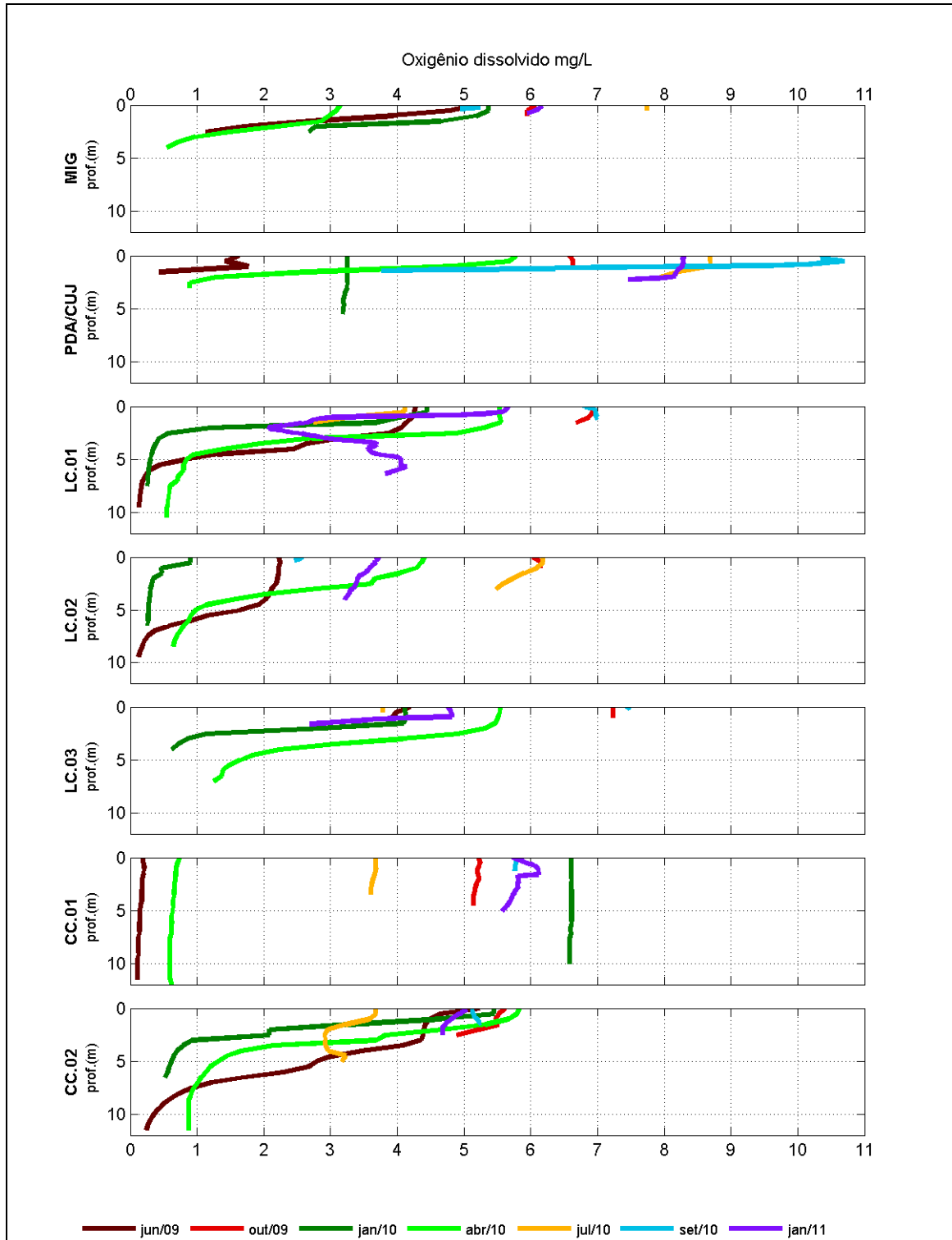


Figura 5.1-75 - Perfis de oxigênio dissolvido nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Na **Figura 5.1-65** pode ser observado que as estações MON.01, JUS.01, JUS.02 e JUS.03 apresentaram índice de oxigenação maior do que as demais estações. Isso deve-se ao fato dessas estações situarem-se à jusante da região de corredeiras do rio Madeira, onde a turbulência da água é alta e a troca de gases com a atmosfera é intensa. A estação MON.01 localiza-se a jusante da cachoeira do Teotônio e JUS.01 próxima à cachoeira de Santo Antônio, desta forma, essas estações são favorecidas com maior oxigenação da coluna d'água. Além disso, cabe destacar que é essa diferença de concentração de OD entre as estações de montante e de jusante que confere o desvio padrão da média, ainda que pequeno, observado no rio Madeira. 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). As estações CAR, JAC.01 e JAC.02, situadas nos rios Caripuna e Jaciparaná, respectivamente, apresentaram geralmente coluna d'água bem oxigenada. Por outro lado, as estações MUC, JAT I, JAT II e TEO, situadas no rio Mucuí e nos igarapés Jatuarana I, Jatuarana II e Teotônio, respectivamente, apresentaram coluna d'água hipóxica e anóxica em alguns casos. Dois fatores podem explicar esse baixo teor de oxigênio: a intensa entrada de material de origem terrestre, favorecendo a decomposição e o consequente consumo do oxigênio e/ou a estratificação térmica, que cria uma barreira para a difusão de gases, deixando o hipolímnio hipóxico devido ao fato de a respiração sobrepujar a produção primária. O primeiro fator foi observado, por exemplo, na estação MUC nas águas altas, haja vista que a  $DBO_5$  foi elevada nesse período. Já o segundo fator foi observado, por exemplo, nas estações JAT I, JAT II e BEL, na vazante e nas águas altas.

Houve elevada diferença na concentração do oxigênio dissolvido entre o epilímnio e o hipolímnio dos lagos e canais amostrados, sendo que a concentração média global de OD no epilímnio foi de  $5,1 \pm 2,0$  mg/L (média  $\pm$  DP), ao passo que no hipolímnio foi de  $3,7 \pm 1,7$  mg/L (média  $\pm$  DP). Como os lagos e canais apresentaram-se termicamente estratificados durante a maior parte do estudo, estes sistemas tenderam a apresentar hipolímnio hipóxico. A estratificação térmica funciona como uma barreira à difusão de gases entre a superfície e o fundo. Desta forma, no fundo, onde ocorrem maiores taxas de respiração do que de produção primária, as concentrações de oxigênio são baixas.

A concentração mínima de OD para corpos d'água de Classe 2, segundo o Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 é de 5 mg/L. Todas as estações amostradas no rio Madeira atenderam à referida legislação. Por outro lado, grande parte das estações amostradas nos tributários e nos lagos e canais não atenderam a este limite. Contudo, trata-se de uma condição natural desses ambientes (Melack & Fisher, 1983).



Destaca-se que as medidas de concentração de oxigênio dissolvido e porcentagem de saturação são realizadas por meio de sensor de oxigênio e apresentam correspondência direta. Assim sendo, recomenda-se a exclusão da apresentação gráfica das medidas de porcentagem de saturação, mantendo apenas a concentração de oxigênio dissolvido.

### 5.1.1.5 - Químicas I-B

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

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>) informa a quantidade de matéria orgânica e inorgânica em um corpo d'água susceptível à oxidação por via biológica (APHA, 1998). No rio Madeira, a DBO<sub>5</sub> foi baixa durante todo o período de monitoramento, o que é considerado normal para rios de águas brancas da Amazônia. Os valores médios oscilaram entre  $0,5 \pm 0,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010 a  $1,5 \pm 1,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009, com média global de  $0,8 \pm 0,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $0,8 \pm 1,0$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (**Figura 5.1-76**). 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). O cálculo da DBO<sub>5</sub> é feito com base nas concentrações de oxigênio no momento da incubação (O<sub>2</sub> inicial) e cinco dias após a incubação (O<sub>2</sub> 5 dias) da amostra. Os resultados de O<sub>2</sub> inicial e de O<sub>2</sub> 5 dias para todos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011 são apresentados na **Figura 5.1-77**. É válido ressaltar que a variação espacial dos resultados foi bastante baixa. As médias globais do O<sub>2</sub> inicial e do O<sub>2</sub> 5 dias para a superfície foram  $7,9 \pm 0,8$  e  $7,1 \pm 0,9$  mg/L (média  $\pm$  DP). Para as amostras de fundo as médias globais de O<sub>2</sub> inicial e do O<sub>2</sub> 5 dias foram  $7,8 \pm 0,7$  e  $7,1 \pm 1,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) respectivamente.

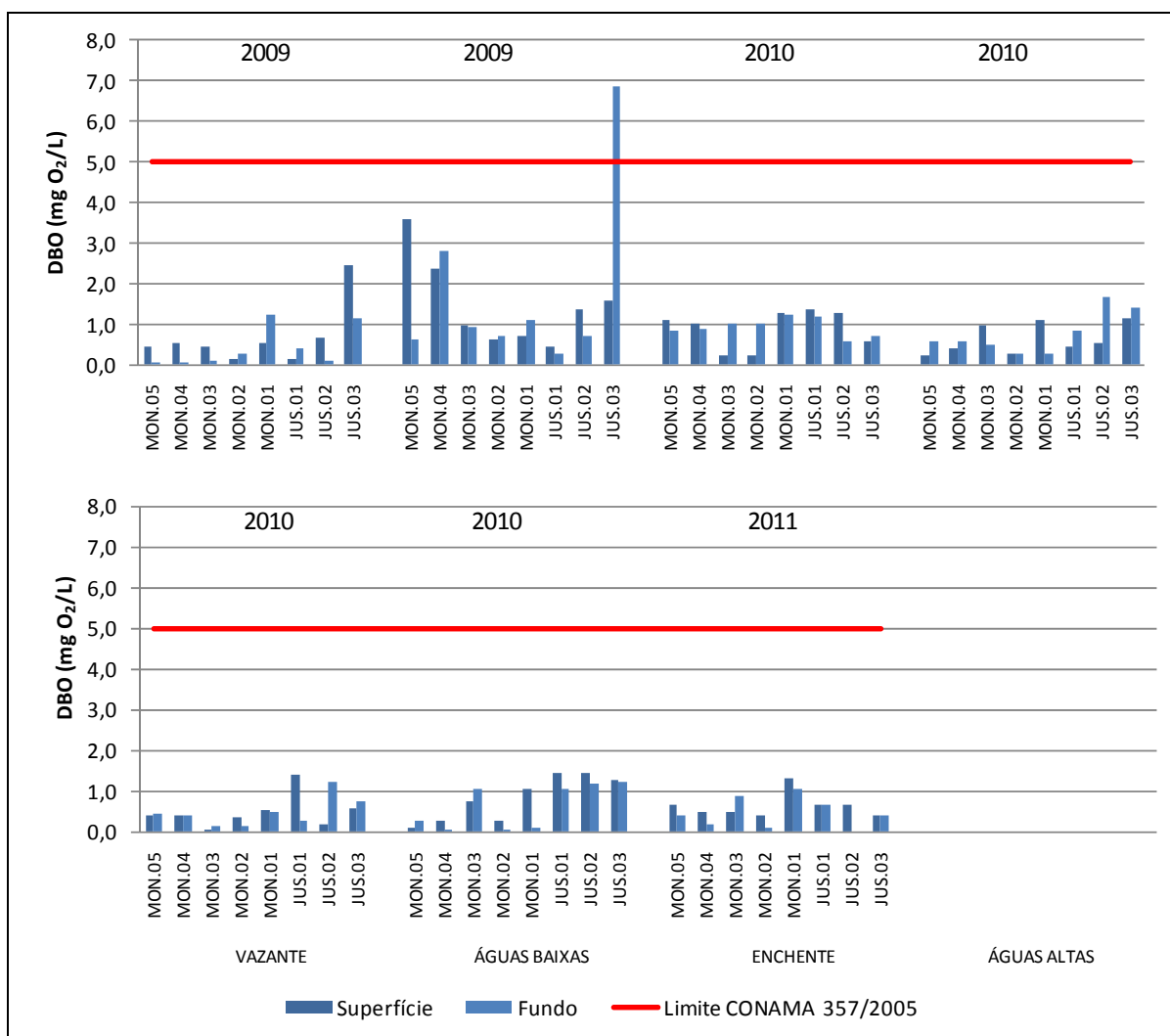


Figura 5.1-76 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

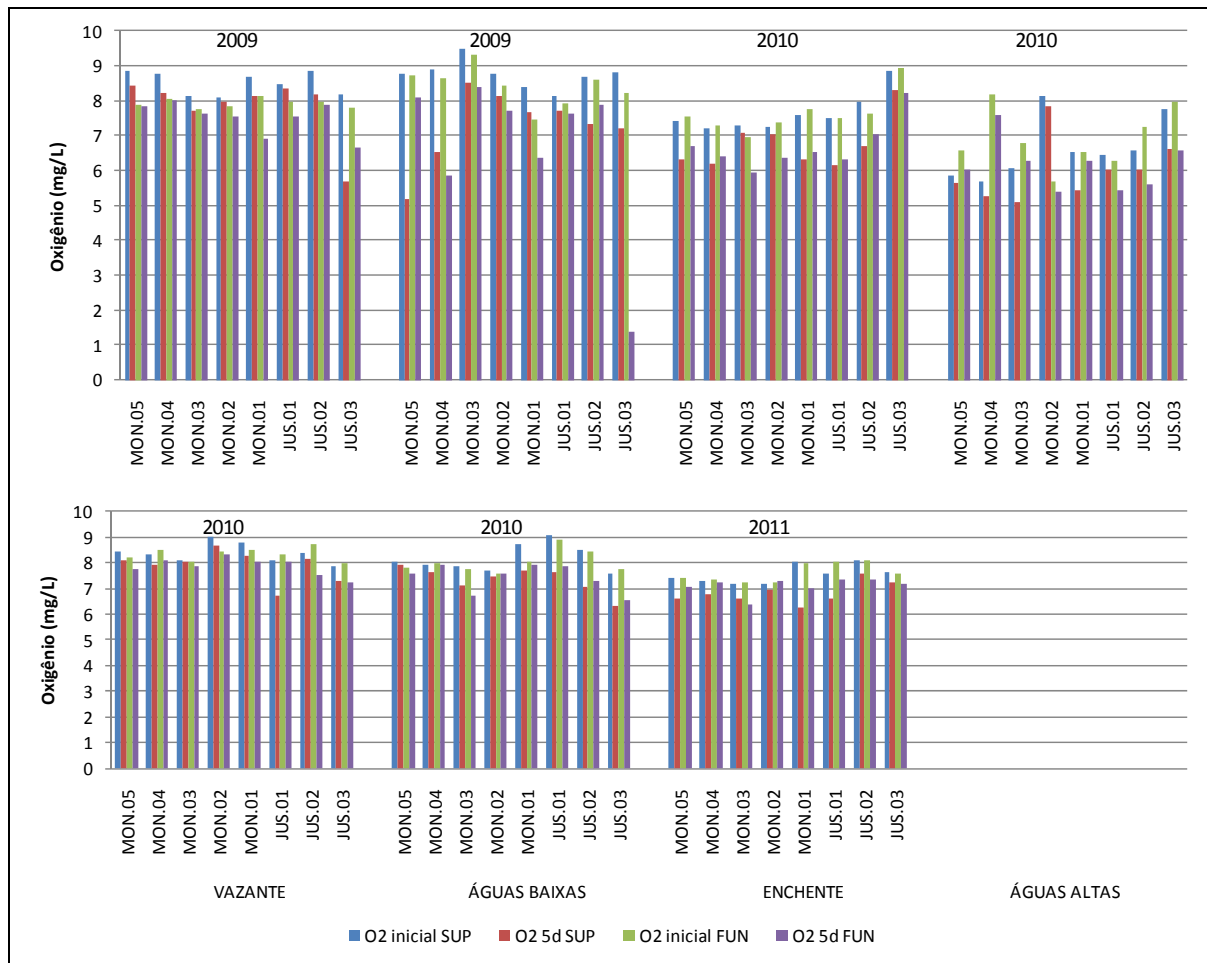


Figura 5.1-77 - O<sub>2</sub> inicial e O<sub>2</sub> 5 dias no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Os tributários apresentaram baixos valores de DBO<sub>5</sub>, com uma média global de  $0,9 \pm 0,8$  mg/L (média  $\pm$  DP). A DBO<sub>5</sub> média variou entre  $0,6 \pm 0,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010 a  $1,3 \pm 2$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 (Figura 5.1-78). O alto desvio padrão da média nas águas altas de 2010 foi consequência da DBO<sub>5</sub> de 6,4 mg/L encontrada na estação MUC, no rio Mucuiim. Esse valor é corroborado pelo fato de esta estação ter apresentado os mais altos valores de carbono orgânico total e os menores valores de carbono orgânico refratário nas águas altas, mostrando que a maior parte da matéria orgânica nesse ambiente foi de fácil decomposição por via biológica. Os resultados de O<sub>2</sub> inicial e de O<sub>2</sub> 5 dias para os períodos entre vazante de 2009 e águas altas de 2011 são apresentados na Figura 5.1-79. A variação espacial não foi alta, apesar de ter sido mais pronunciada do que no rio Madeira. As médias globais do O<sub>2</sub> inicial e do O<sub>2</sub> 5 dias foram  $6,9 \pm 1,7$  e  $6,0 \pm 1,9$  mg/L (média  $\pm$  DP), respectivamente.



Figura 5.1-78 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

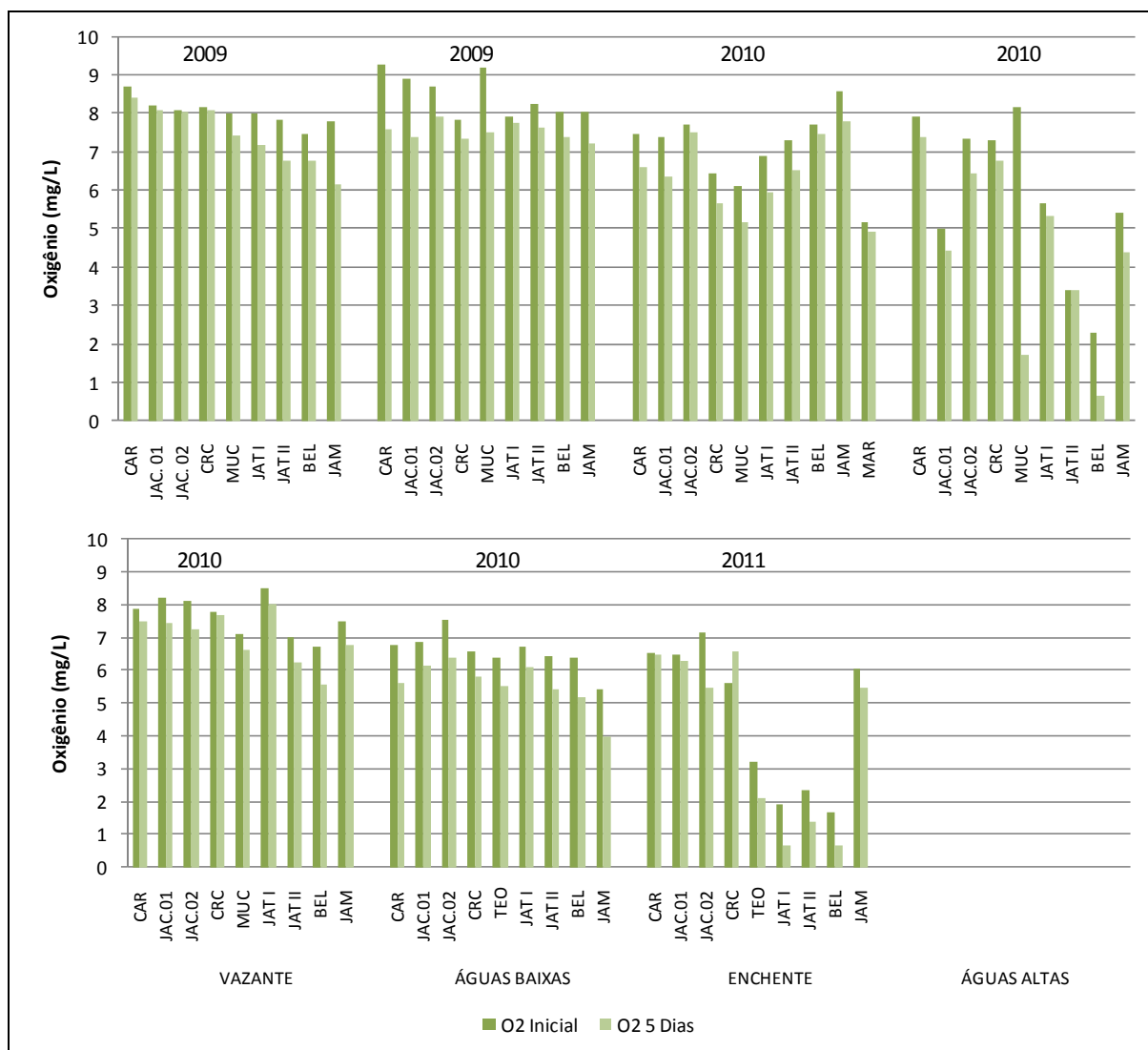


Figura 5.1-79 - O<sub>2</sub> inicial e O<sub>2</sub> 5 dias nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos lagos e canais, a DBO<sub>5</sub> média variou entre 0,9 ± 0,6 mg/L (média ± DP) na enchente de 2011 e 2,5 ± 0,8 mg/L (média ± DP) nas águas baixas de 2009, com valor médio global de 1,6 ± 1,1 mg/L (média ± DP) para a superfície e 0,8 ± 0,6 mg/L (média ± DP) para o fundo (Figura 5.1-80). Os resultados de O<sub>2</sub> inicial e de O<sub>2</sub> 5 dias para os períodos de enchente e águas altas são apresentados na Figura 5.1-81. A variação espacial não foi alta, mas foi mais pronunciada do que no rio Madeira e nos tributários. As médias globais do O<sub>2</sub> inicial e do O<sub>2</sub> 5 dias foram 6,9 ± 1,8 e 5,3 ± 1,8 mg/L (média ± DP), respectivamente.

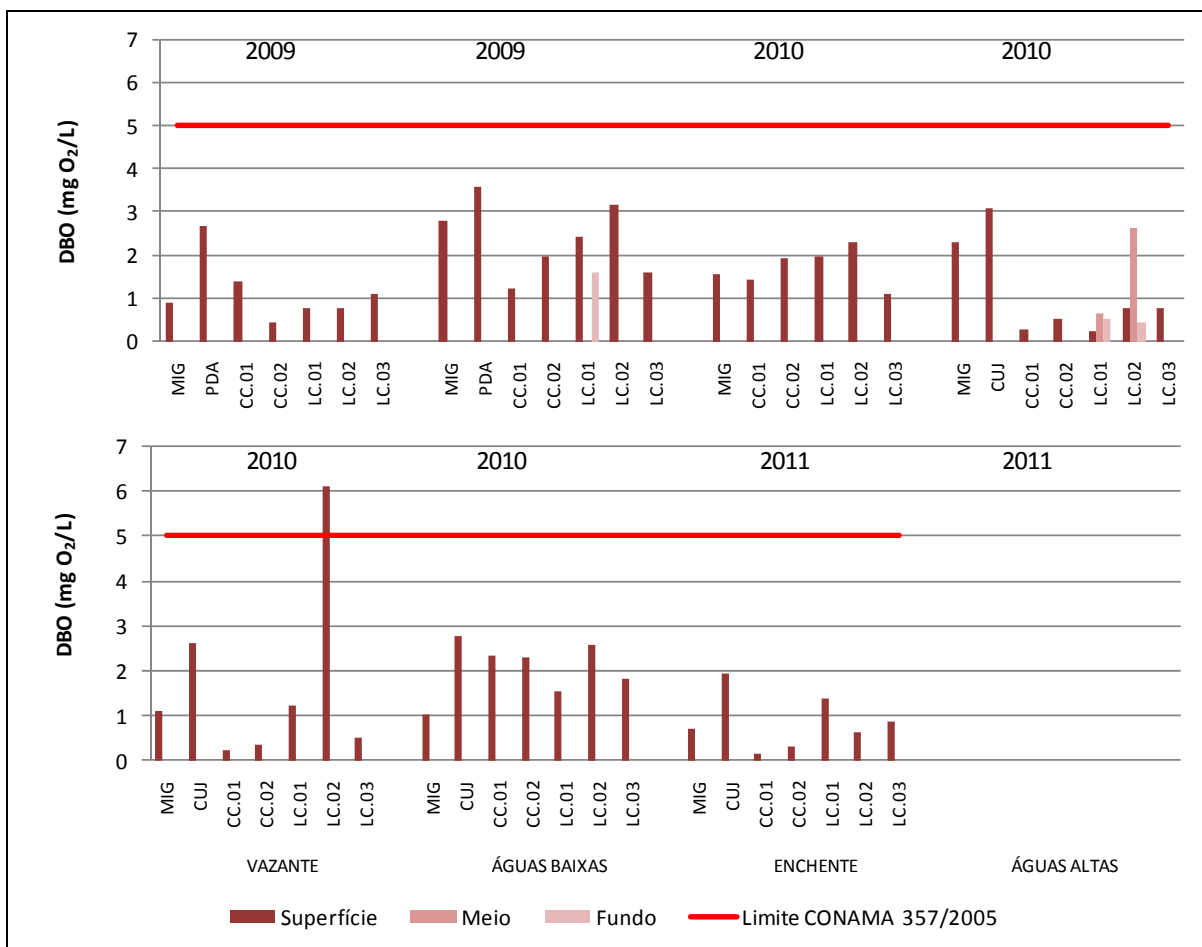


Figura 5.1-80 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

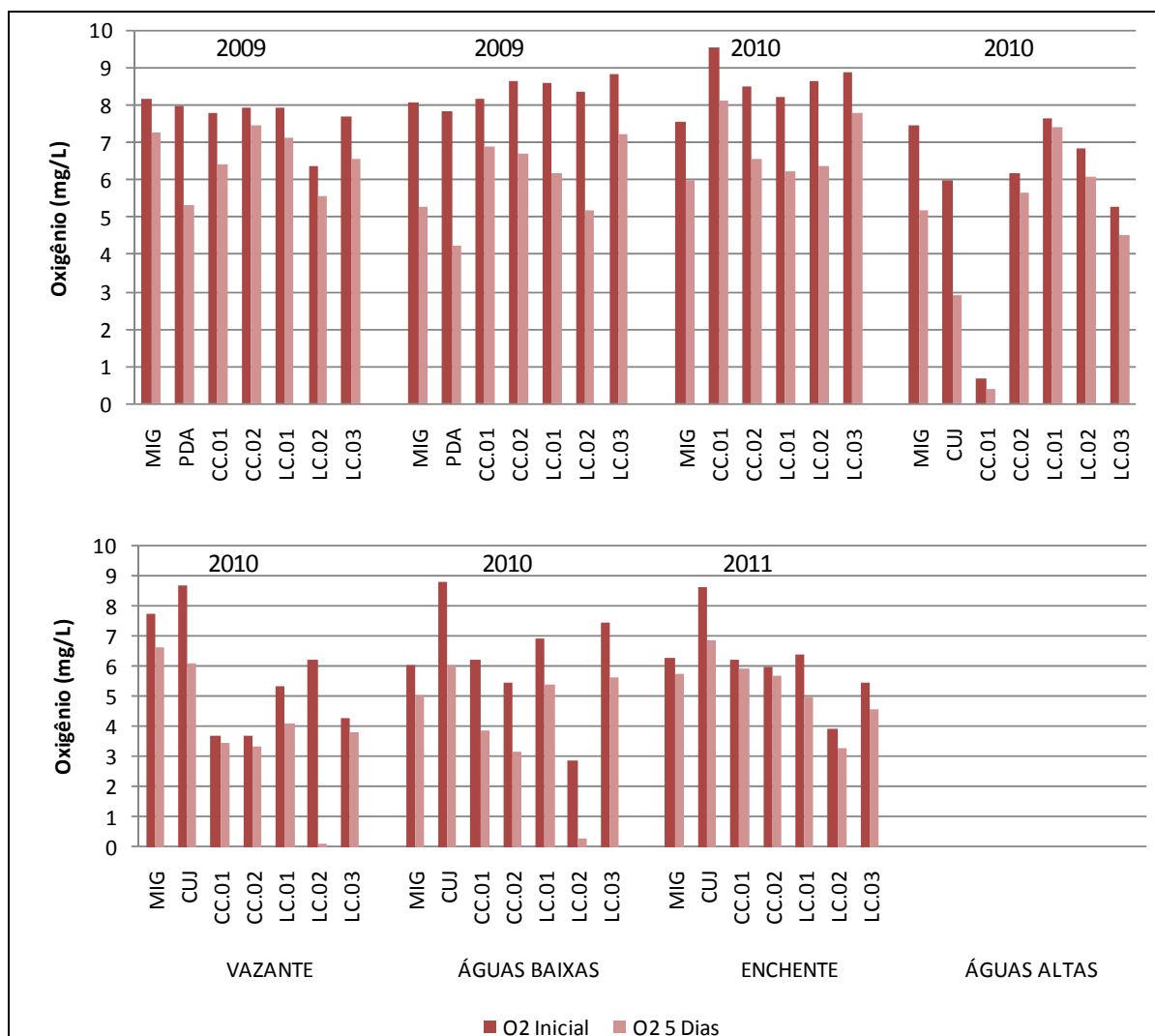


Figura 5.1-81 - O<sub>2</sub> inicial e O<sub>2</sub> 5 dias nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Todas as estações de monitoramento do rio Madeira foram compatíveis com a DBO<sub>5</sub> máxima de 5 mg/L prevista no Art.15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de Classe 2. Já nos tributários, a estação MUC, nas águas altas de 2010, foi a única que não atendeu a esta resolução. Nos lagos e canais todas as estações amostradas, com exceção da estação LC.02 na vazante de 2010, estiveram em conformidade com a referida resolução.

As variáveis oxigênio inicial e oxigênio 5 dias são usadas para cálculo da DBO<sub>5</sub>. A importância dessas variáveis se restringe ao cálculo, não agregando informação, sendo a DBO<sub>5</sub> a variável de interesse. Desta forma, recomenda-se a exclusão a apresentação gráfica do oxigênio inicial e oxigênio 5 dias, mantendo apenas a DBO<sub>5</sub>.

## 5.1.1.6 - Química I-C

### 5.1.1.6.1 - Demanda química de oxigênio (DQO) e Carbono bioquimicamente oxidável (C.DBO)

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

No rio Madeira, a DQO média variou de  $13,7 \pm 4,7$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009 a  $160 \pm 38$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011, com um valor médio global de  $59 \pm 49$  mg/L (média  $\pm$  DP) para superfície e  $58 \pm 43$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (Figura 5.1-82). Os valores encontrados são próximos aos apresentados no EIA, que relata valor médio de  $40 \pm 16$  mg/L (média  $\pm$  DP). O carbono bioquimicamente oxidável (C.DBO) é a DBO de compostos orgânicos, excluindo a quantidade necessária para a oxidação de compostos inorgânicos, como a amônia (nitrogênio bioquimicamente oxidável) e o íon ferroso (APHA, 1998). O C.DBO médio variou de  $0,5 \pm 0,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 a  $1,5 \pm 1,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009, com valor médio global de  $0,8 \pm 0,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) para superfície e  $0,8 \pm 1,0$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (Figura 5.1-83). Como pode ser visto, o C.DBO foi praticamente idêntico à DBO<sub>5</sub>, indicando que a oxidação biológica de compostos inorgânicos no rio Madeira é ínfima.



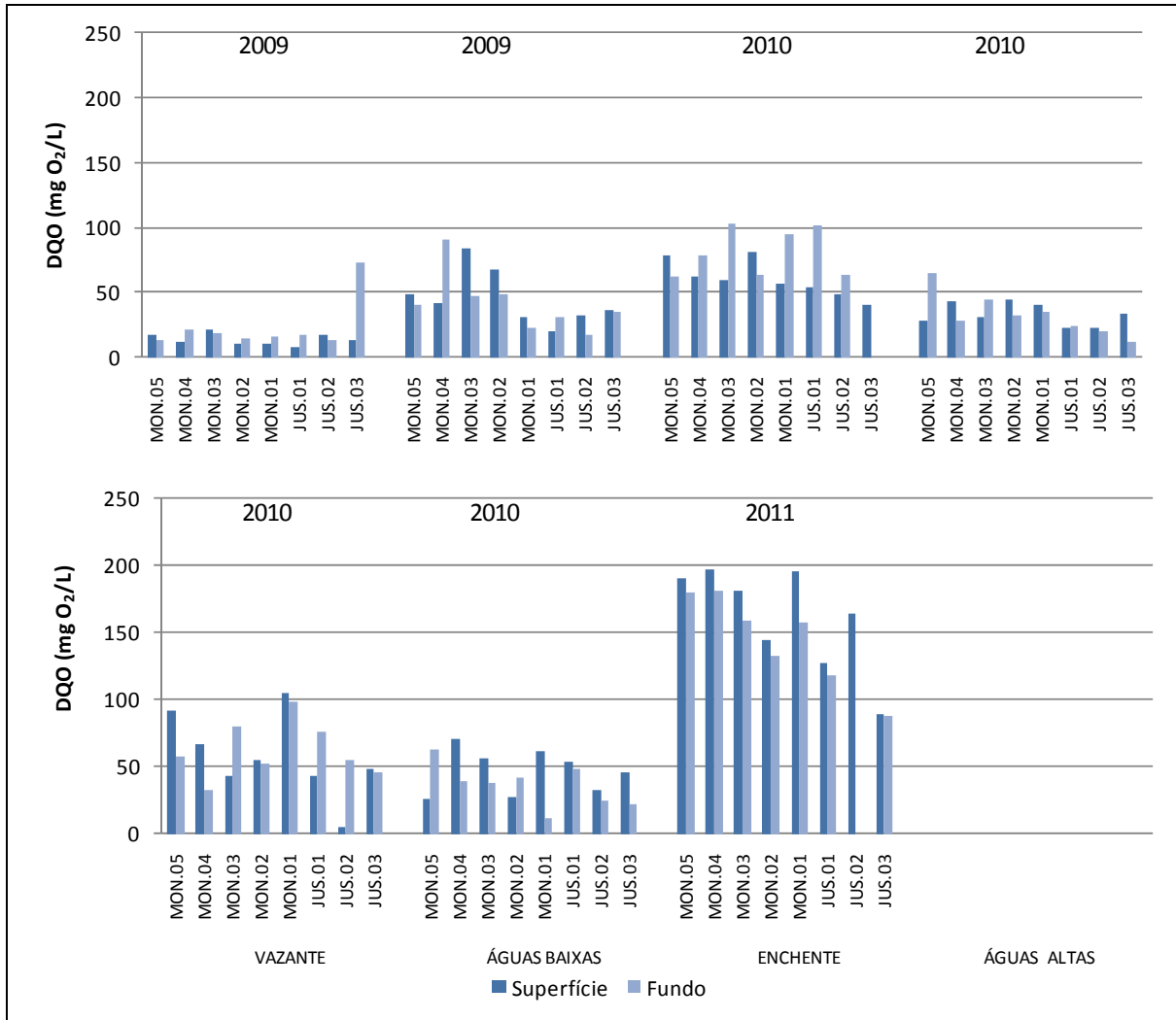


Figura 5.1-82 - Demanda química de oxigênio (DQO) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

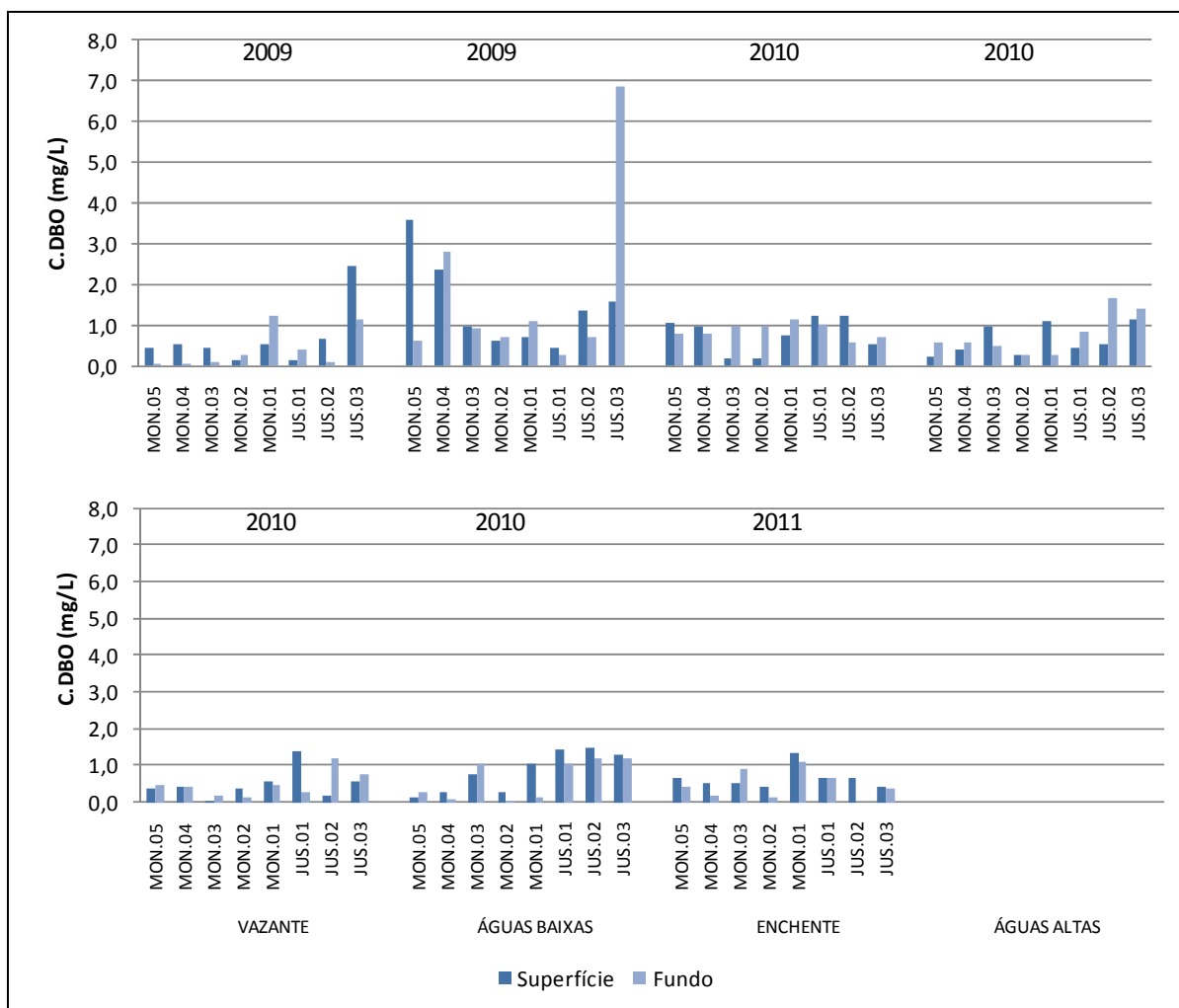


Figura 5.1-83 - Carbono bioquimicamente oxidável (C.DBO) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

A DQO dos tributários foi bastante inferior com relação à do rio Madeira. Os valores médios oscilaram entre  $3,5 \pm 3,2$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009 e  $65 \pm 27$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010, com valor médio global de  $19 \pm 22$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-84). Nenhum padrão pôde ser observado na distribuição da DQO nos tributários, tendo em vista a grande variação espaço-temporal. O C.DBO dos tributários foi praticamente idêntico à  $DBO_5$ , mostrando que a oxidação biológica de compostos inorgânicos nesses ambientes também é inexistente. Os valores médios oscilaram entre  $0,6 \pm 0,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010 e vazante de 2010 e  $1,3 \pm 2,0$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010, com valor médio global de  $0,8 \pm 0,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-85).

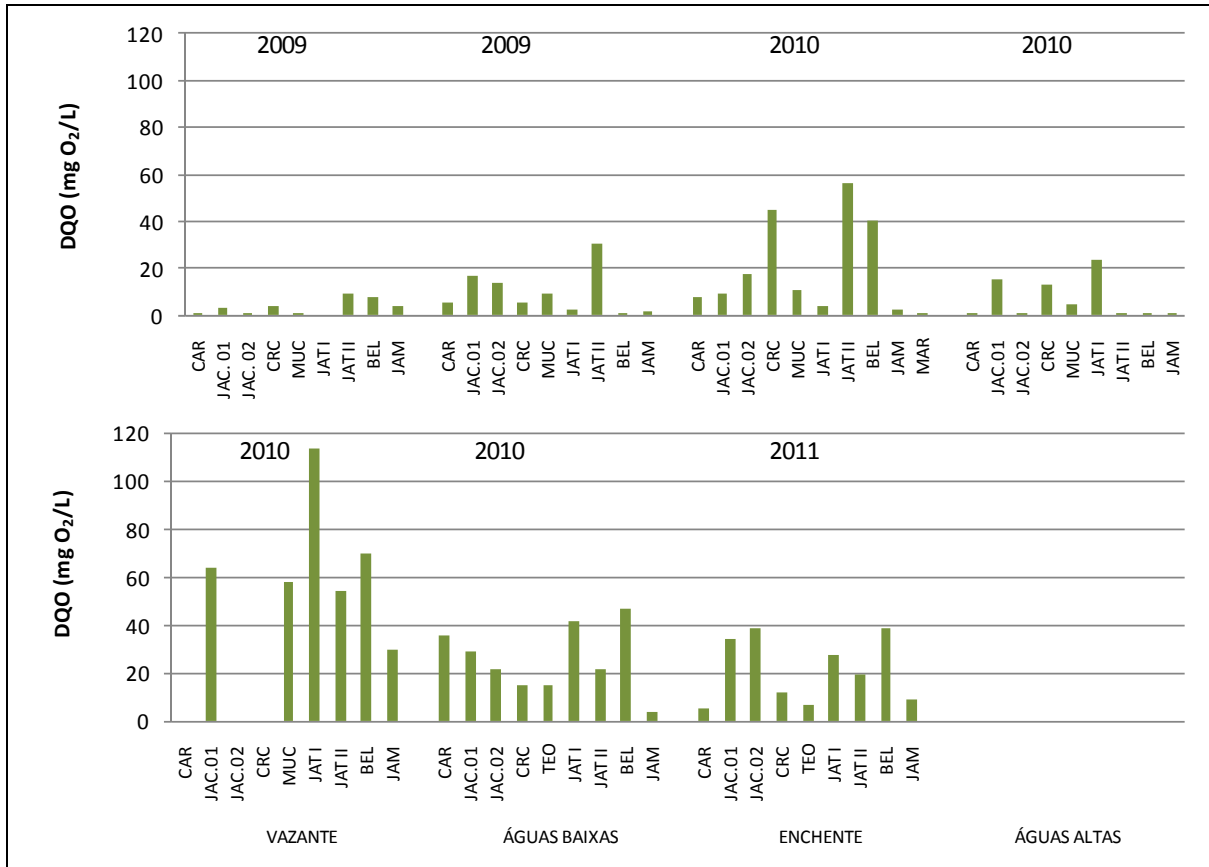


Figura 5.1-84 - Demanda química de oxigênio (DQO) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

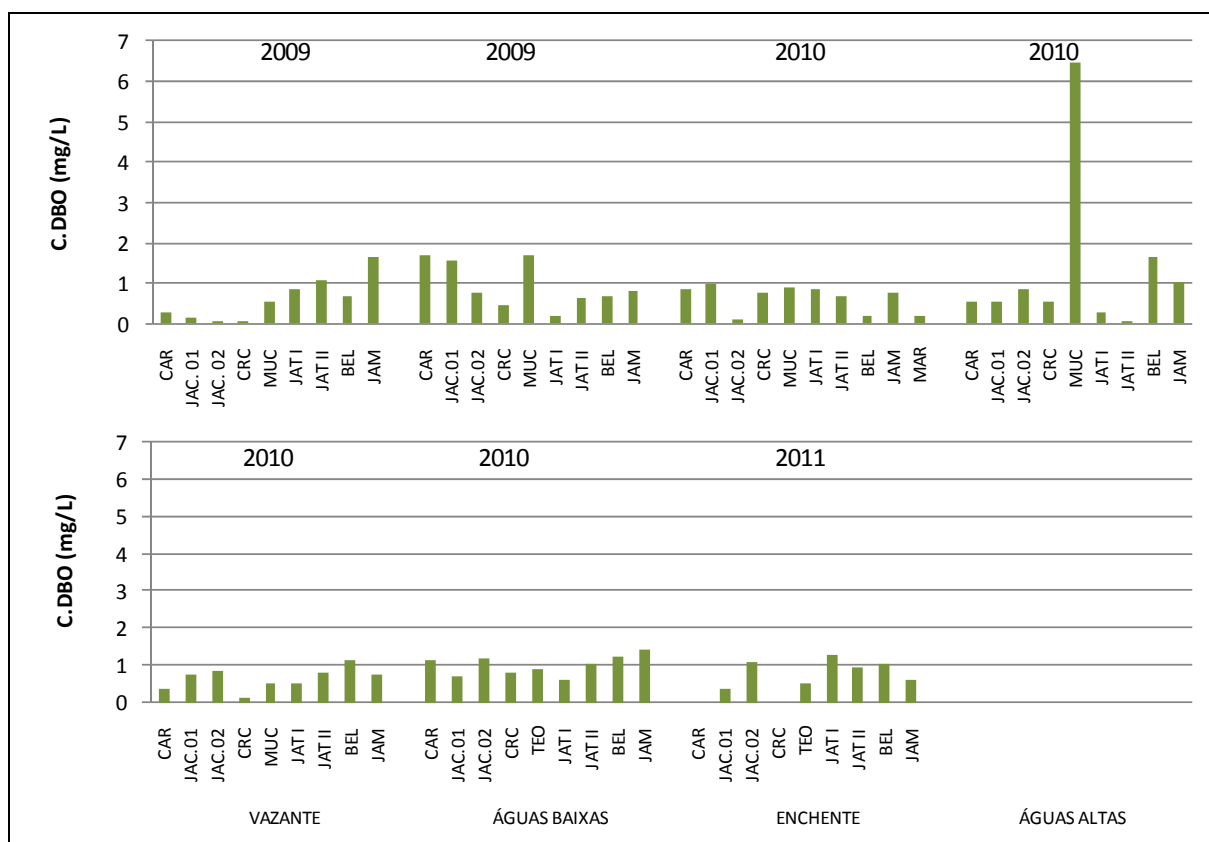


Figura 5.1-85 - Carbono bioquimicamente oxidável (C.DBO) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos lagos e canais, a DQO foi geralmente mais baixa do que no rio Madeira e relativamente parecida com os tributários. Os valores médios oscilaram entre  $3,9 \pm 3,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 e  $57 \pm 16$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 com valor médio global de  $23 \pm 25$  mg/L (média  $\pm$  DP) para superfície e  $30 \pm 37$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (Figura 5.1-86). Houve bastante variação espaço-temporal, não podendo ser traçado nenhum padrão na distribuição da DQO nos lagos e canais. Uma alta variação espacial-temporal era esperada uma vez que tratam-se de ambientes diferentes e isolados entre si e que foram amostrados em períodos hidrológicos diferentes. O C.DBO foi praticamente idêntico à DBO<sub>5</sub>, mostrando que é ínfima a oxidação biológica de matéria inorgânica nos lagos e canais. O C.DBO médio variou entre  $0,9 \pm 0,6$  mg/L na enchente de 2011 e  $2,5 \pm 0,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009, com valor médio global de  $1,6 \pm 1,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) para superfície e  $0,8 \pm 0,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (Figura 5.1-87).

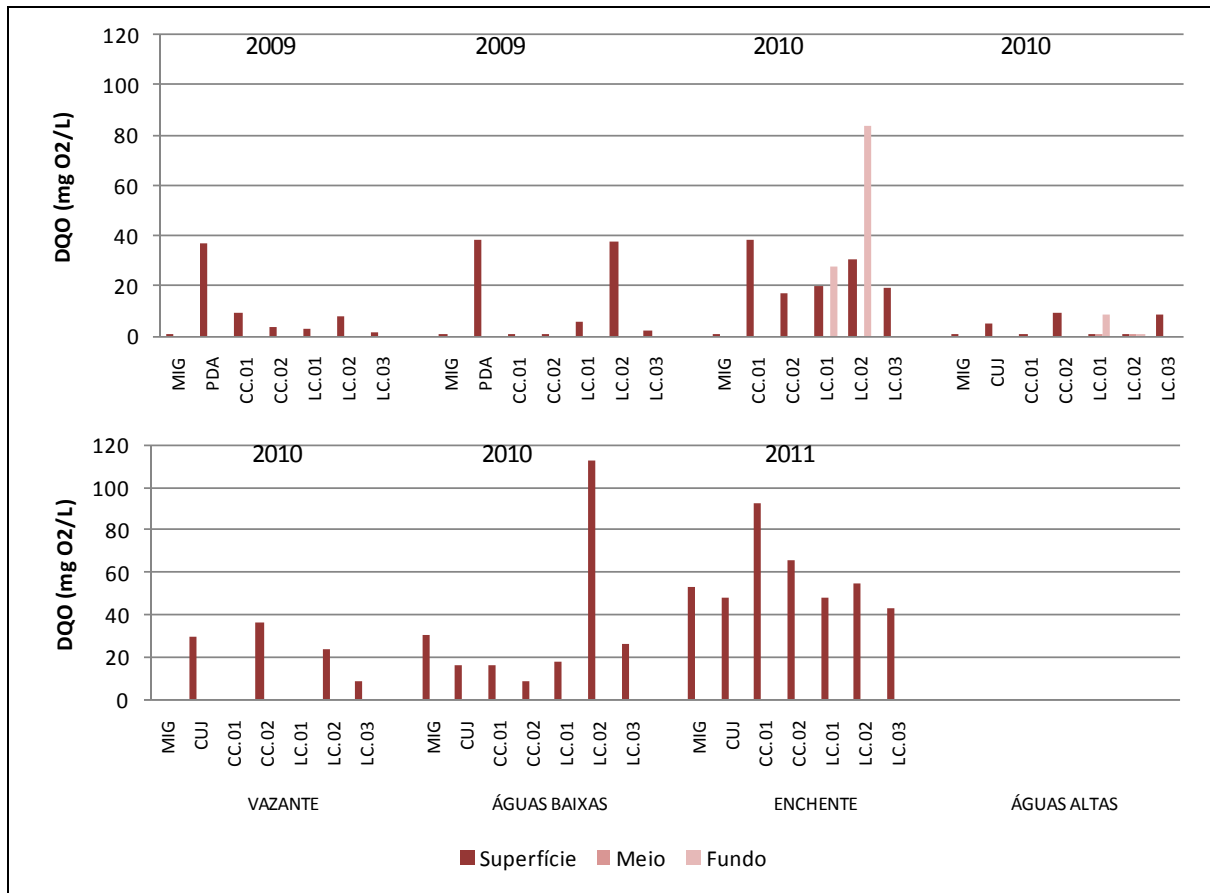


Figura 5.1-86 - Demanda química de oxigênio (DQO) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

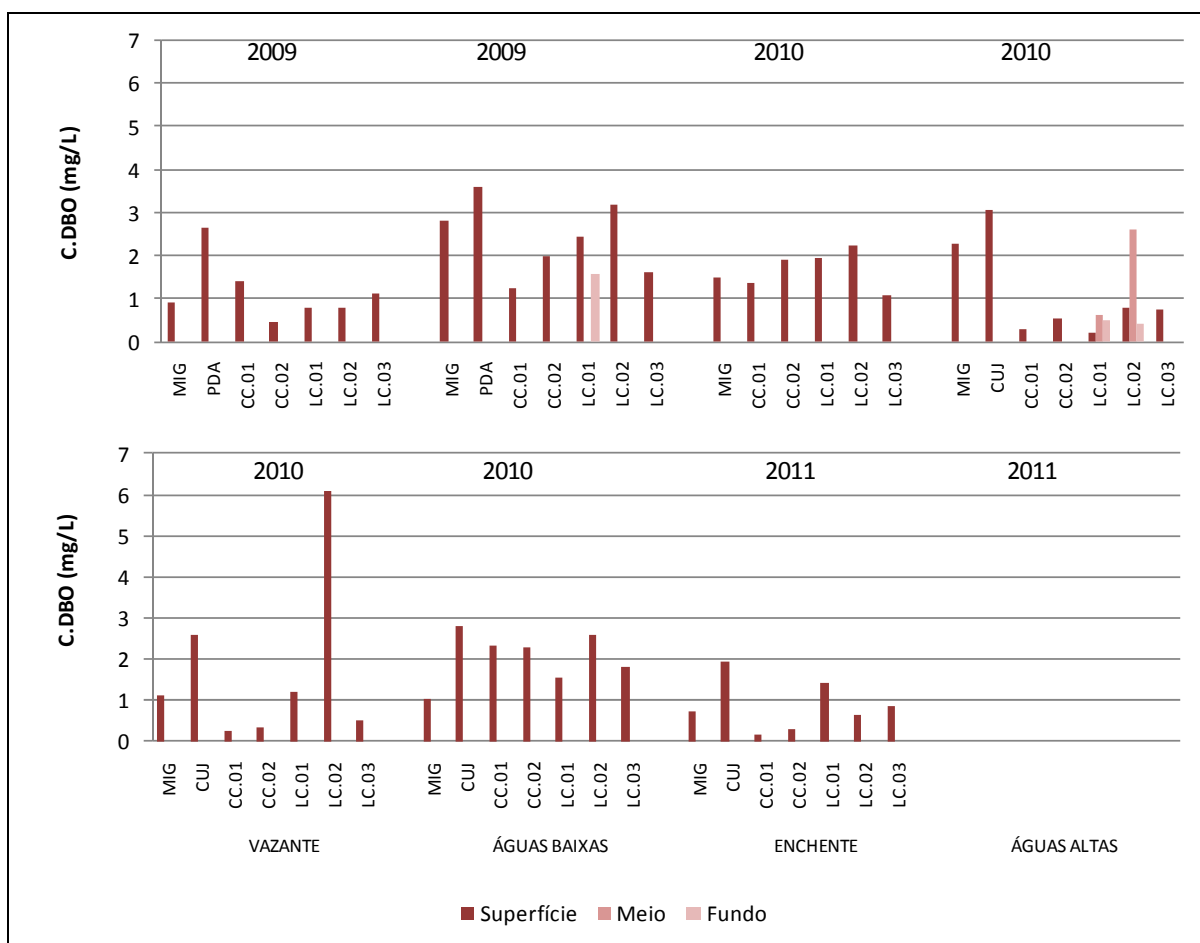


Figura 5.1-87 - Carbono bioquimicamente oxidável (C.DBO) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

O carbono bioquimicamente oxidável se refere à DBO de compostos orgânicos, excluindo os compostos inorgânicos. Como nos ambientes estudados não é observada DBO de compostos inorgânicos, recomenda-se a exclusão da apresentação gráfica dessa variável, uma vez que seus resultados são idênticos aos apresentados para a DBO<sub>5</sub>.

### 5.1.1.7 - Química I-D

#### 5.1.1.7.1 - $DBO_5.100/O_2$ , $O_2.100/DQO$ , $DBO_5.100/DQO$ e $O_2.100/(DBO_5+DQO)$

O oxigênio presente no rio Madeira foi suficiente para atender aos requerimentos da  $DBO_5$  durante todo o período estudado, uma vez que a  $DBO_5$  consumiu em média  $10,7 \pm 8,4\%$  (média  $\pm$  DP) do oxigênio presente (**Figura 5.1-88**). Em contrapartida, a concentração de oxigênio foi sempre inferior à quantidade demandada pela DQO, com o oxigênio sendo em média  $25,3 \pm 28,7\%$  (média  $\pm$  DP) desta (**Figura 5.1-89**). A  $DBO_5$  do rio Madeira foi somente  $2,9 \pm 3,0\%$  (média  $\pm$  DP) da DQO ao longo do período de estudo (**Figura 5.1-90**), o que mostra que a maior parte das substâncias presentes no rio Madeira são refratárias à ação biológica. A vazante de 2009 foi o período em que a  $DBO_5$  mais se aproximou da DQO, ao passo que a vazante de 2010 foi o período em que houve maior diferença entre ambas. Levando em conta a  $DBO_5$  e a DQO conjuntamente, foi possível constatar que o oxigênio presente não foi suficiente para atender aos requerimentos, haja vista que o oxigênio representou, em média,  $24 \pm 27\%$  (média  $\pm$  DP) das demandas (**Figura 5.1-91**).

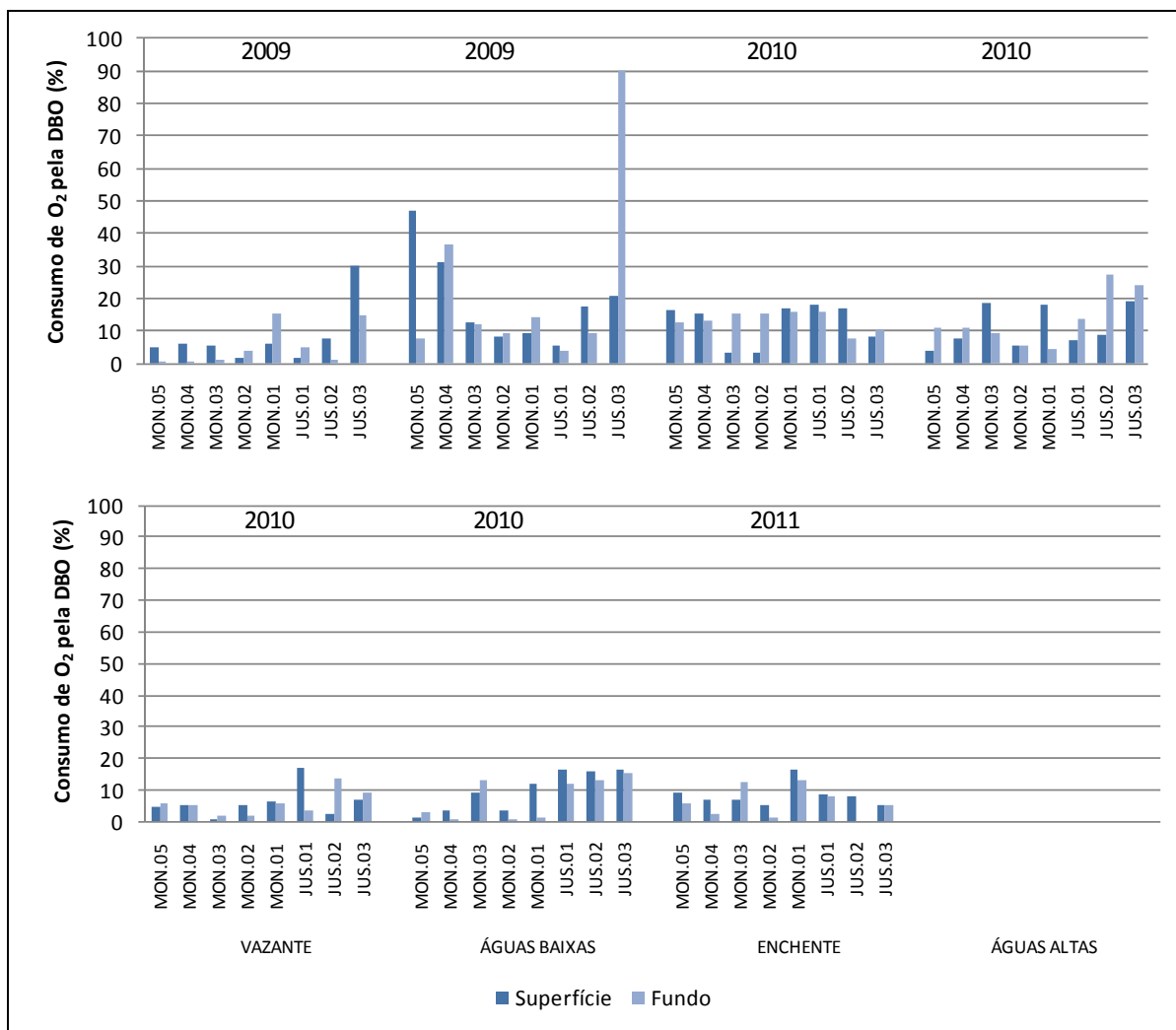


Figura 5.1-88 - Consumo de oxigênio pela DBO<sub>5</sub> no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



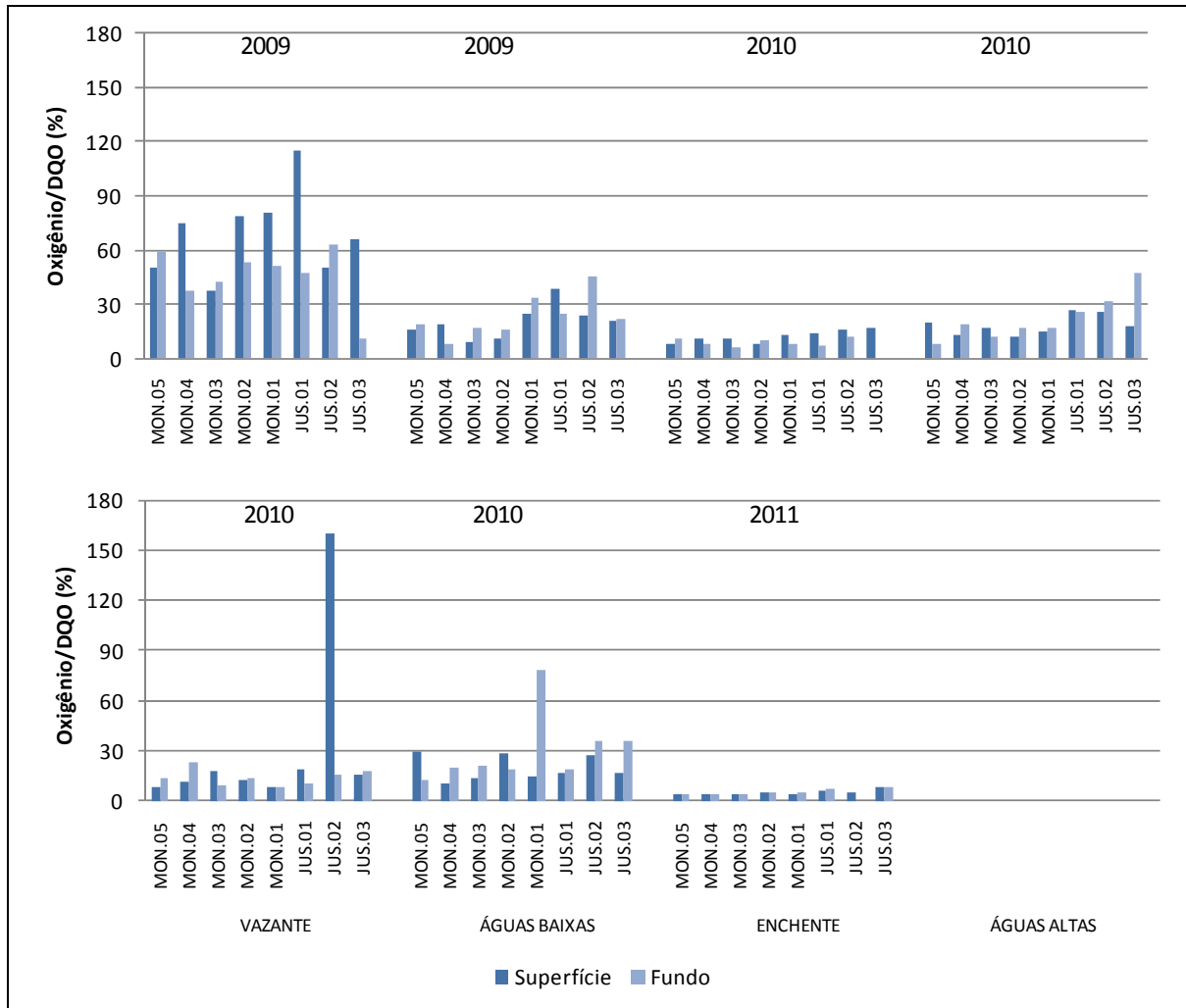


Figura 5.1-89 - Porcentagem de oxigênio em relação à DQO no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

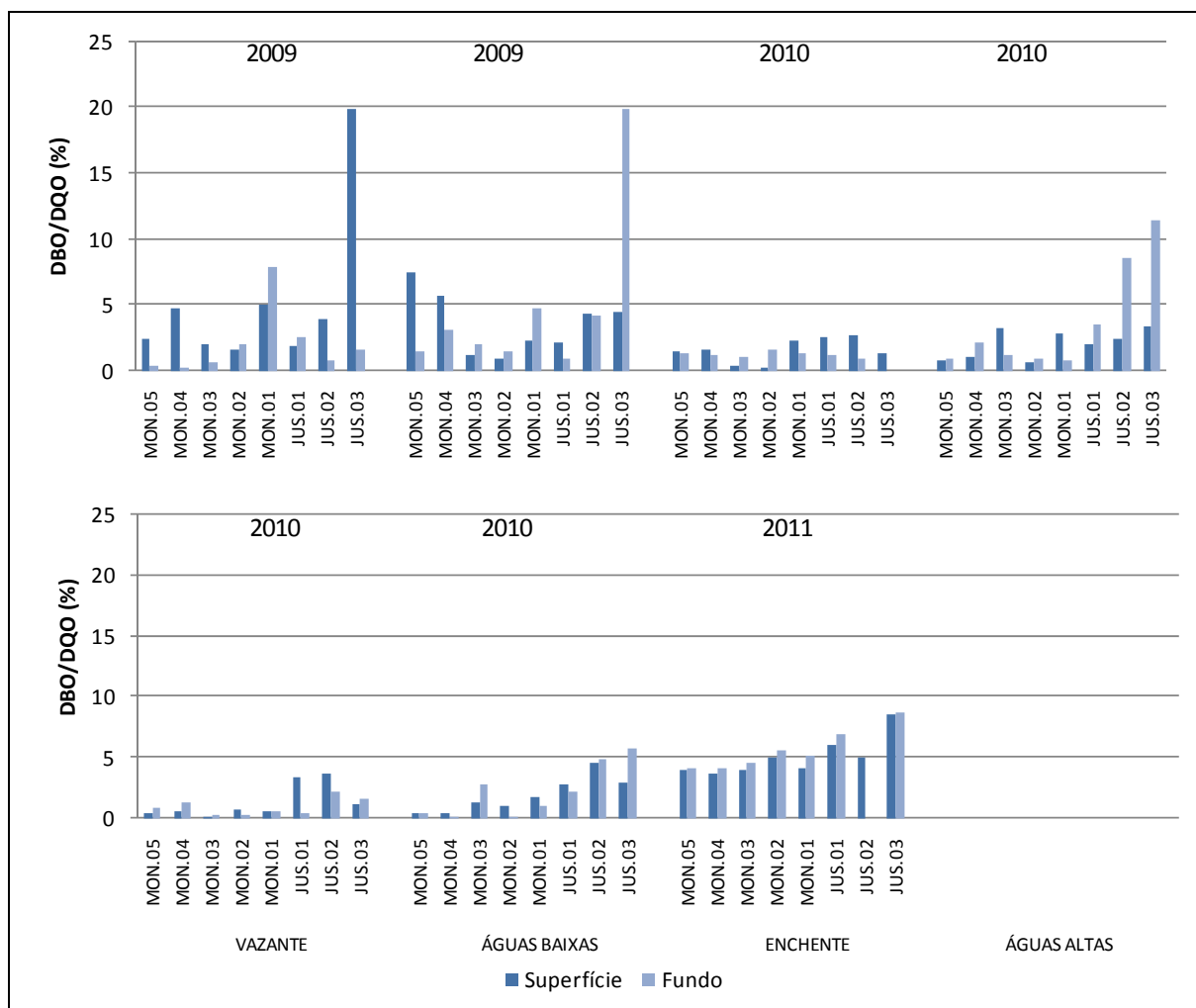


Figura 5.1-90 - Porcentagem da DBO<sub>5</sub> em relação à DQO no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

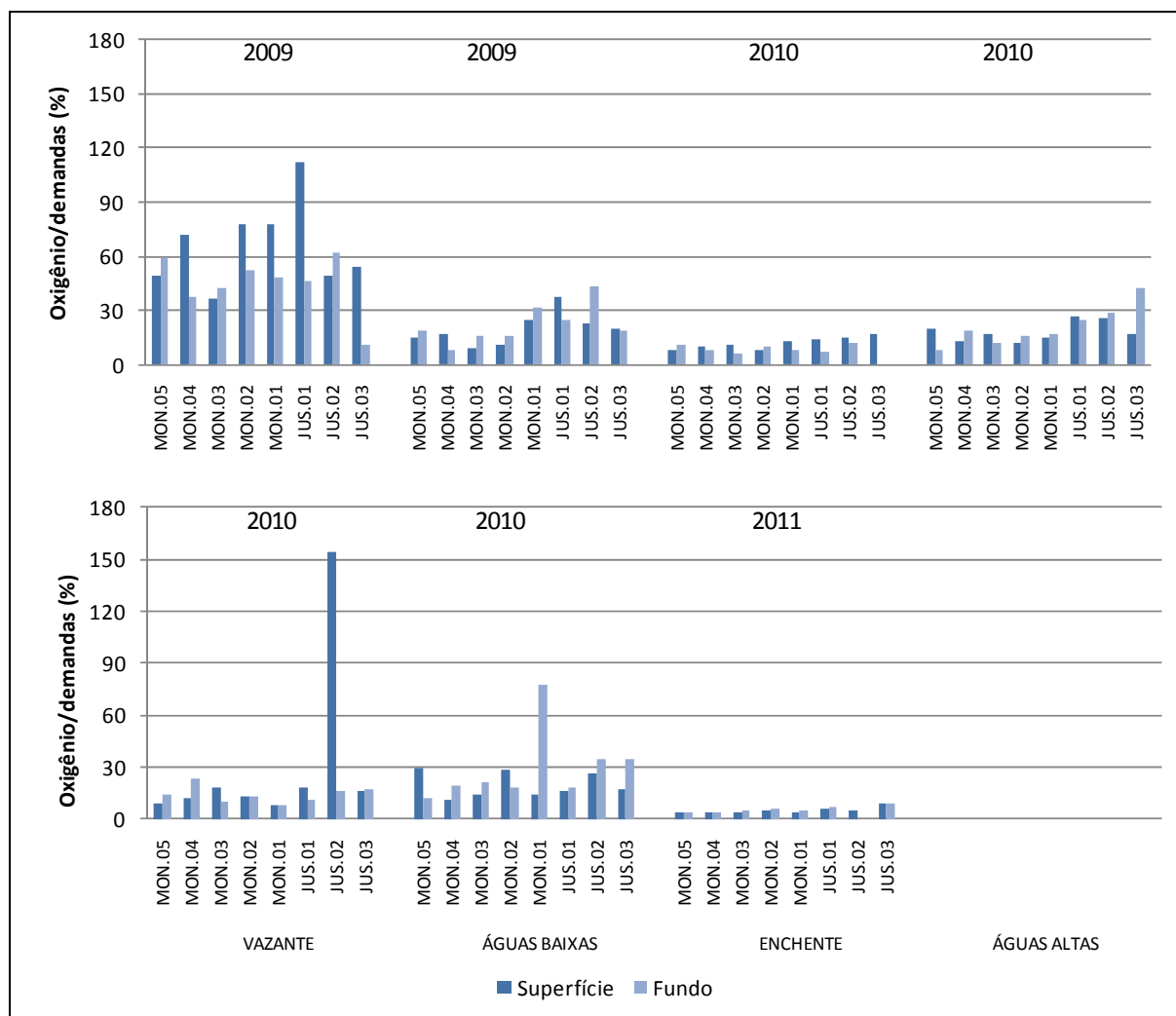


Figura 5.1-91 - Porcentagem de oxigênio em relação às demandas (DBO5 + DQO) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos tributários, houve mais variação nas relações de consumo do que no rio Madeira. O oxigênio presente foi suficiente para atender aos requerimentos da DBO<sub>5</sub> nas águas baixas de 2009 e 2010, na enchente de 2010 e 2011 e na vazante de 2009 e 2010. Entretanto nas estações MUC e BEL nas águas altas de 2010, o oxigênio não foi suficiente para atender à DBO<sub>5</sub> (Figura 5.1-92). Ressalta-se que o déficit de oxigênio nessas estações deveu-se em maior parte às baixas concentrações desse elemento e não a altos valores de DBO<sub>5</sub>. Levando em consideração todo o período de estudo, a DBO<sub>5</sub> consumiu em média 40 ± 1119% do oxigênio presente. Em relação à DQO, o oxigênio presente só não foi suficiente para atender a seus requerimentos na enchente de 2010, águas baixas de 2010 e enchente de 2011, quando o oxigênio foi em média 85 ± 103% (média ± DP), 39 ± 35% (média ± DP) e 37 ± 37% (média ± DP) da DQO, respectivamente. Contudo,

contabilizando-se todos os períodos, o oxigênio foi em média  $171 \pm 242\%$  (média  $\pm$  DP) da DQO (Figura 5.1-93). A  $DBO_5$  dos tributários foi em média  $24 \pm 34\%$  (média  $\pm$  DP) da DQO (Figura 5.1-94), o que evidencia que a maior parte das substâncias encontradas nesses rios são resistentes à decomposição biológica. O oxigênio presente nas águas dos tributários foi em média  $145 \pm 208\%$  (média  $\pm$  DP) da soma das demandas ( $DBO_5 + DQO$ ), sendo que somente na enchente de 2010, águas baixas de 2010 e enchente de 2011 o oxigênio não satisfaz aos requerimentos das demandas somadas, sendo em média  $71 \pm 81\%$  (média  $\pm$  DP),  $34 \pm 25\%$  (média  $\pm$  DP),  $36 \pm 36\%$  (média  $\pm$  DP), respectivamente (Figura 5.1-95).

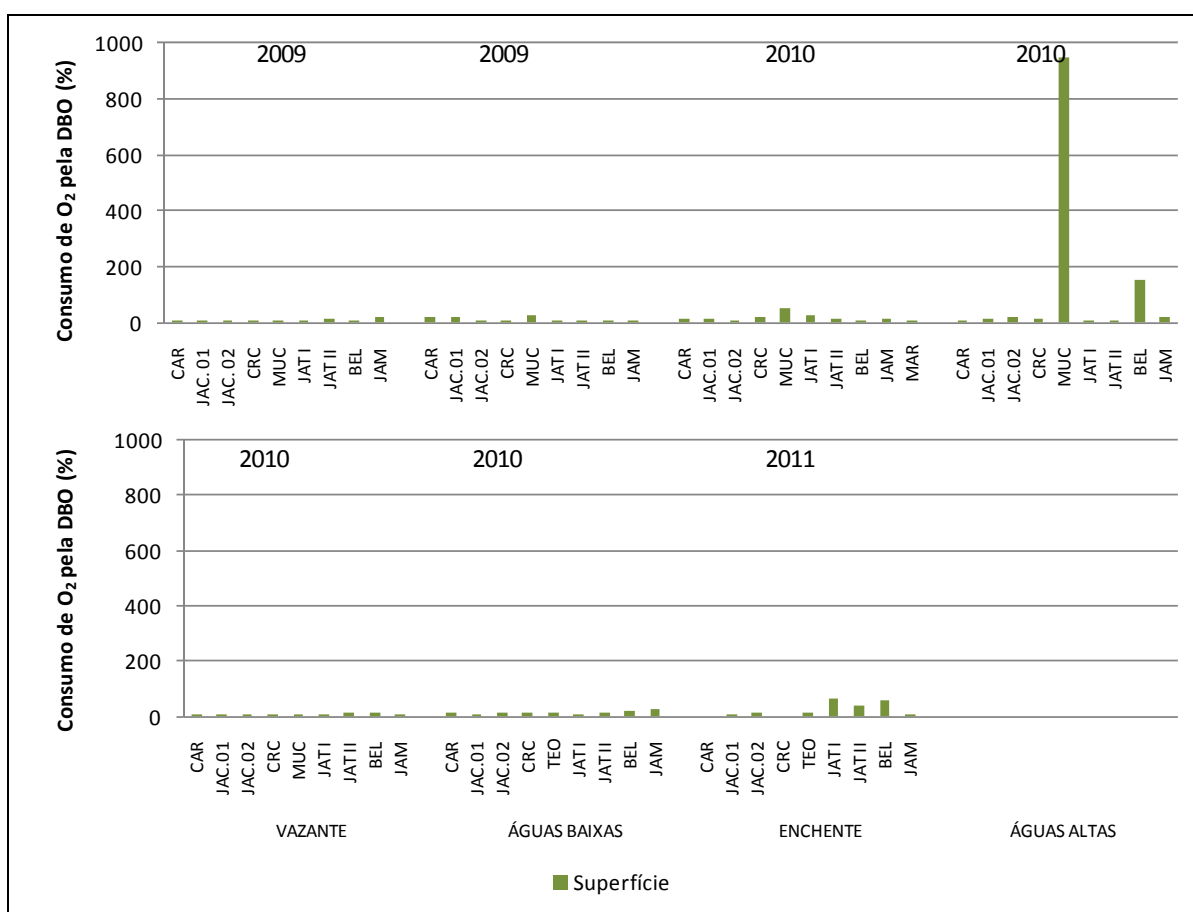


Figura 5.1-92 - Consumo de oxigênio pela  $DBO_5$  nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

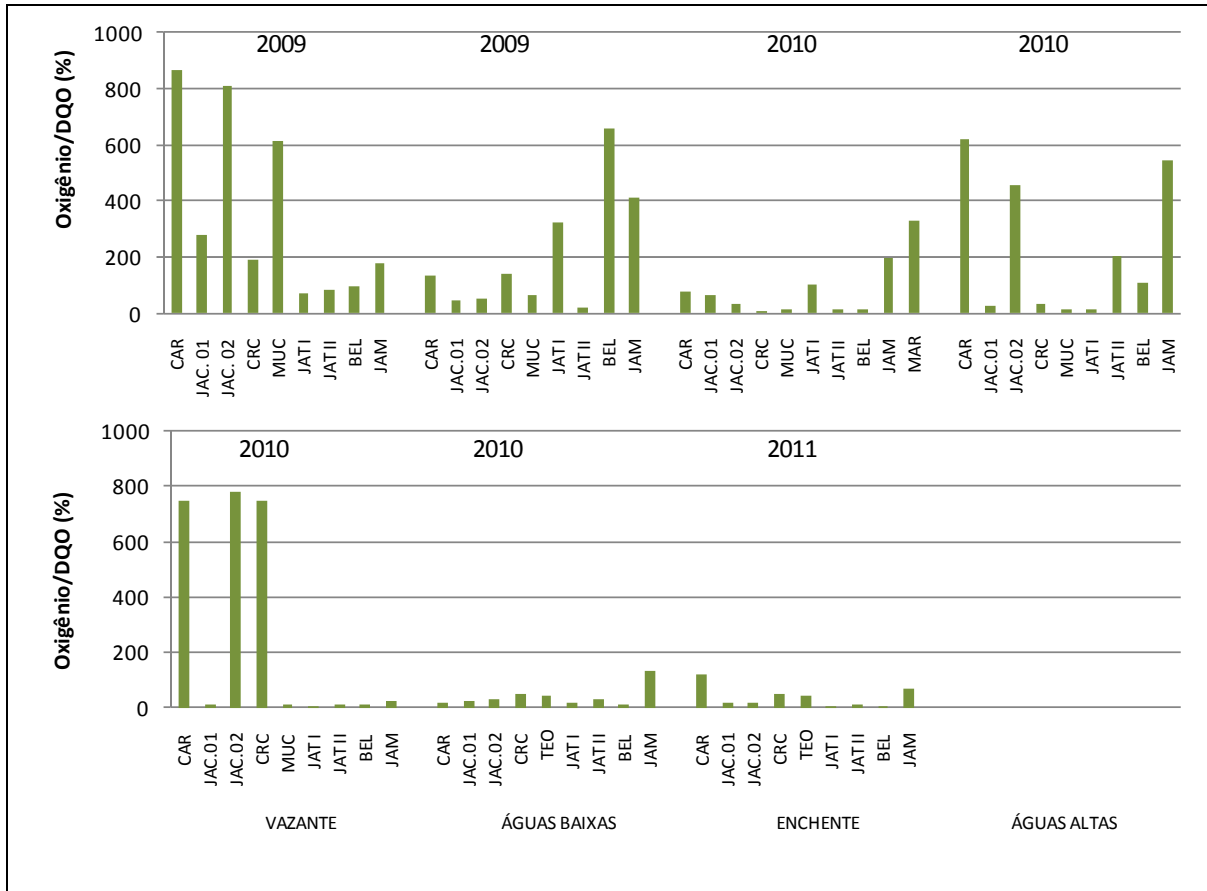


Figura 5.1-93 - Porcentagem de oxigênio em relação à DQO nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

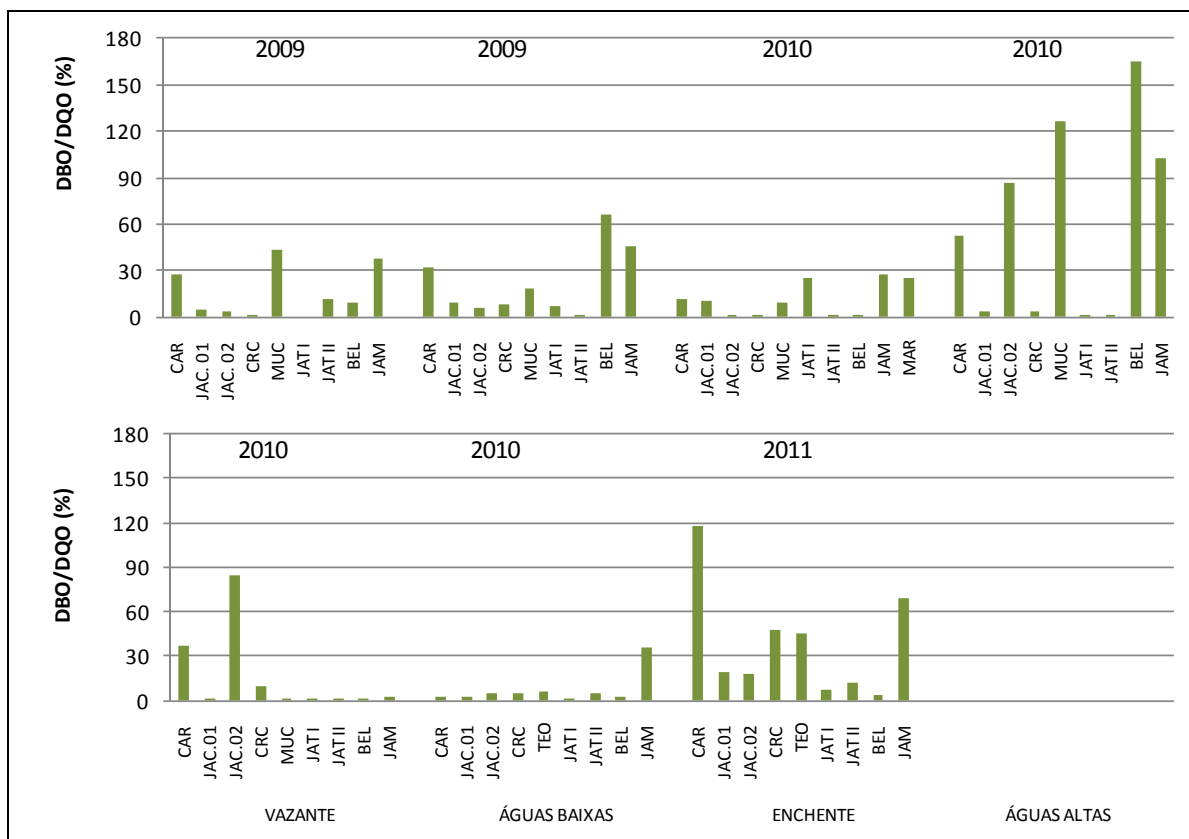


Figura 5.1-94 - Porcentagem da DBO<sub>5</sub> em relação à DQO nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

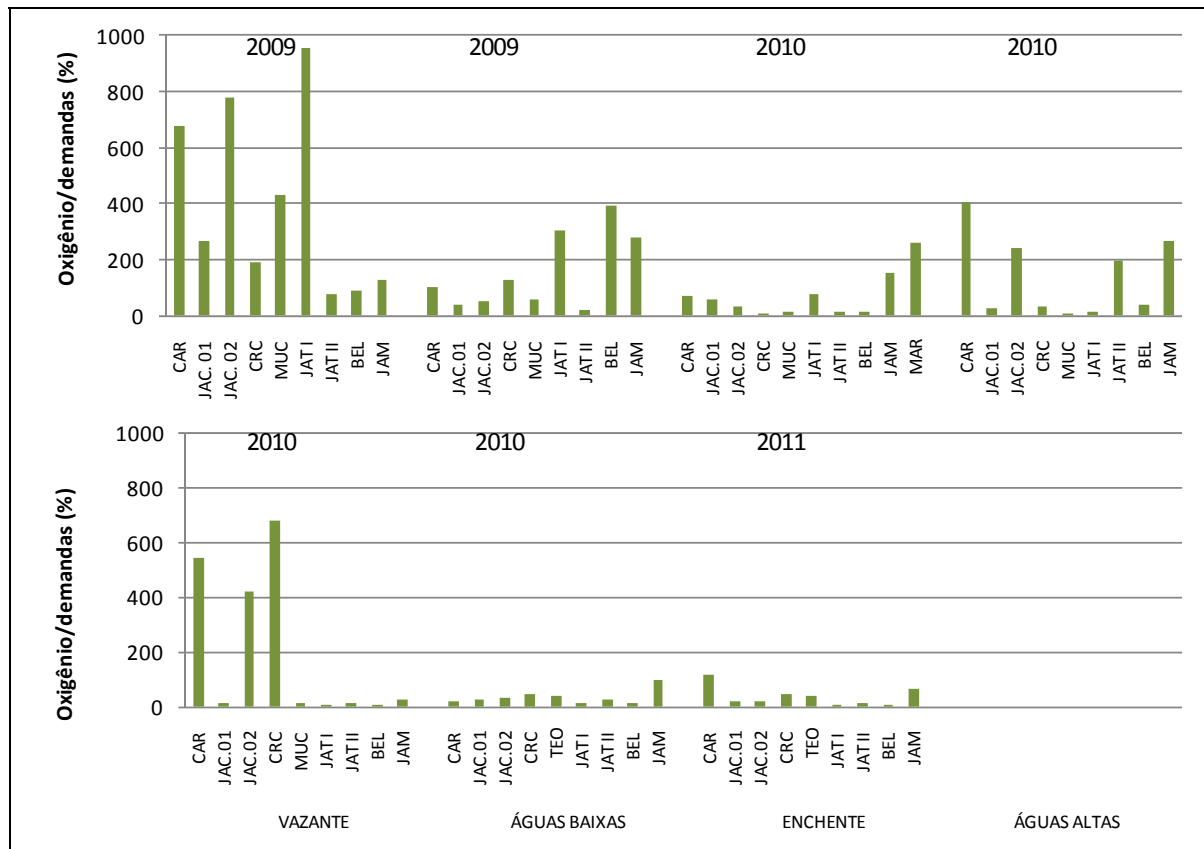


Figura 5.1-95 - Porcentagem de oxigênio em relação às demandas (DBO<sub>5</sub> + DQO) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos lagos e canais, a DBO<sub>5</sub> requereu em média  $31 \pm 32\%$  (média  $\pm$  DP) do oxigênio presente, o que mostra que o oxigênio foi suficiente para atender à DBO<sub>5</sub> (Figura 5.1-96). O oxigênio presente nos lagos e canais foi em média  $178 \pm 229\%$  (média  $\pm$  DP) da DQO (Figura 5.1-97). Esses resultados estatísticos sugerem que, em média, o oxigênio dos lagos e canais foi suficiente para atender à DQO, com exceção dos períodos de águas baixas de 2010 e enchente de 2011. Contudo, houve sempre bastante variação, devido às diferenças na concentração de oxigênio e da DQO em cada ambiente amostrado. Assim como no rio Madeira e nos tributários, a DQO foi bastante superior à DBO<sub>5</sub> nos lagos e canais, haja vista que a DBO<sub>5</sub> foi em média  $43 \pm 63\%$  (média  $\pm$  DP) da DQO (Figura 5.1-98). Esses dados estatísticos evidenciam que grande parte das substâncias presentes nos lagos e canais é de difícil decomposição biológica. O oxigênio presente foi em média  $101 \pm 118\%$  (média  $\pm$  DP) das demandas somadas (DBO<sub>5</sub> e DQO). Contudo, na enchente de 2010 e 2011 e nas águas baixas de 2010 o oxigênio presente foi menor do que a soma das demandas, tendo sido, em termos percentuais,  $52 \pm 79\%$ ,  $11 \pm 3$  e  $32 \pm 17$  (média  $\pm$  DP), respectivamente (Figura 5.1-99).

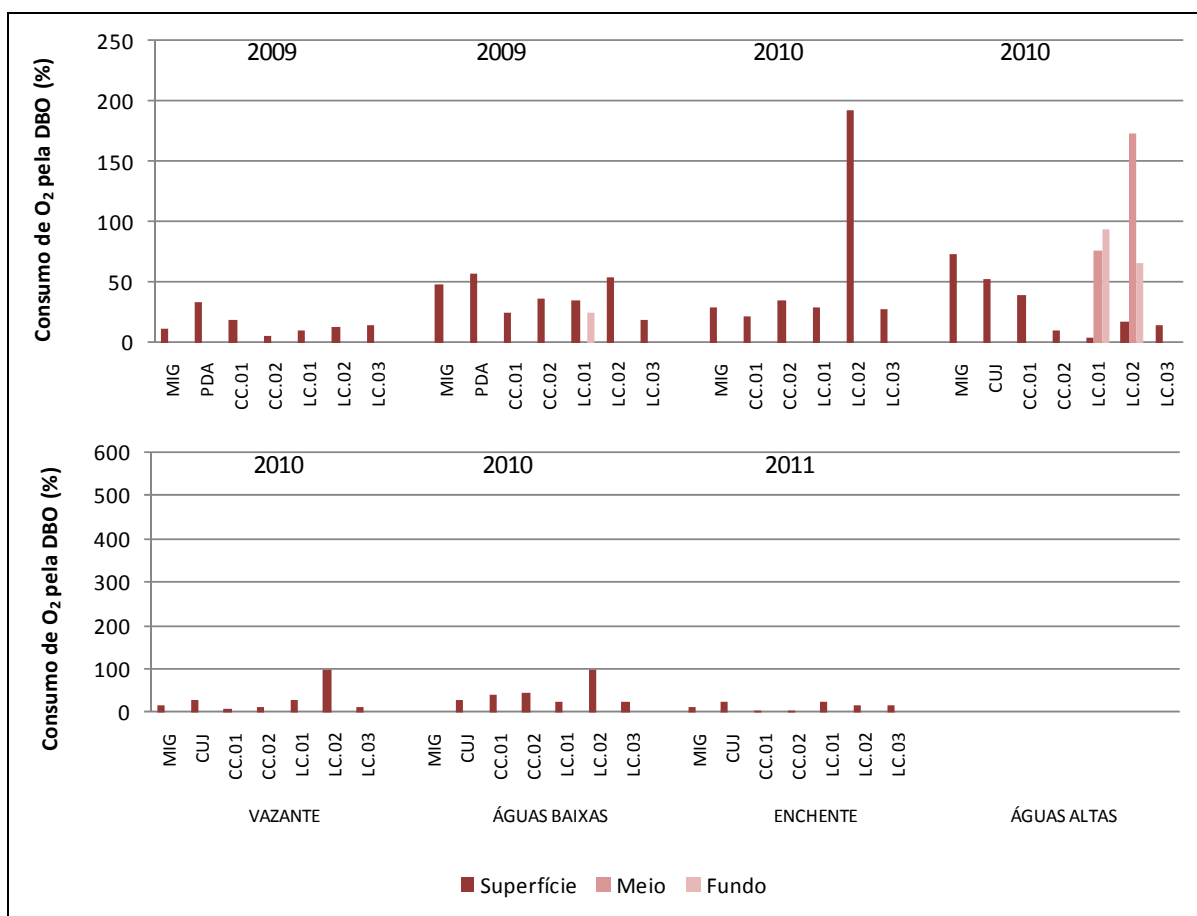


Figura 5.1-96 - Consumo de oxigênio pela DBO<sub>5</sub> nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



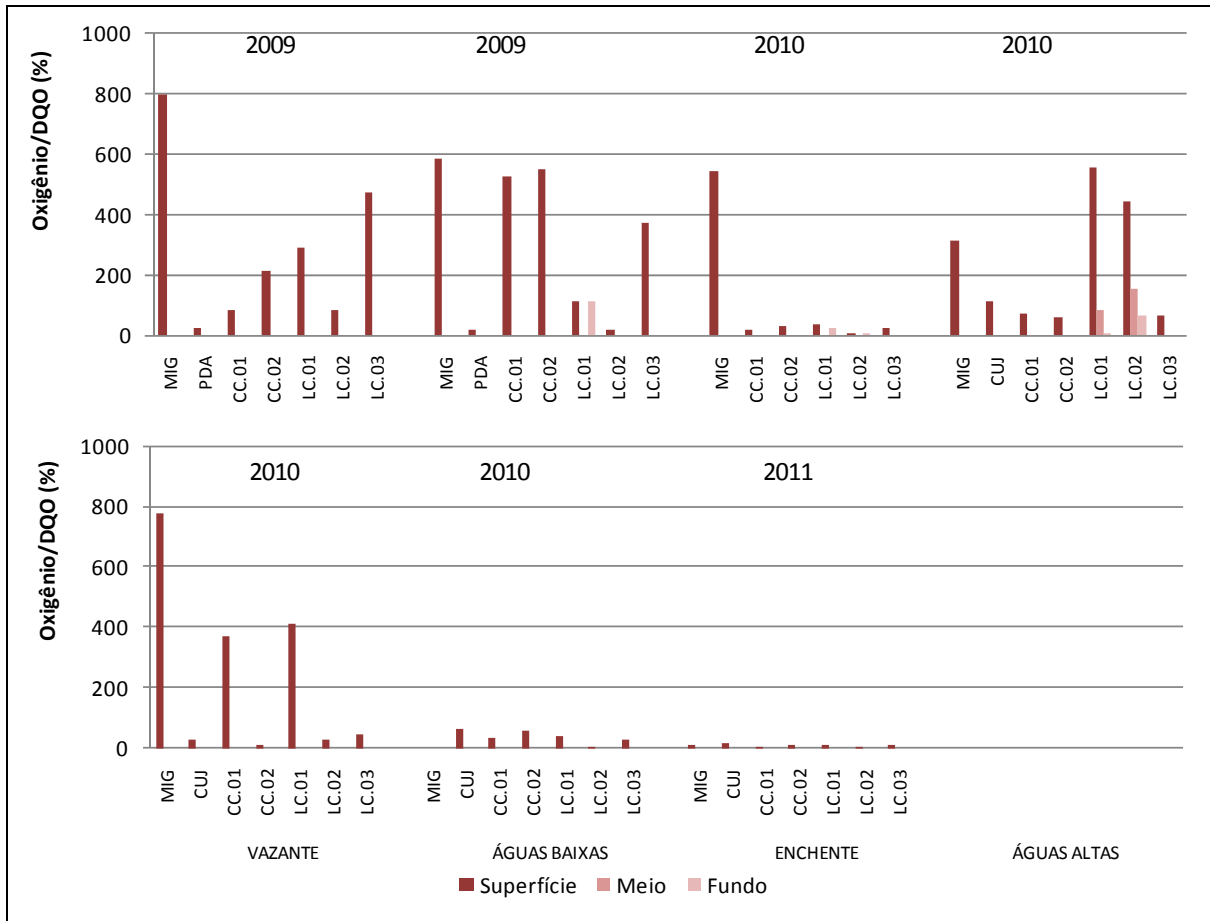


Figura 5.1-97 - Porcentagem de oxigênio em relação à DQO nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

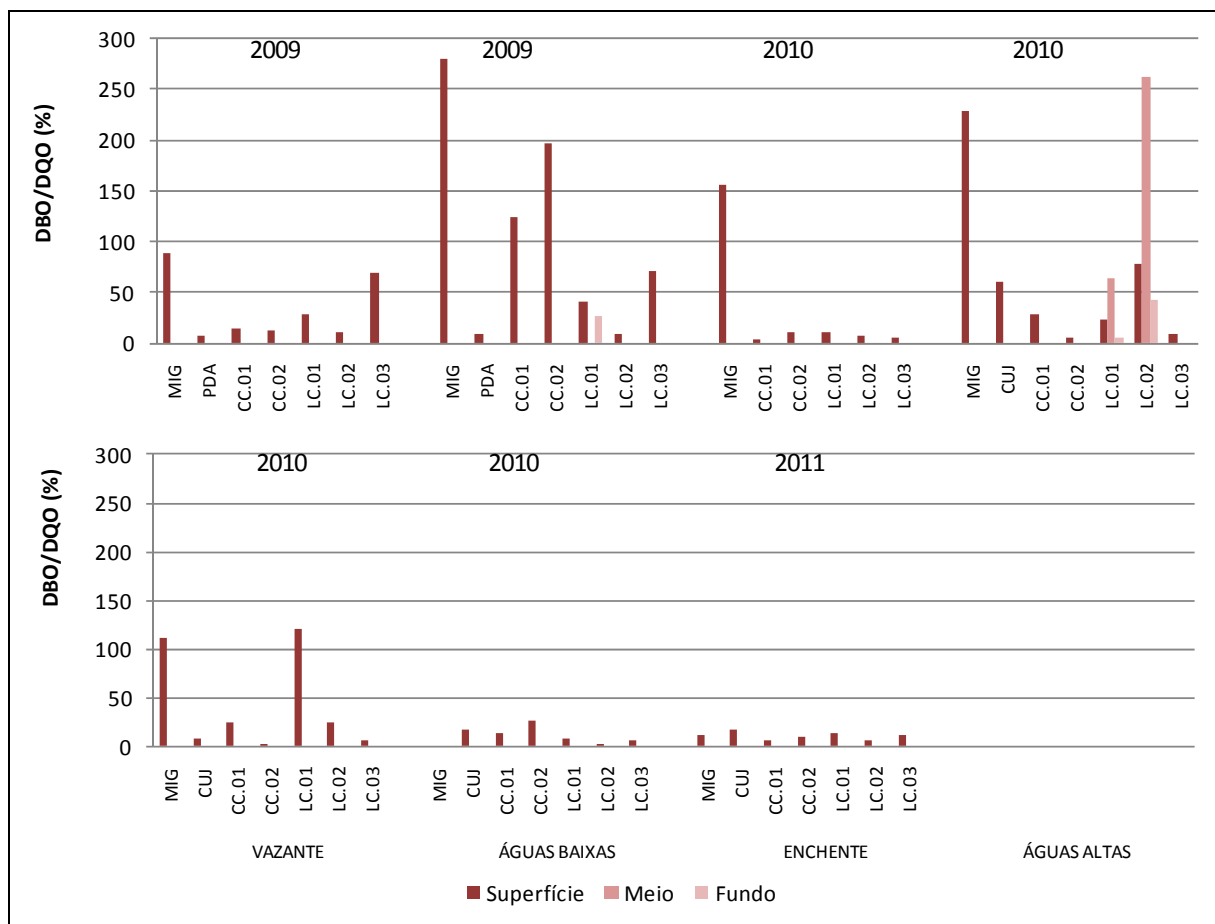


Figura 5.1-98 - Porcentagem da DBO<sub>5</sub> em relação à DQO nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

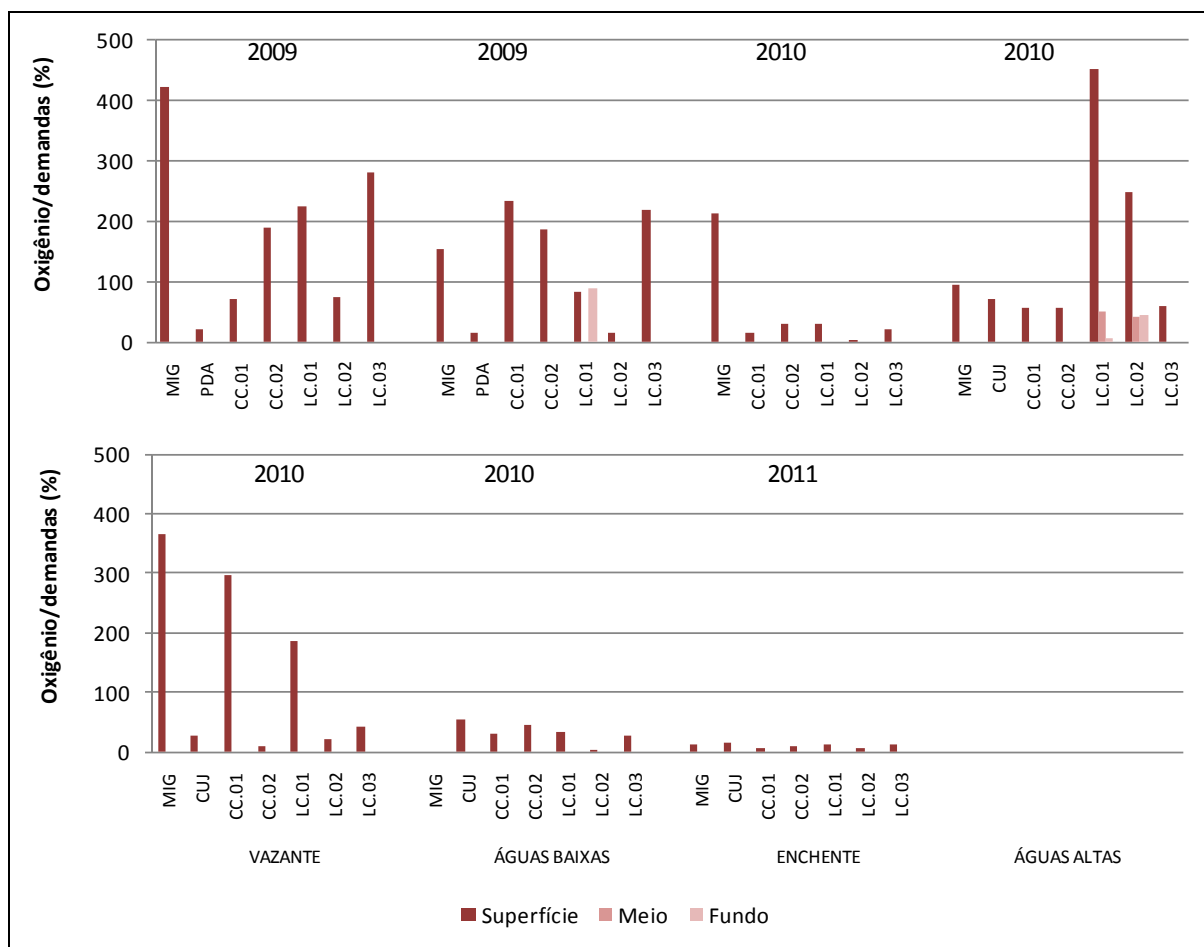


Figura 5.1-99 - Porcentagem de oxigênio em relação às demandas (DBO<sub>5</sub> + DQO) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Os resultados obtidos neste monitoramento sugerem a existência de um déficit de oxigênio no rio Madeira. Todavia, as águas do rio Madeira encontram-se sempre bem oxigenadas, o que é consequência da intensa turbulência na interface água-atmosfera, responsável por promover a constante oxigenação da coluna d'água por meio da difusão. Sistemas amazônicos comumente apresentam déficit potencial de oxigênio devido ao intenso aporte de material terrestre (Melack & Fisher, 1983). Os resultados estatísticos das relações de demanda e consumo de oxigênio estão em concordância com o que foi relatado no EIA. Naquele documento, é relatado que o oxigênio presente é suficiente para atender à DBO<sub>5</sub>, mas não à DQO, assim como no presente estudo. Além disso, o EIA relata que a DBO<sub>5</sub> é somente 3% da DQO, ao passo que os resultados encontrados no atual estudo mostraram um valor praticamente idêntico (3,4%). Por outro lado pode ser dito que os tributários, lagos e canais não apresentaram, em geral, déficit potencial de

oxigênio, apesar de ter sido observado déficit potencial em algumas estações. Ressalta-se, porém, que a ocorrência de déficit potencial de oxigênio é uma situação comum em ecossistemas amazônicos.

Os cálculos das relações de consumo são feitos com base nos resultados de DQO, DBO<sub>5</sub> e oxigênio dissolvido. Como eles repetem o que já fora apresentado nos itens sobre DQO, DBO<sub>5</sub> e oxigênio dissolvido, recomenda-se que seja excluída a apresentação gráfica dessas variáveis.

#### **5.1.1.7.2 - Carbono inorgânico, Carbono orgânico total, Carbono total e Carbono orgânico refratário**

O carbono inorgânico (CI) não variou muito ao longo do período estudado, sendo os valores mínimo e máximo 2,9 e 12,3 mg/L, respectivamente. Os valores médios oscilaram entre  $5,4 \pm 0,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010 e  $10,8 \pm 0,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011, com média global de  $7,8 \pm 2,2$  mg/L (média  $\pm$  DP) na superfície e  $7,9 \pm 1,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) no fundo (**Figura 5.1-100**). Assim como houve pouca variabilidade temporal nas concentrações de CI, também houve pouca variação espacial. A variação entre superfície e fundo foi praticamente inexistente, com valores médios muito próximos. O carbono orgânico total (COT) foi menor nas águas baixas de 2010 ( $3,0 \pm 0,4$  mg/L, média  $\pm$  DP). Valor semelhante a este foi verificado nas águas baixas de 2009. As maiores concentrações de COT foram observadas na enchente de 2010, com  $9,7 \pm 0,7$  mg/L (média  $\pm$  DP). O valor global médio dessa fração foi  $6,6 \pm 3,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) para as amostras de superfície e  $6,9 \pm 3,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) para as amostras de fundo (**Figura 5.1-101**). Em média, 85% do COT foi refratário à ação biológica. O carbono orgânico refratário apresentou média global de  $5,9 \pm 3,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $6,1 \pm 3,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo. Os valores médios oscilaram entre  $2,2 \pm 0,7$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $9,0 \pm 0,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010 (**Figura 5.1-102**). Houve equivalência na composição do carbono total (CT) no rio Madeira, considerando todos os períodos amostrados. A parcela inorgânica contribuiu em média com 53% e a orgânica com 47% do total. O CT não apresentou grande variação espaço-temporal, de forma que as concentrações médias dos períodos oscilaram entre  $10,8 \pm 2,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010 e  $19,7 \pm 1,0$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011, com média global de  $14,2 \pm 3,7$  mg/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-103**).

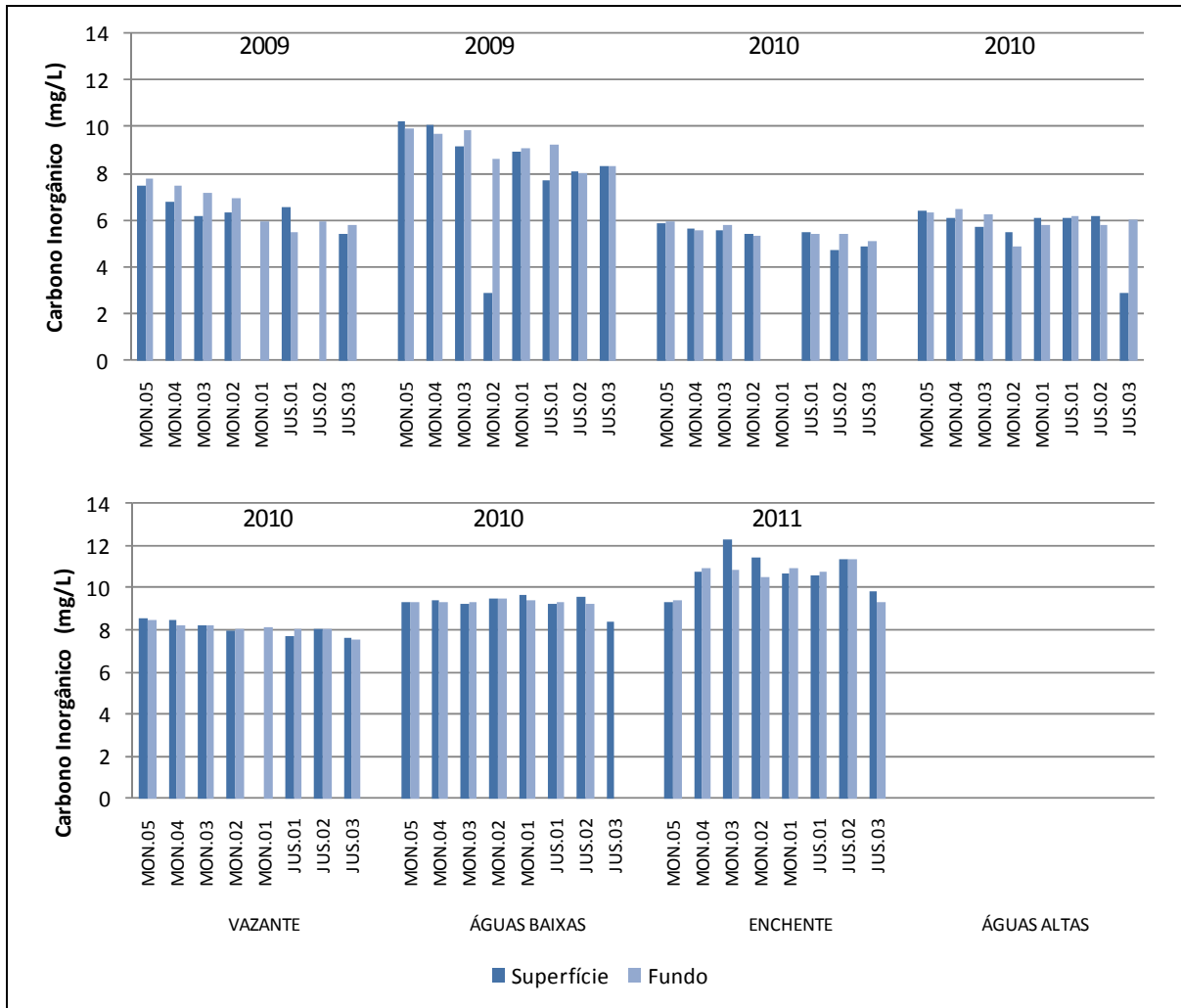


Figura 5.1-100 - Concentrações de carbono inorgânico no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

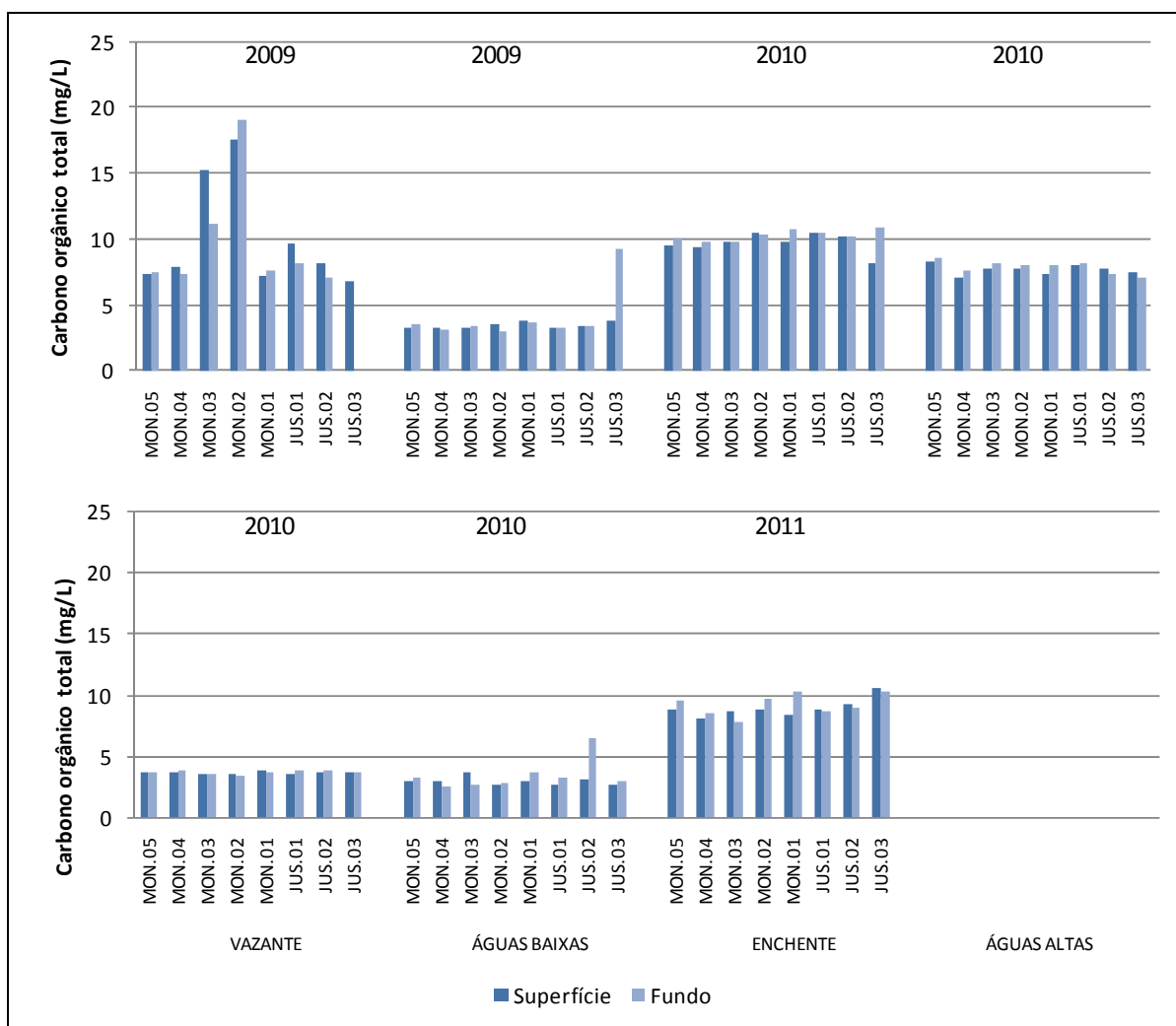


Figura 5.1-101 - Concentrações de carbono orgânico total (COT) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

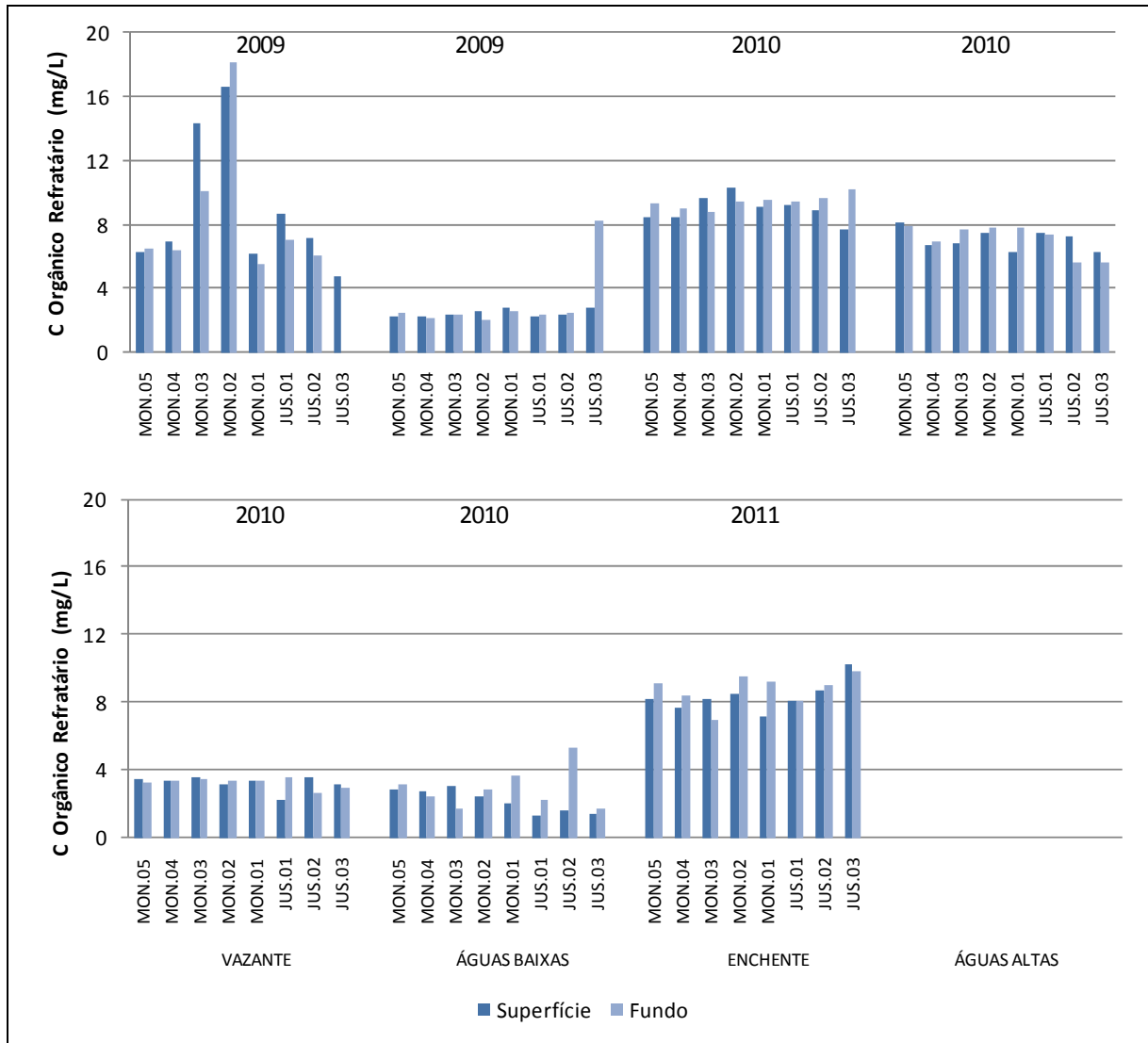


Figura 5.1-102 - Concentrações de carbono orgânico refratário (COR) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

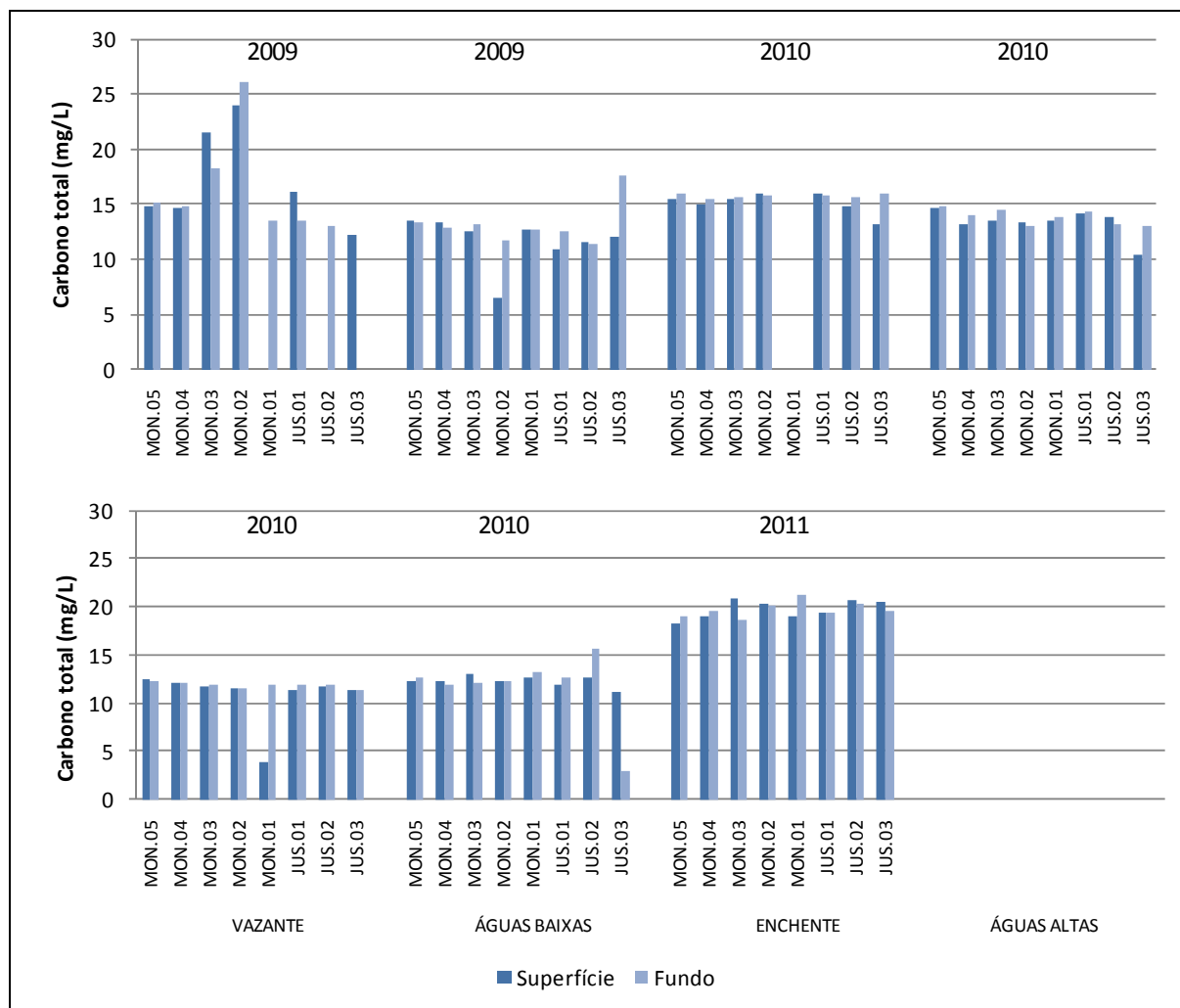


Figura 5.1-103 - Concentrações de carbono total (CT) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos tributários, os valores de carbono inorgânico foram menores que no rio Madeira e semelhantes aos encontrados nos lagos e canais. A concentração média global dessa parcela foi de  $2,9 \pm 1,4$  mg/L (média  $\pm$  DP), de modo que as concentrações médias oscilaram entre  $1,8 \pm 0,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010 e  $3,8 \pm 1,5$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 (Figura 5.1-104). A estação CAR, no rio Caripuna, registrou os valores mais baixos na maioria dos períodos amostrados. As concentrações médias de carbono orgânico total (COT) oscilaram entre  $2,9 \pm 0,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010 e  $8,6 \pm 1,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011. A média global para todos os períodos foi de  $5,1 \pm 2,7$  mg/L (média  $\pm$  DP). As estações MUC, no rio Mucuí, e JAC.02, no rio Jaci Paraná, apresentaram os valores mais altos na maioria



dos períodos amostrados (Figura 5.1-105). A maior parte do COT dos tributários foi refratário à ação biológica (82%). O carbono orgânico refratário apresentou média global de  $4,2 \pm 2,8$  mg/L (média  $\pm$  DP), sendo que os valores médios oscilaram entre  $2,3 \pm 0,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010 e  $8,2 \pm 1,5$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 (Figura 5.1-106). 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 64% do carbono total. A concentração média global de CT foi de  $8 \pm 3,6$  mg/L (média  $\pm$  DP), sendo que os valores médios oscilaram entre  $4,3 \pm 1,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010 e  $12,8 \pm 2,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 (Figura 5.1-107).

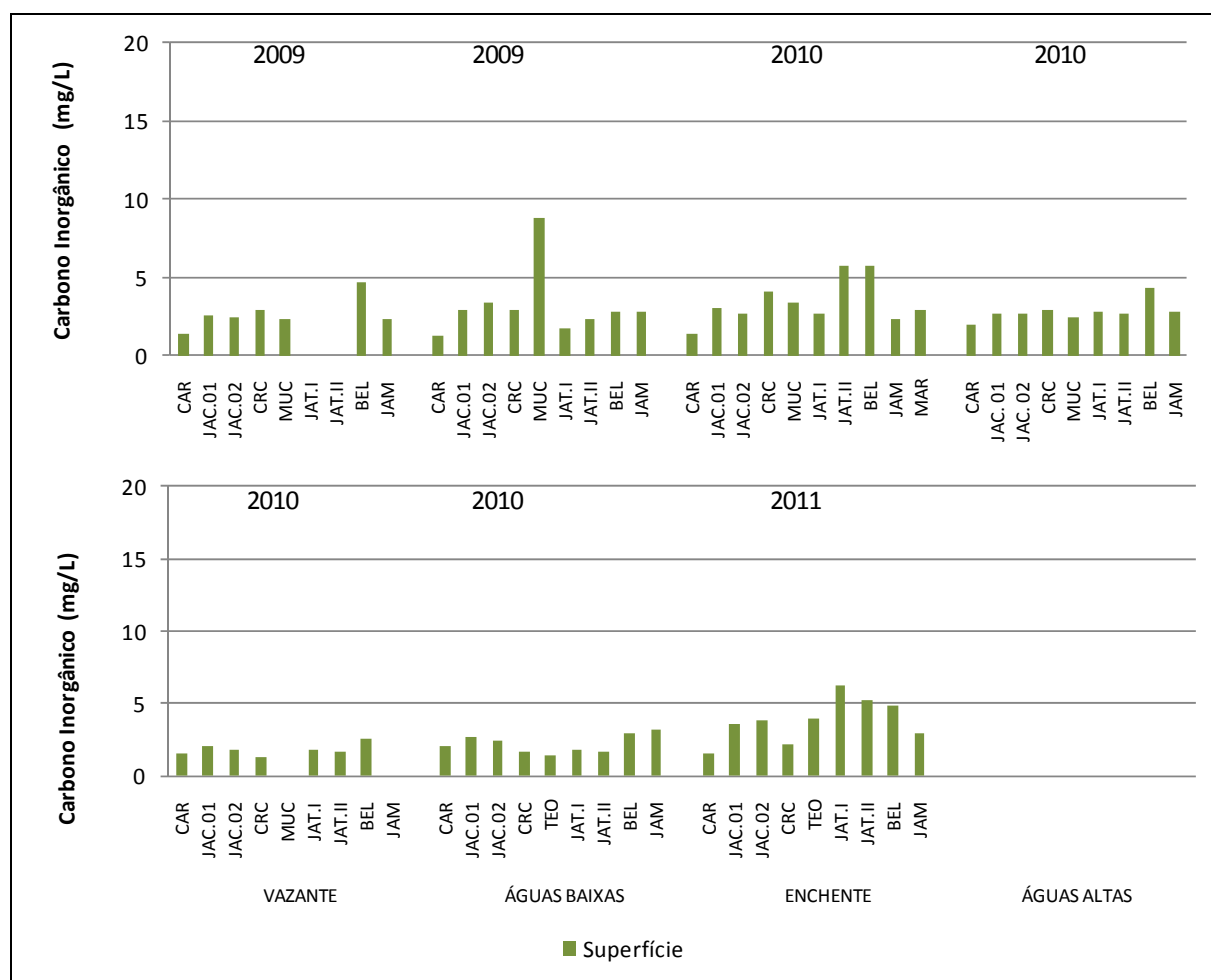


Figura 5.1-104 - Concentrações de carbono inorgânico nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

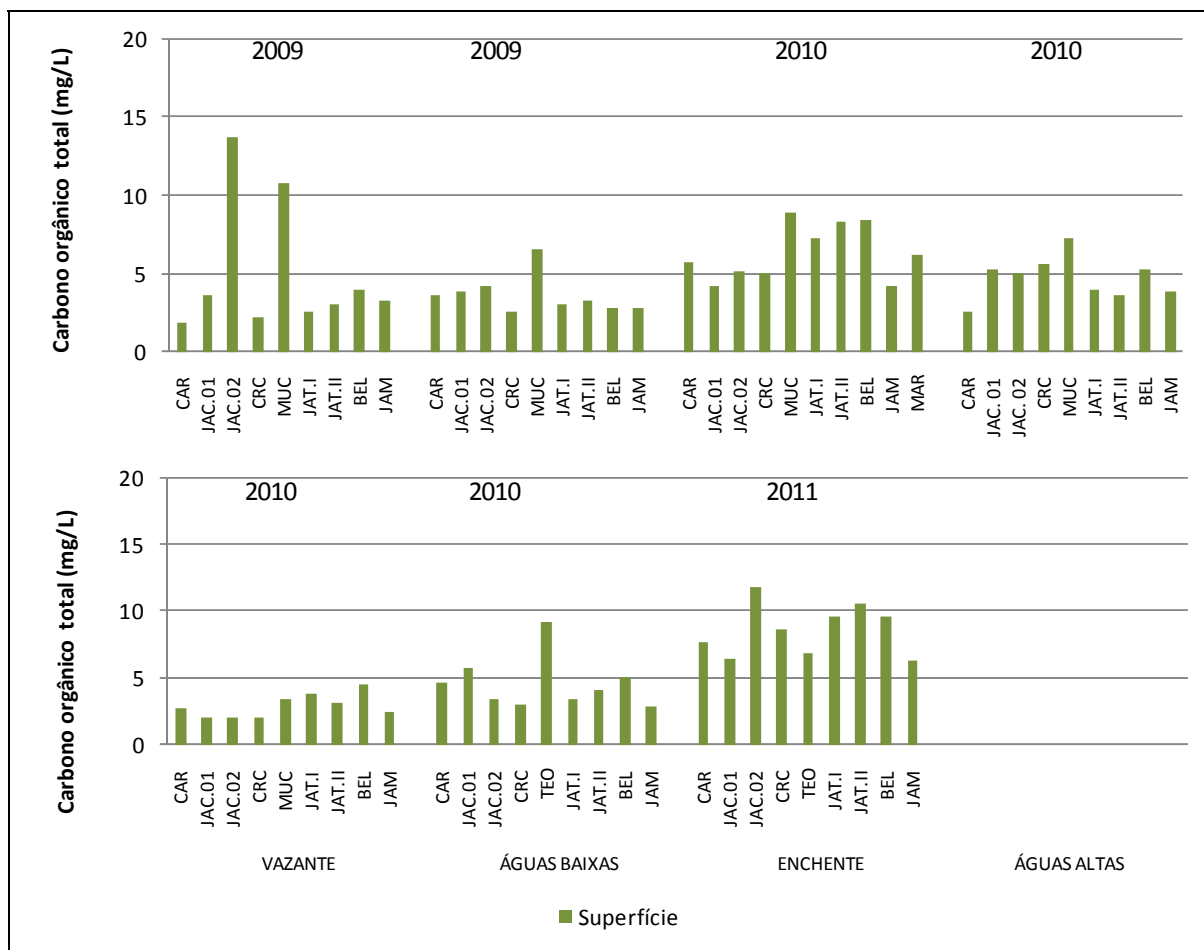


Figura 5.1-105 - Concentrações de carbono orgânico total (COT) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

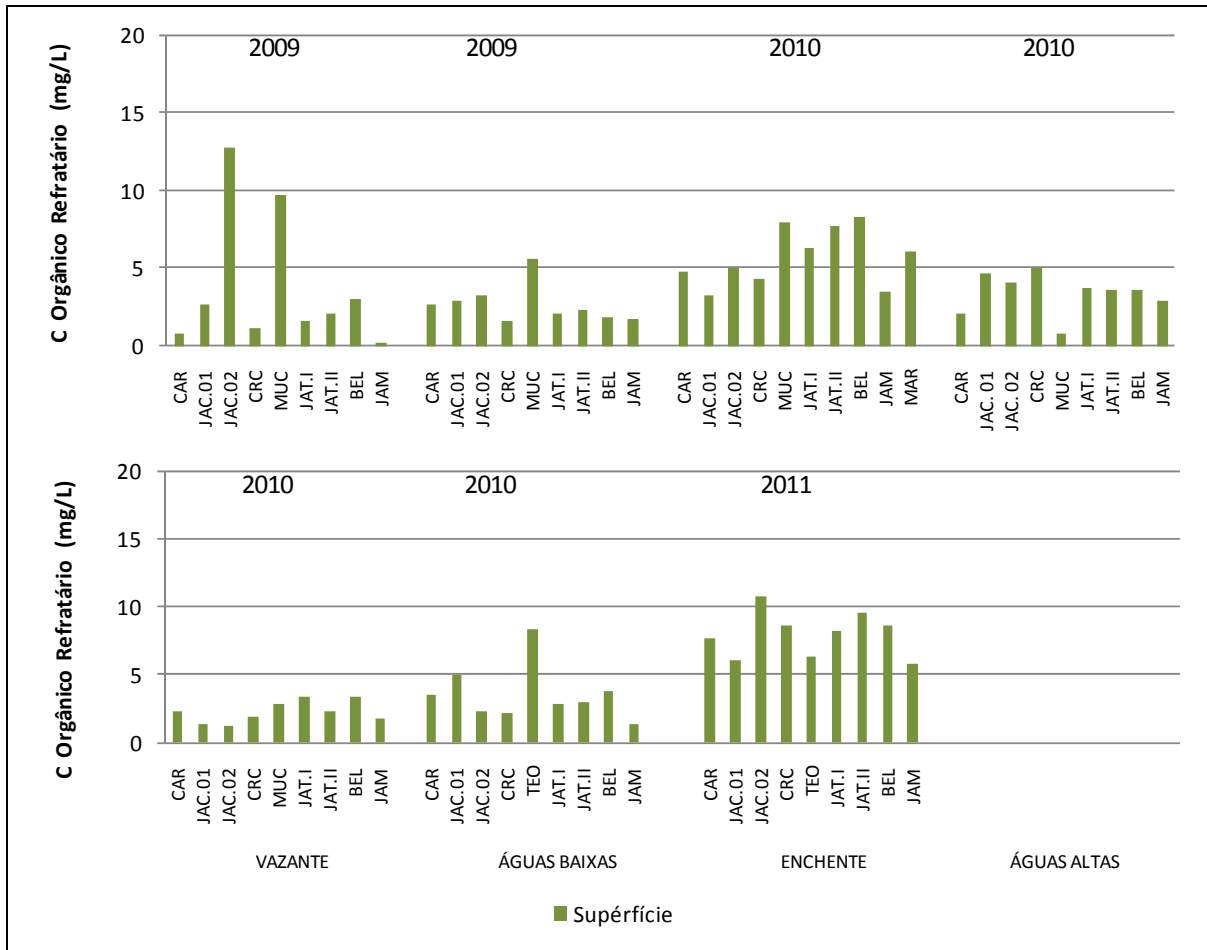


Figura 5.1-106 - Concentrações de carbono orgânico refratário (COR) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

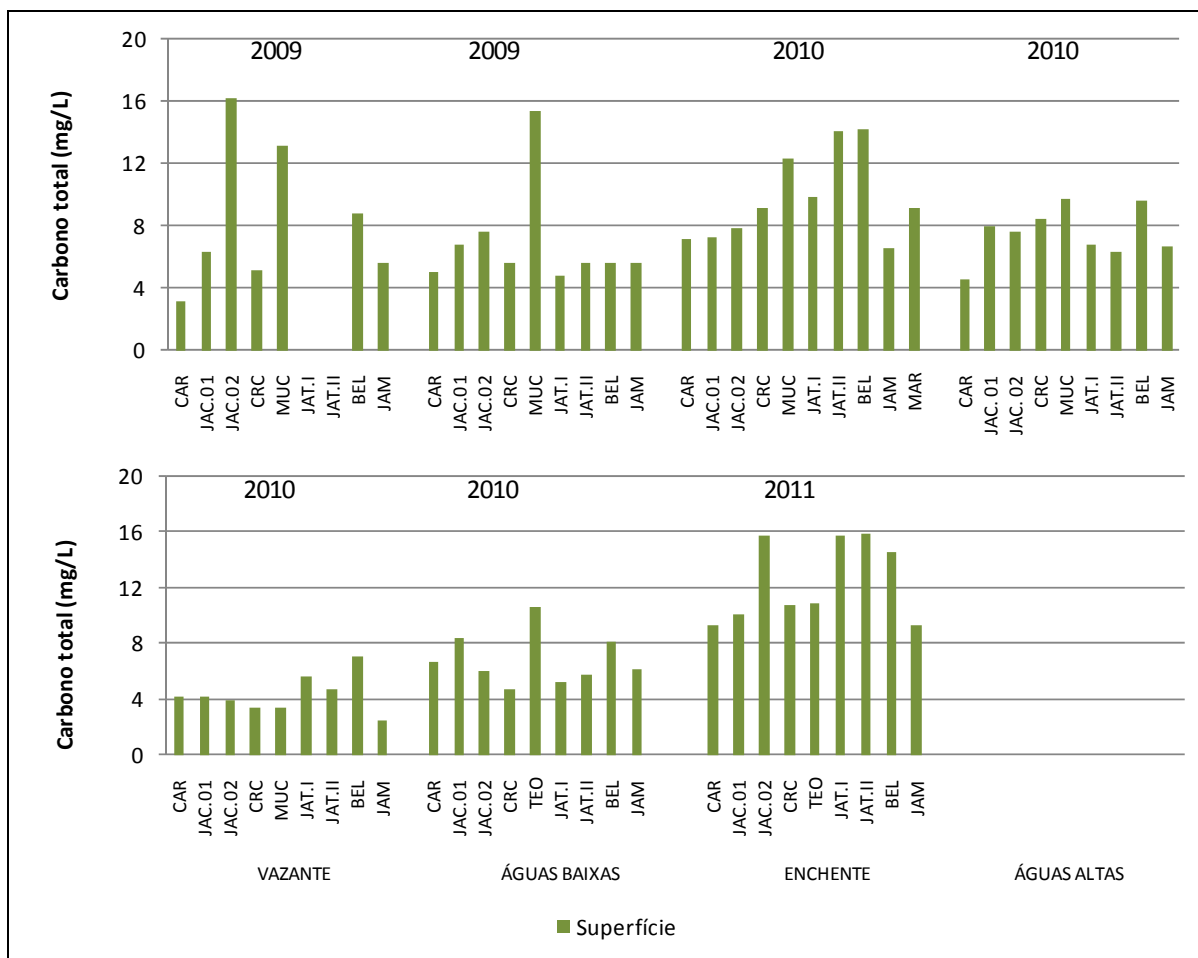


Figura 5.1-107 - Concentrações de carbono total (CT) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos lagos e canais, o carbono inorgânico (CI) apresentou concentração média global de  $3,5 \pm 2,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) na superfície e  $6,3 \pm 6,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) no fundo. No fundo, as taxas de respiração comumente sobrepõem as taxas de produção fitoplanctônica, aumentando a concentração de gás carbônico e, conseqüentemente, de carbono inorgânico. Os valores de CI oscilaram na superfície entre  $2,3 \pm 1,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $4,4 \pm 2,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 (Figura 5.1-108). O carbono orgânico total (COT) variou de  $5,5 \pm 2,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 a  $9,5 \pm 2,0$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011, com valor médio global de  $7,5 \pm 4,7$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $6,4 \pm 3,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (Figura 5.1-109). A variação espacial foi maior nos períodos de vazante e águas baixas do que nos períodos de enchente e águas altas, o que pode estar relacionado com a retirada da estação PDA, que apresentou elevada concentração de COT

sempre que foi amostrada. Na enchente e nas águas altas, os valores foram relativamente semelhantes, com exceção da estação CUJ e LC.02, que apresentaram as concentrações de COT mais altas nos períodos de águas altas de 2010 e águas baixas de 2010, respectivamente. O COT foi composto principalmente por compostos resistentes à ação biológica, uma vez que o carbono orgânico refratário (COR) respondeu por 82% do total. O COR apresentou concentração média global de  $6,1 \pm 4,5$  mg/L (média  $\pm$  DP) e as concentrações médias dessa fração oscilaram entre  $4,4 \pm 1,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 e  $8,6 \pm 1,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 (Figura 5.1-110). O carbono total (CT) dos lagos e canais foi composto predominantemente pela parcela orgânica, que respondeu por 62% do total. As concentrações médias de CT oscilaram entre  $8,2 \pm 3,2$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 e  $13,9 \pm 2,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011, com média global de  $10,9 \pm 5,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-111).

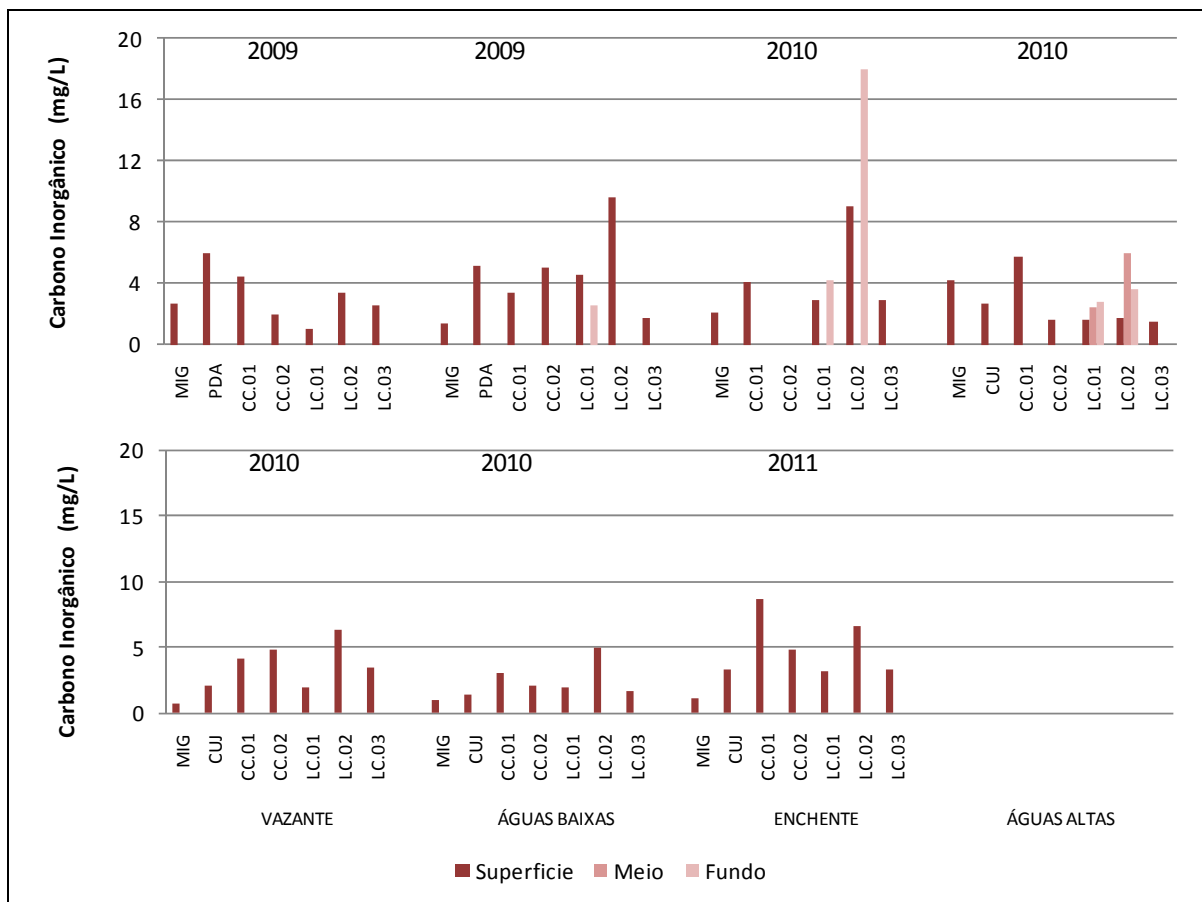


Figura 5.1-108 - Concentrações de carbono inorgânico nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

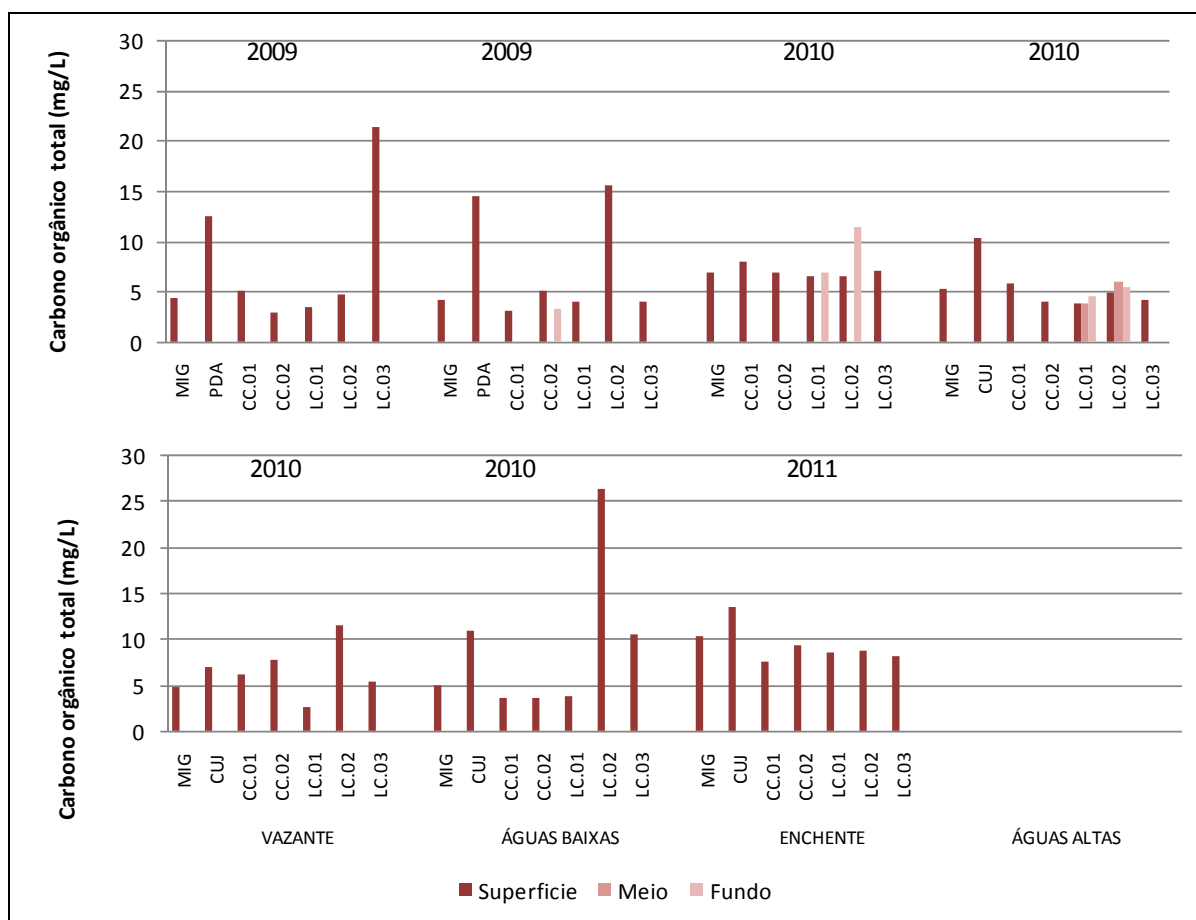


Figura 5.1-109 - Concentrações de carbono orgânico total (COT) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

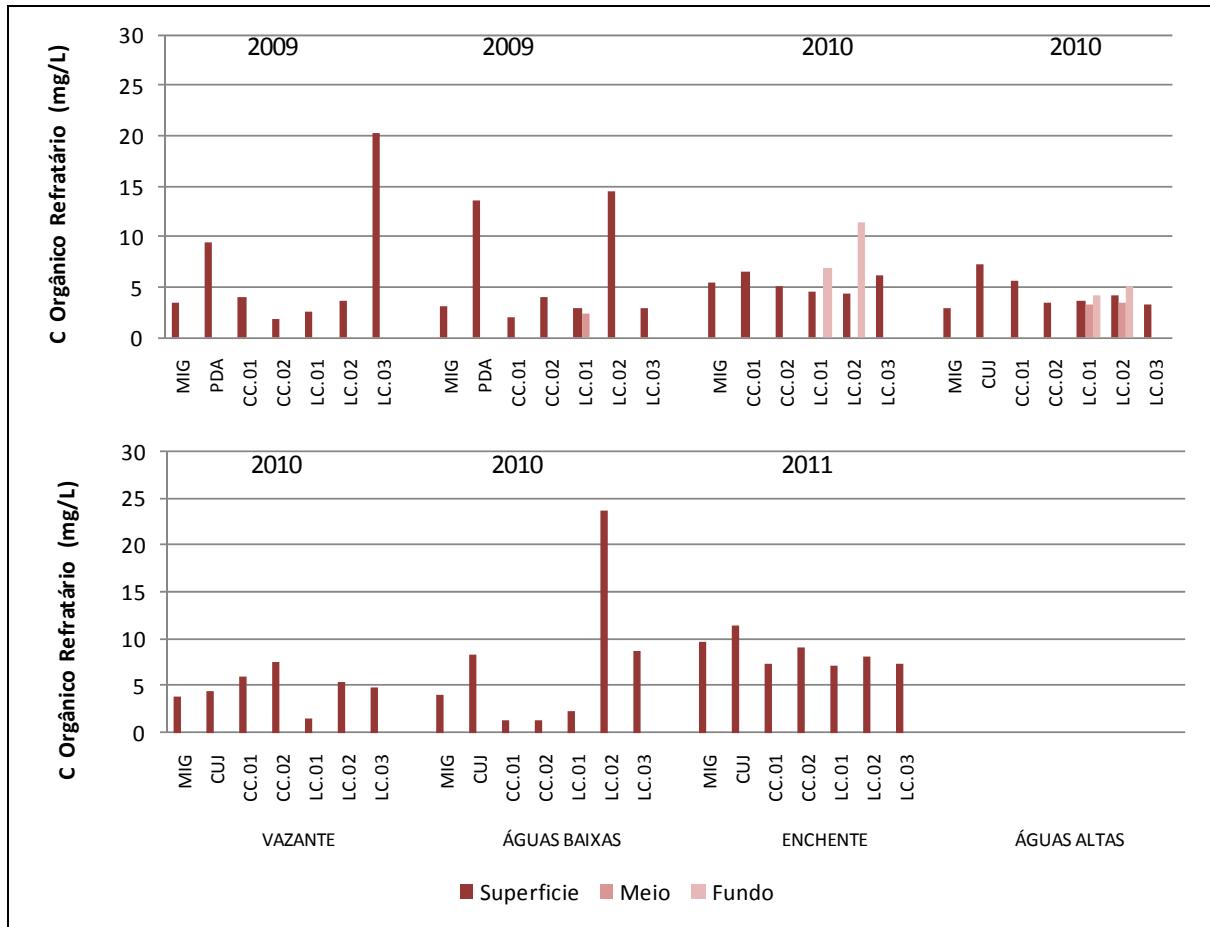


Figura 5.1-110 - Concentrações de carbono orgânico refratário (COR) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

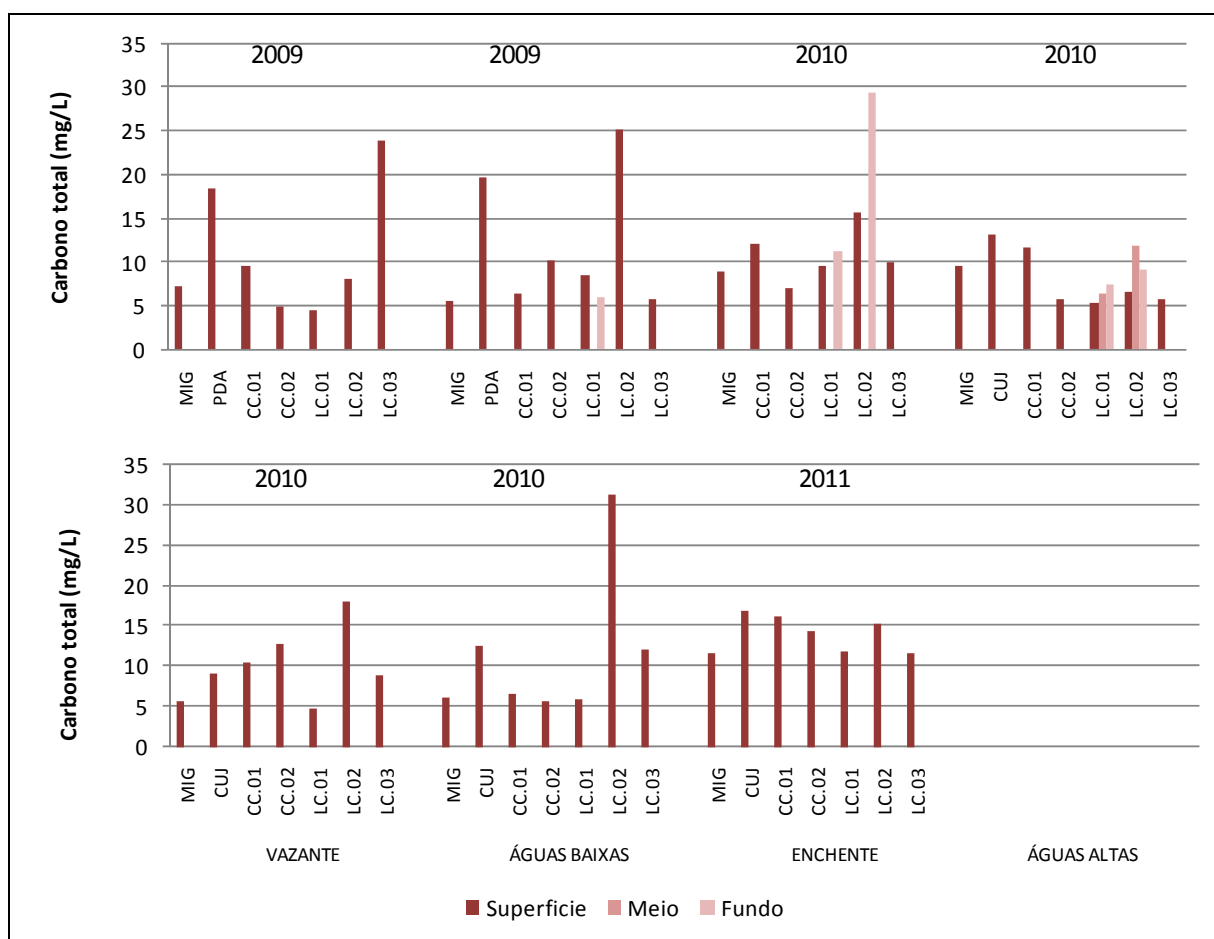


Figura 5.1-111 - Concentrações de carbono total (CT) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

O carbono orgânico refratário se refere à parte do carbono orgânico total que não é facilmente assimilável pela biota. Essa variável é calculada com base nos resultados de carbono orgânico total e carbono bioquimicamente oxidável. Do ponto de vista ecológico, o carbono orgânico dissolvido, indicativo direto da matéria orgânica dissolvida, é mais utilizado e seus resultados agregam mais informação, uma vez que constitui-se no carbono disponível para a biota e influência na coloração da água. Além disso, seus dados serão gerados através da medição direta em um analisador de carbono, e não por meio de cálculos, como é o caso do carbono orgânico refratário. Desta maneira, recomenda-se que o carbono orgânico refratário seja substituído pelo carbono orgânico dissolvido.



## 5.1.1.8 - Química II

### 5.1.1.8.1 - Sistema tampão (Gás carbônico livre, Gás carbônico total, Alcalinidade, Alcalinidade de bicarbonatos, Dureza e Dureza devido ao cálcio e magnésio)

O gás carbônico livre no rio Madeira apresentou média global de  $6,4 \pm 16,5$  mg/L (média  $\pm$  DP). Nos períodos de vazante, águas baixas e enchente os valores foram baixos, devido ao fato do pH ter sido próximo ao valor neutro. Nas águas altas, porém, o pH de algumas estações amostradas foi levemente ácido, o que elevou a maiores concentrações de gás carbônico livre, como foi o caso das estações MON.05 e MON.04 (Figura 5.1-112). As concentrações médias oscilaram entre  $0,6 \pm 0,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $28,3 \pm 38,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010. Já em relação ao gás carbônico total, os valores médios oscilaram entre  $12,5 \pm 3,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 e  $47,6 \pm 40,5$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010, com média global de  $25,4 \pm 18,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-113). Os resultados de gás carbônico mostram que o CO<sub>2</sub> no rio Madeira esteve mais complexado ao íon bicarbonato do que na forma dissolvida. A alcalinidade, que mede a capacidade tamponante do sistema, variou pouco ao longo do período de estudo, tendo apresentado valores bastante similares. Os valores médios de alcalinidade total oscilaram entre  $19,5 \pm 0,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009 e  $37,2 \pm 2,7$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010, com média global de  $25,8 \pm 7,7$  mg/L (média  $\pm$  DP) na superfície e  $26,2 \pm 6,7$  mg/L (média  $\pm$  DP) no fundo (Figura 5.1-114). 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. Desta forma, a alcalinidade de bicarbonatos foi igual à alcalinidade total (Figura 5.1-115). A dureza da água é consequência de cátions como o cálcio e o magnésio. A dureza média do rio Madeira oscilou entre  $5,1 \pm 0,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $45,0 \pm 10,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011, com média global de  $26,1 \pm 12,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $26,1 \pm 12,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (Figura 5.1-116). Os valores de dureza permitem classificar as águas do rio Madeira como “mole”. A maior parte da dureza foi conferida pelo cálcio, sendo que a dureza devido ao cálcio teve média global de  $14,6 \pm 6,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $13,6 \pm$

6,5 mg/L (média ± DP) para o fundo. Os valores médios oscilaram entre  $2,0 \pm 0,1$  mg/L (média ± DP) nas águas baixas de 2010 e  $22,0 \pm 3,3$  mg/L (média ± DP) na enchente de 2011 (Figura 5.1-117). Já a dureza devido ao magnésio apresentou média global de  $11,5 \pm 7,2$  mg/L (média ± DP), com os valores médios dos períodos oscilando entre  $3,1 \pm 0,2$  mg/L (média ± DP) nas águas baixas de 2010 e  $22,9 \pm 7,9$  mg/L (média ± DP) na enchente de 2011 (Figura 5.1-118).

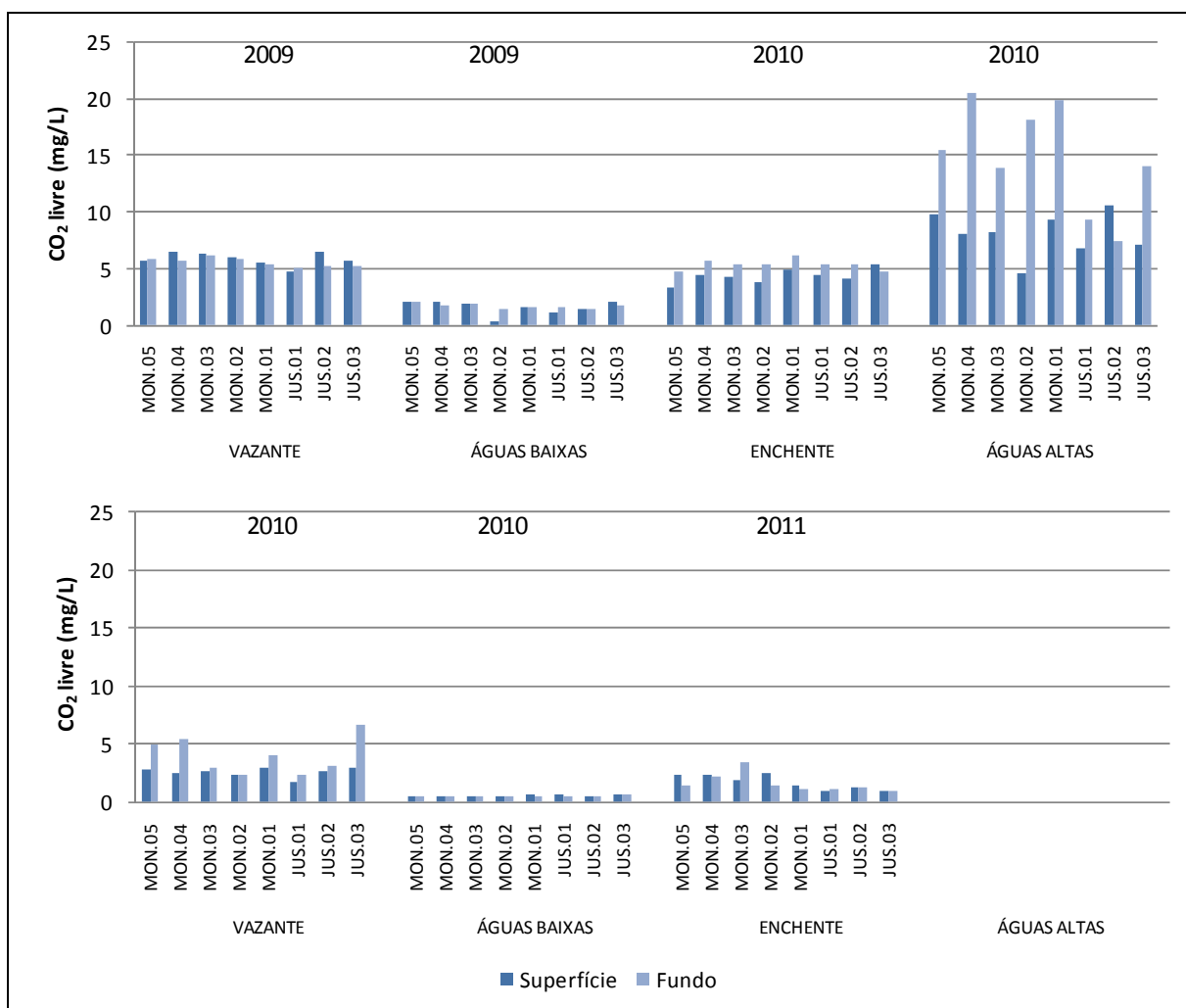


Figura 5.1-112 - Concentrações de gás carbônico livre (CO<sub>2</sub> livre) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

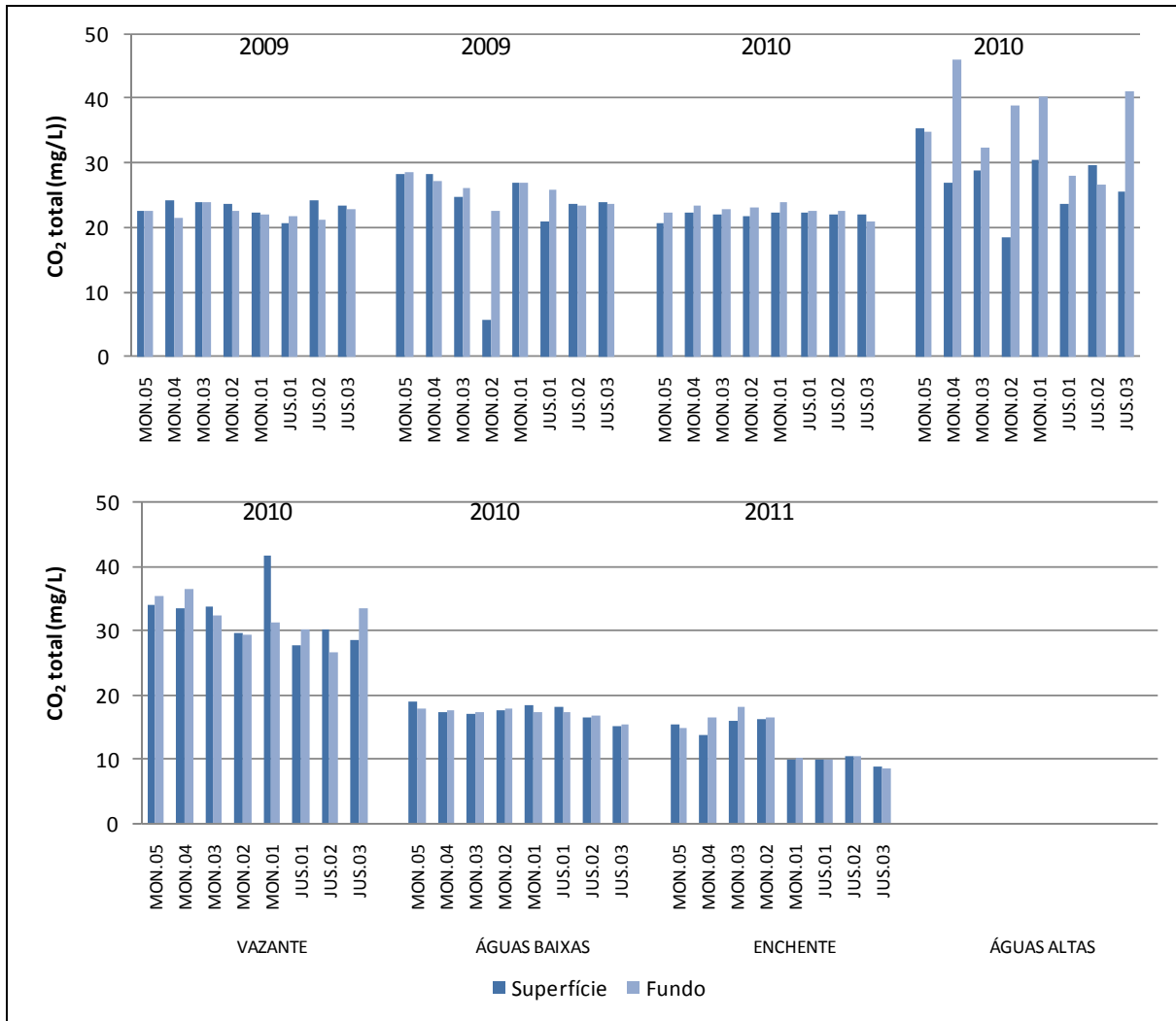


Figura 5.1-113 - Concentrações de gás carbônico total (CO<sub>2</sub> total) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

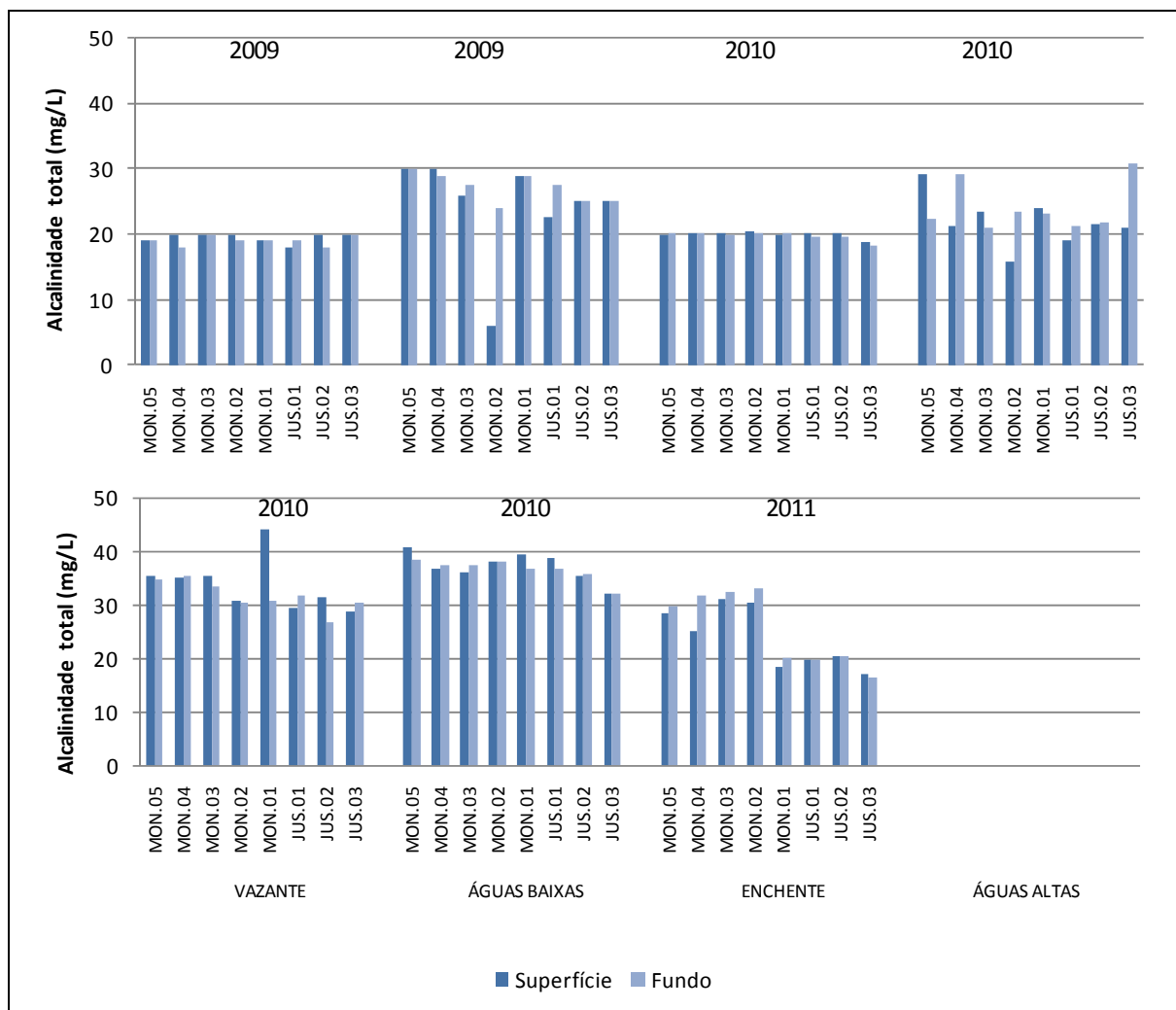


Figura 5.1-114 - Alcalinidade total no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

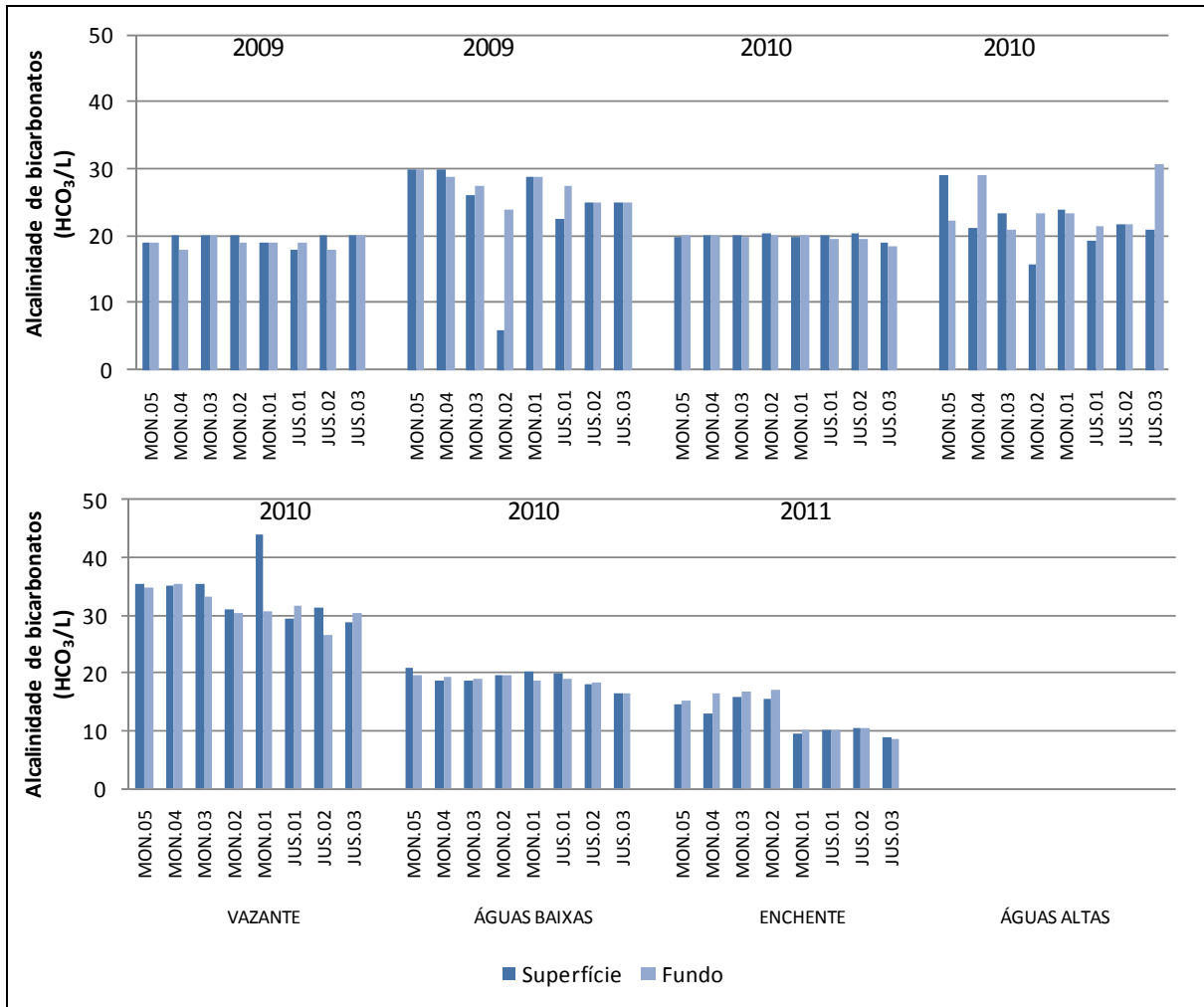


Figura 5.1-115 - Alcalinidade de bicarbonatos no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

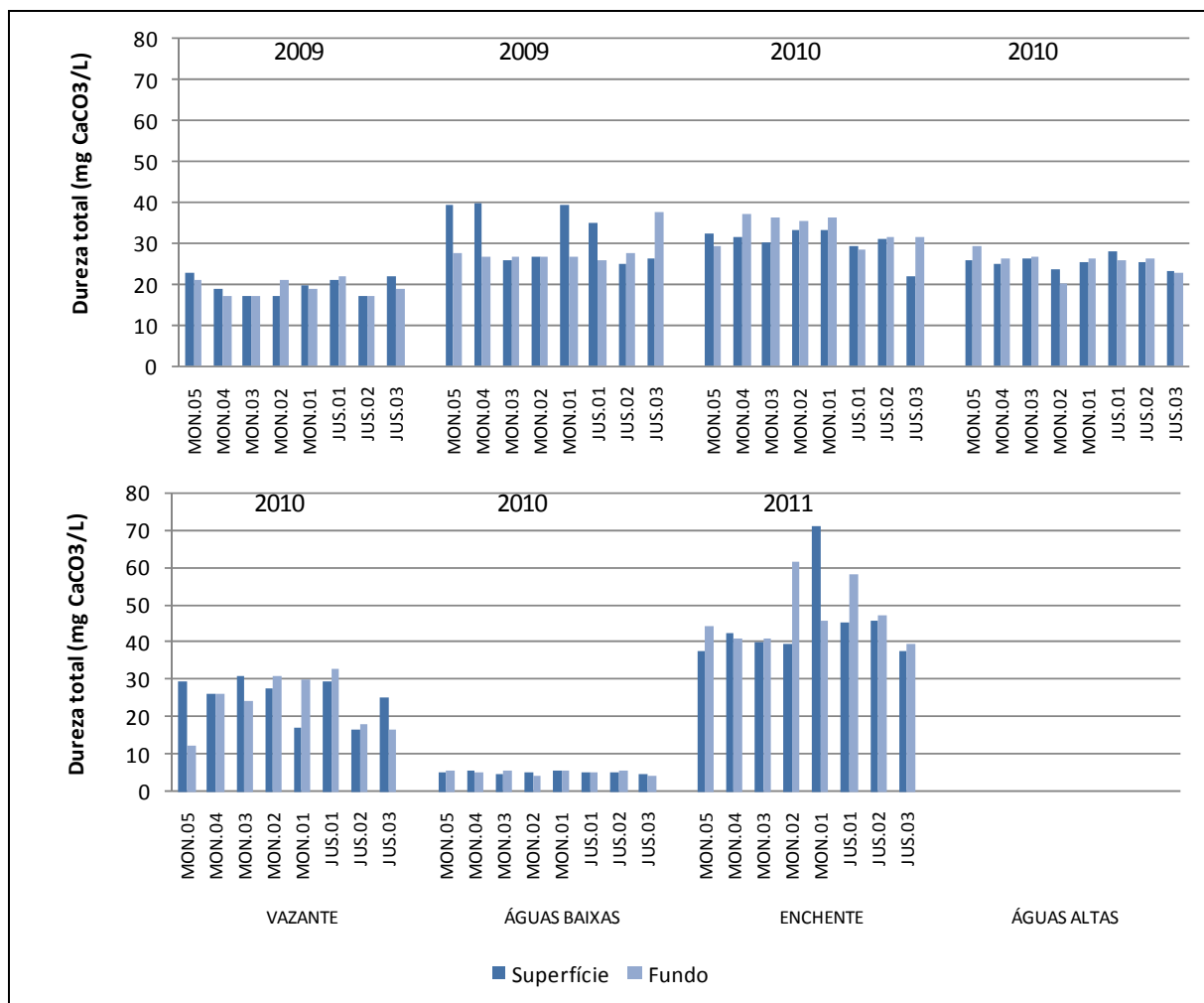


Figura 5.1-116 - Dureza total da água no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

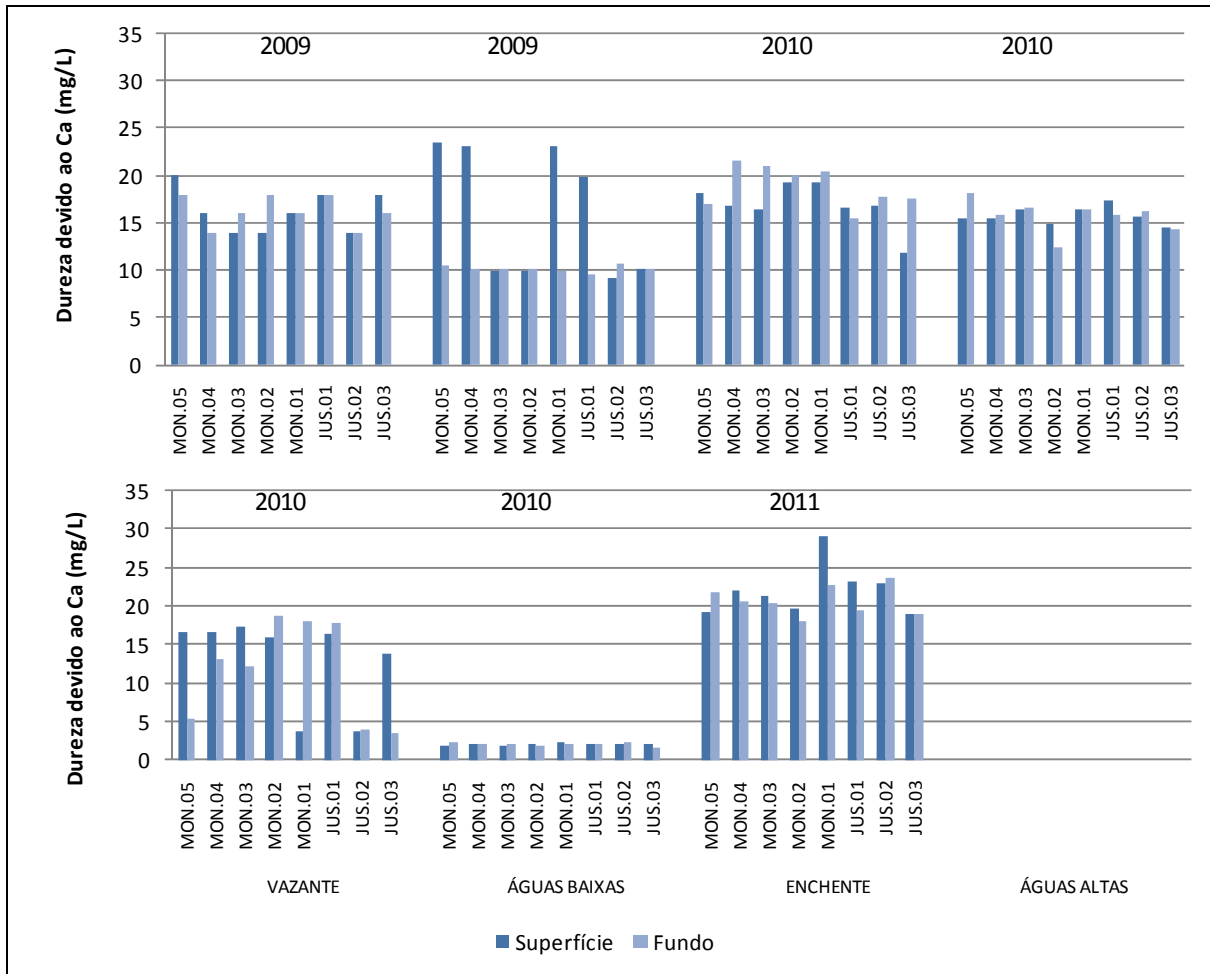


Figura 5.1-117 - Dureza devido ao cálcio no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

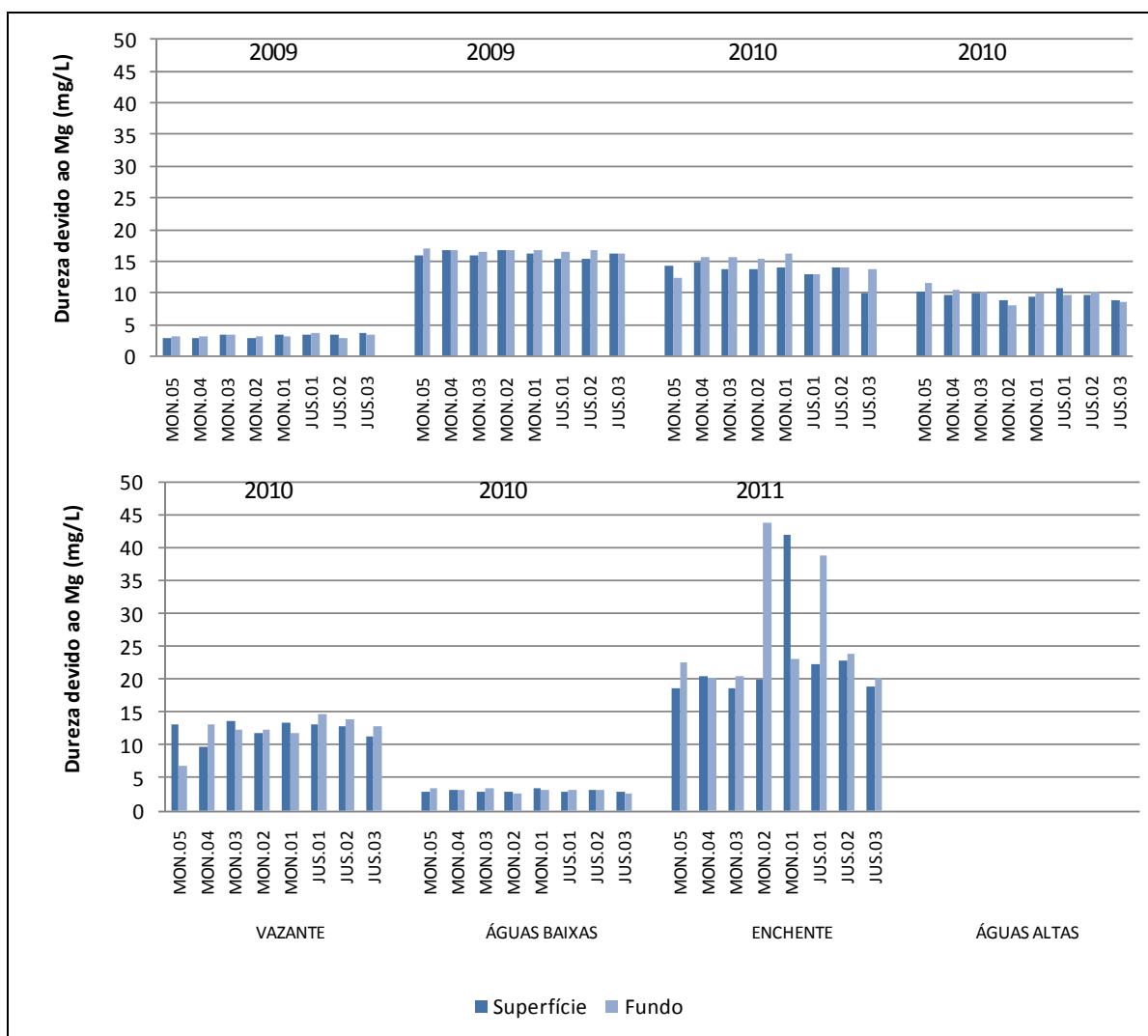


Figura 5.1-118 - Dureza devido ao magnésio no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Como os tributários apresentaram pH geralmente mais ácido do que o rio Madeira e os lagos e canais, os valores de gás carbônico livre foram mais elevados. As concentrações médias oscilaram entre  $2,1 \pm 2,2$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $42,4 \pm 81$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010, com média global de  $17,1 \pm 38,2$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-119). Já o gás carbônico total apresentou média global de  $21,8 \pm 40,8$  mg/L (média  $\pm$  DP), com valores médios dos períodos oscilando entre  $4,5 \pm 3,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $51,4 \pm 86,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010 (Figura 5.1-120). Ao contrário do rio Madeira, nos tributários a maior parte do CO<sub>2</sub> esteve na forma dissolvida. A estação MUC, no rio Mucuí, no rio Madeira, apresentou média global de  $1,1 \pm 0,4$  mg/L (média  $\pm$  DP), com valores médios dos períodos oscilando entre  $0,5 \pm 0,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $1,1 \pm 0,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010 (Figura 5.1-121).



foi geralmente a que apresentou os valores mais elevados. A alcalinidade total média dos tributários oscilou entre  $2,8 \pm 2,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 e  $10,1 \pm 9,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010, com média global de  $6,1 \pm 5,6$  mg/L (média  $\pm$  DP). A estação MUC apresentou valores elevados, tanto nas águas baixas como na enchente de 2010 (Figura 5.1-121). Como o pH situou-se sempre entre 4,4 e 8,3, toda a alcalinidade dos tributários foi devida ao bicarbonato. Desta maneira a alcalinidade de bicarbonatos foi igual à alcalinidade total (Figura 5.1-122). A dureza da água apresentou média global de  $5,2 \pm 6,3$  mg/L (média  $\pm$  DP), com os valores médios oscilando entre  $3,5 \pm 1,5$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 e  $8,3 \pm 10,2$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010 (Figura 5.1-123). O valor médio da enchente de 2010 foi elevado devido aos valores mais altos encontrados nas estações BEL e JAT II, que apresentaram características da água semelhantes às do rio Madeira nesse período. A dureza dos tributários deveu-se principalmente ao cálcio, que teve média global de  $2,9 \pm 4,8$  mg/L (média  $\pm$  DP), variando entre  $1,4 \pm 1,5$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010 e  $4,8 \pm 5,7$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010 (Figura 5.1-124). Já a dureza devido ao magnésio oscilou entre  $0,6 \pm 0,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $5,8 \pm 5,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010, com média global de  $2,3 \pm 3,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-125). As águas dos tributários podem ser classificadas como “mole”.

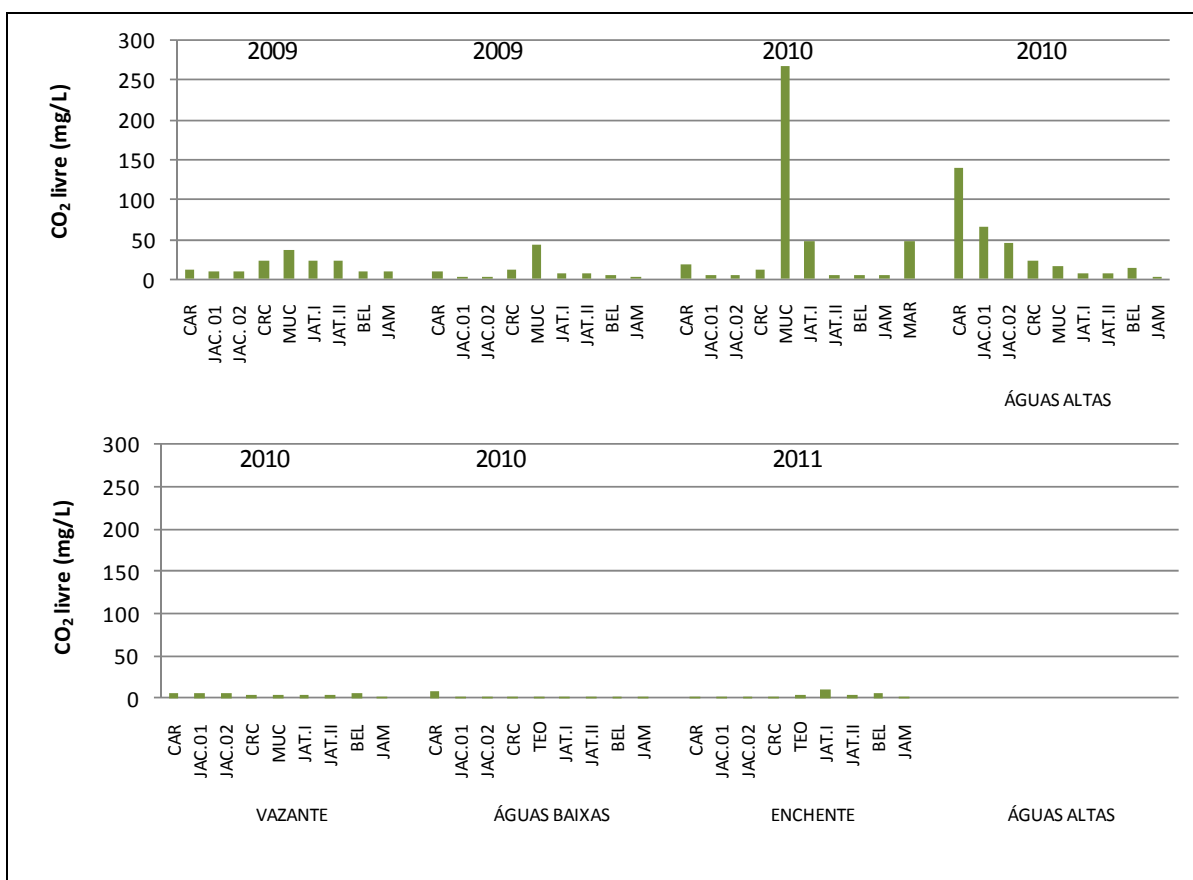


Figura 5.1-119 - Concentrações de gás carbônico livre (CO<sub>2</sub> livre) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

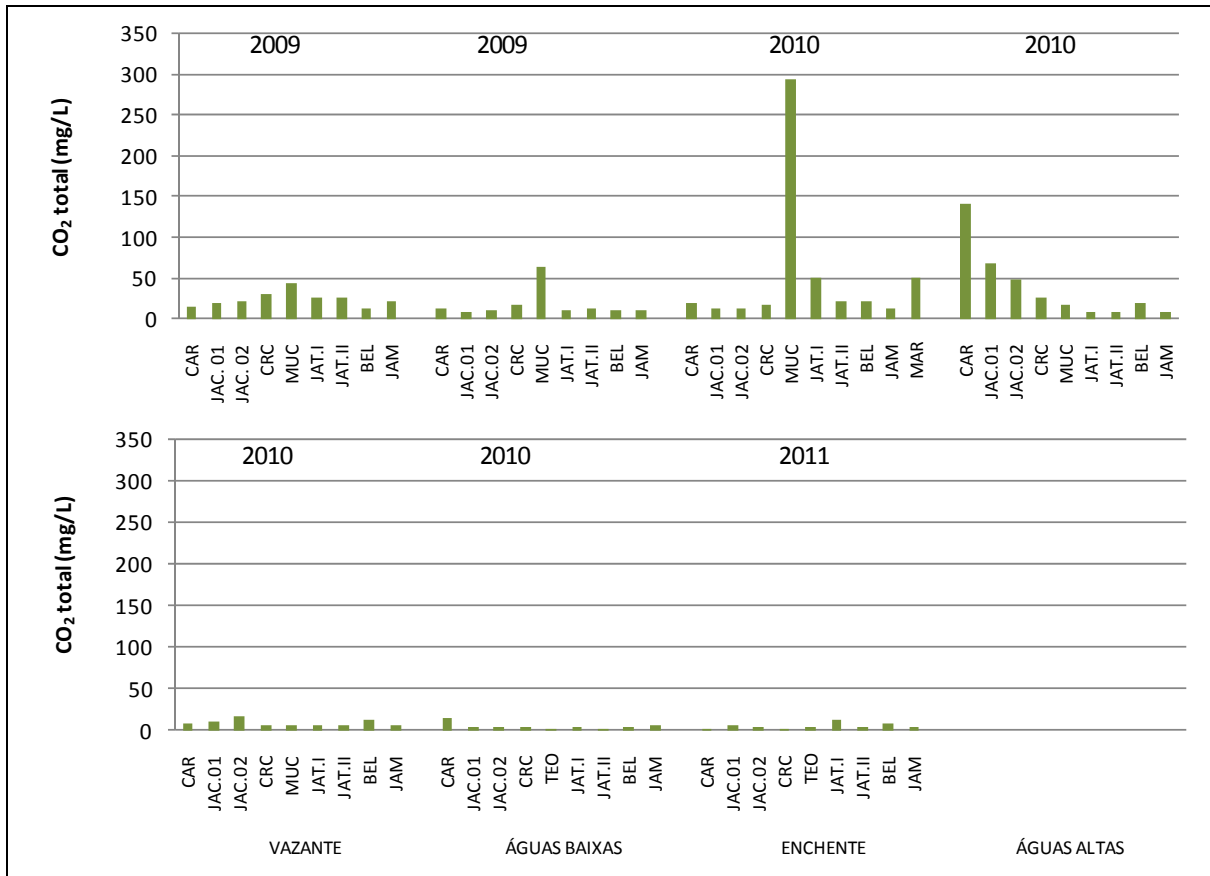


Figura 5.1-120 - Concentrações de gás carbônico total (CO<sub>2</sub> total) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

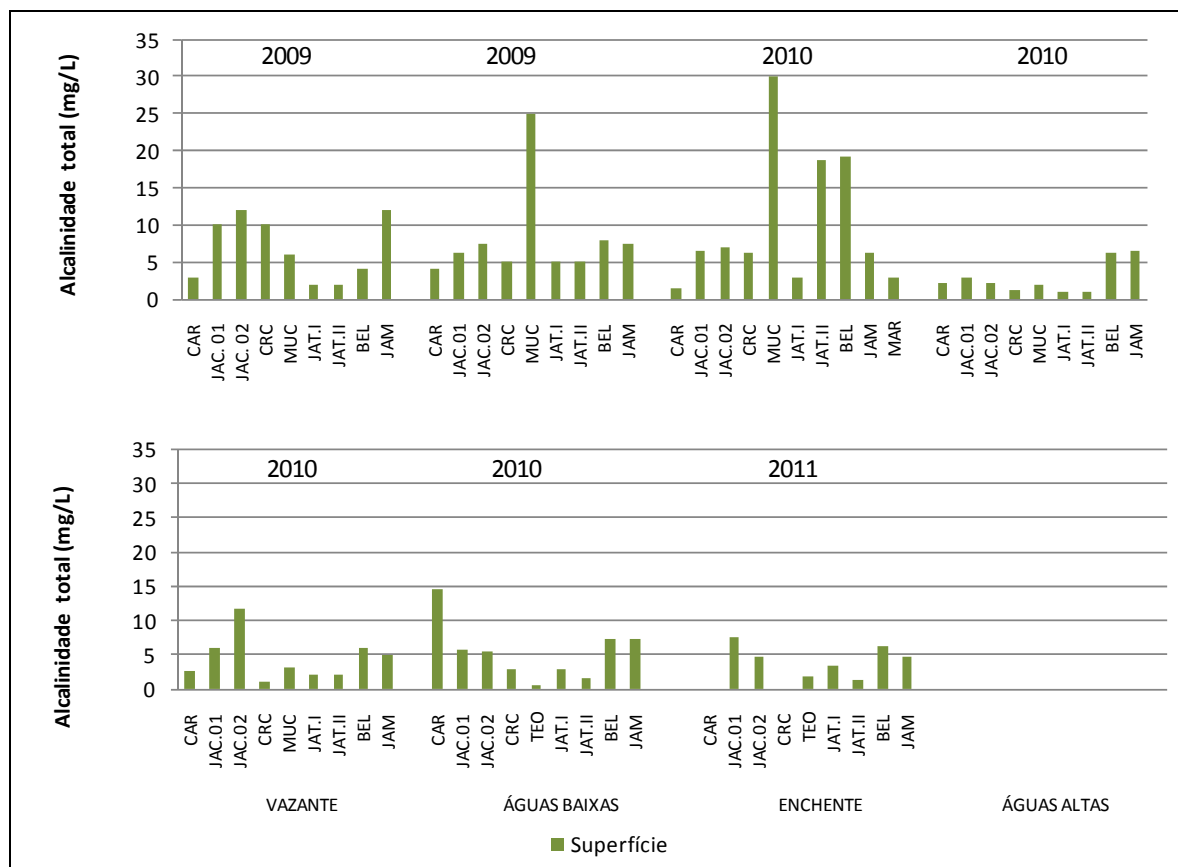


Figura 5.1-121 - Alcalinidade total nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

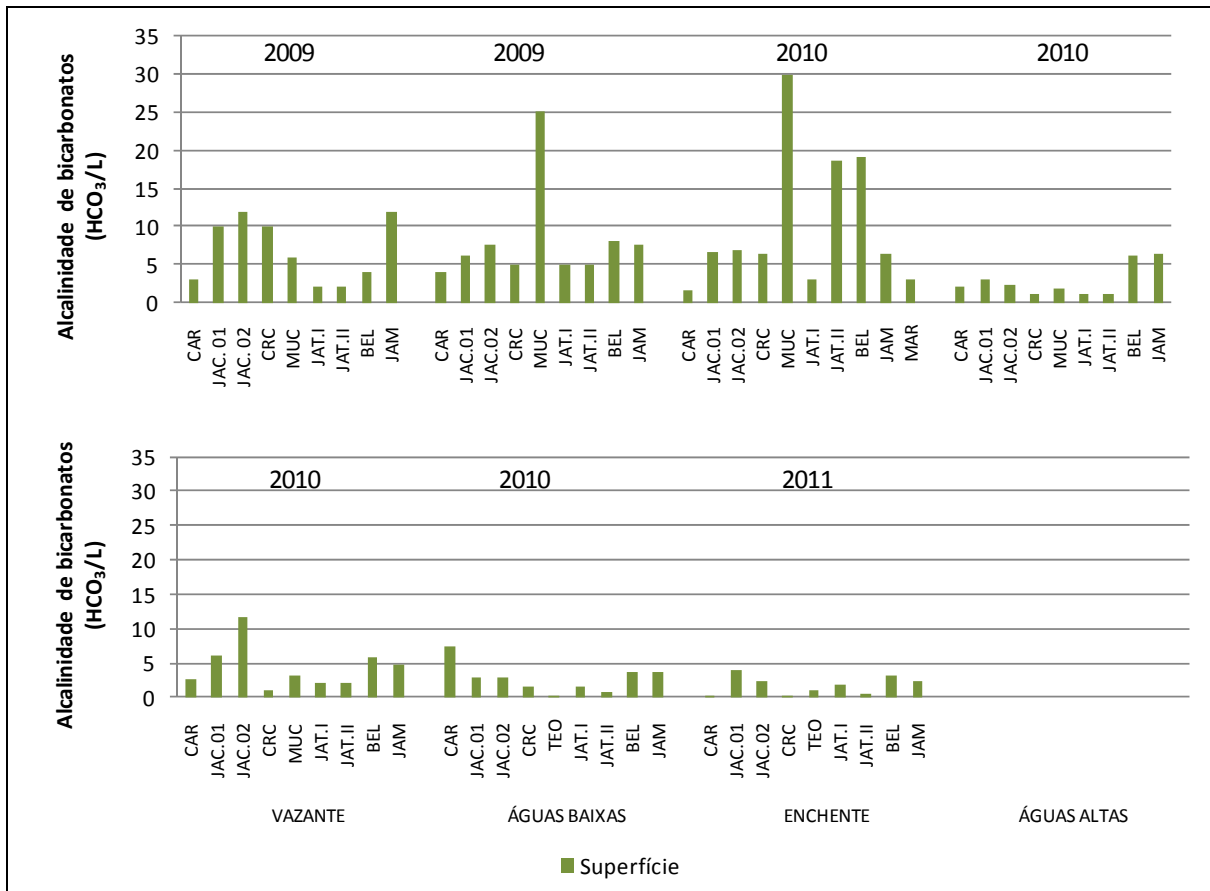


Figura 5.1-122 - Alcalinidade de bicarbonatos nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

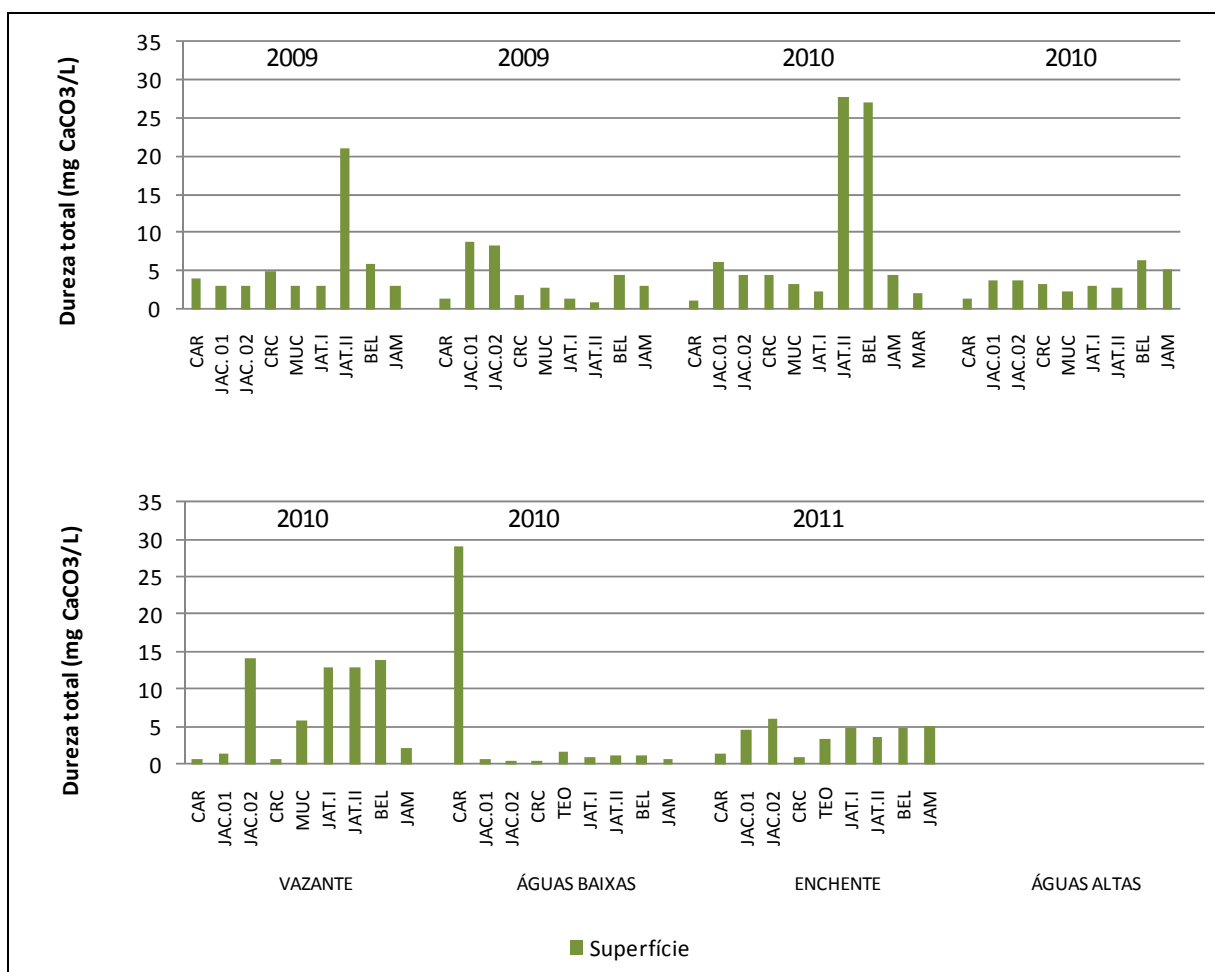


Figura 5.1-123 - Dureza total da água nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

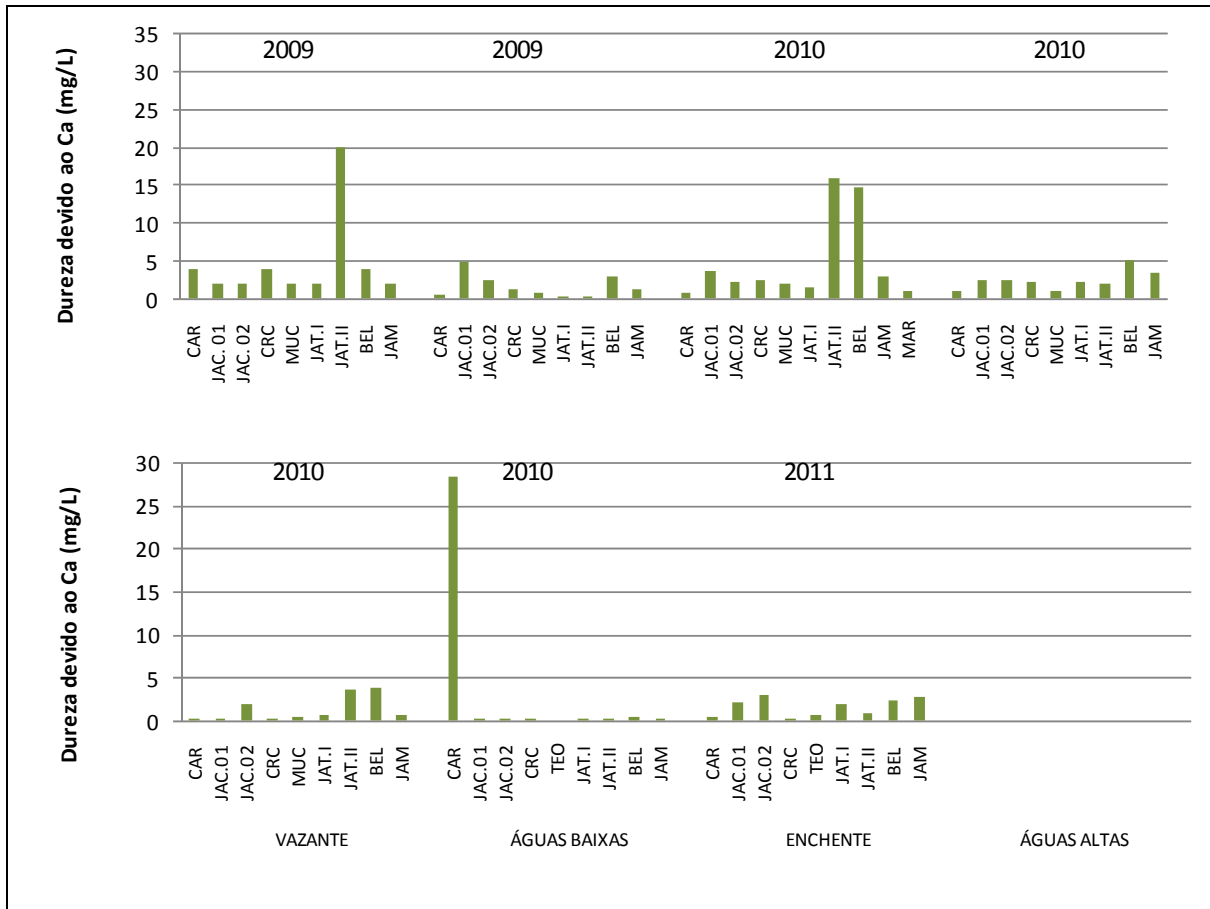


Figura 5.1-124 - Dureza devido ao cálcio nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

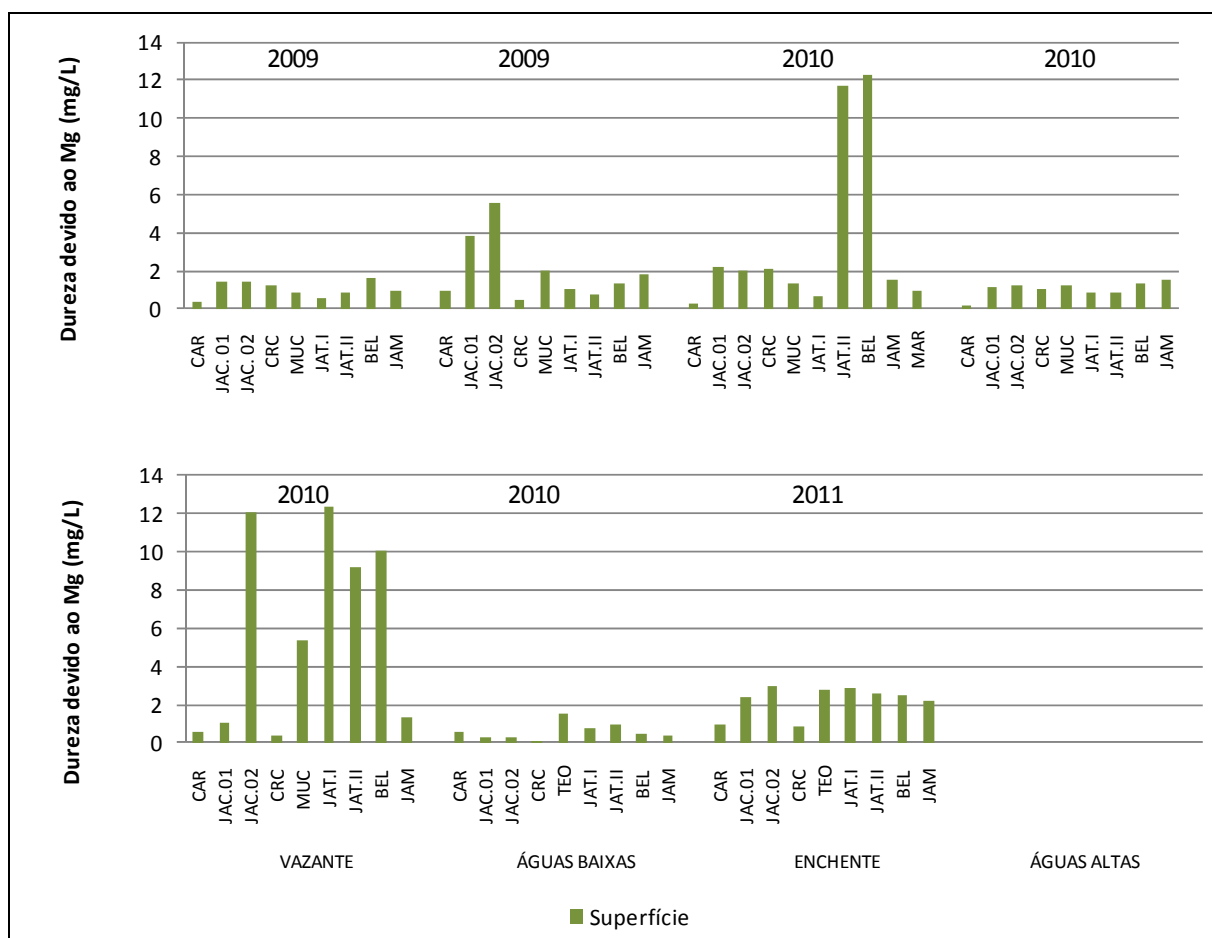


Figura 5.1-125 - Dureza devido ao magnésio nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

O gás carbônico livre dos lagos e canais apresentou média global de  $11,8 \pm 16,7$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $28,4 \pm 19,2$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo. Os valores médios oscilaram entre  $2,0 \pm 1,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 e  $24,2 \pm 36,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 (Figura 5.1-126). Houve bastante variação espaço-temporal e as estações do lago Cuniã apresentaram geralmente valores mais altos. Em relação ao gás carbônico total, os valores médios oscilaram entre  $3,6 \pm 3,0$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $29,3 \pm 11,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009, com média global de  $16,5 \pm 17,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $33,7 \pm 20,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (Figura 5.1-127). Assim como observado nos tributários e ao contrário do rio Madeira, a maior parte do  $\text{CO}_2$  dos lagos e canais esteve na forma dissolvida. Isso deve-se ao fato de os tributários e os lagos e canais apresentarem valores de pH mais baixos. Dentre os três tipos de ambientes amostrados, os lagos



e canais foram os que apresentaram os menores valores de alcalinidade. A alcalinidade total oscilou entre  $3,1 \pm 1,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $9,4 \pm 7,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2009, com valor médio global de  $5,9 \pm 4,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $7,2 \pm 5,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (**Figura 5.1-128**). As estações do lago Cuniã e a estação CC.01 foram geralmente responsáveis pelos valores mais altos. Como o pH dos lagos e canais situou-se sempre entre 4,4 e 8,3, toda a alcalinidade foi devida ao bicarbonato. Desta maneira a alcalinidade de bicarbonatos foi igual à alcalinidade total (**Figura 5.1-129**). A dureza da água dos lagos e canais oscilou entre  $0,6 \pm 0,5$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $18,7 \pm 13,0$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011, com média global de  $8,4 \pm 9,7$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $7,8 \pm 9,5$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (**Figura 5.1-130**). Assim como observado no rio Madeira e nos tributários, a maior parte da dureza dos lagos e canais foi conferida pelo cálcio. A dureza média devido ao cálcio oscilou entre  $0,1 \pm 0,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $8,2 \pm 5,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011, com média global de  $4,5 \pm 5,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $4,5 \pm 5,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) para as amostras de fundo (**Figura 5.1-131**). Já a dureza devido ao magnésio apresentou valor médio global de  $3,9 \pm 5,0$  mg/L (média  $\pm$  DP), com os valores médios dos períodos oscilando entre  $0,5 \pm 0,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $10,4 \pm 7,7$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 (**Figura 5.1-132**). As águas dos lagos e canais podem ser classificadas como “moles”.

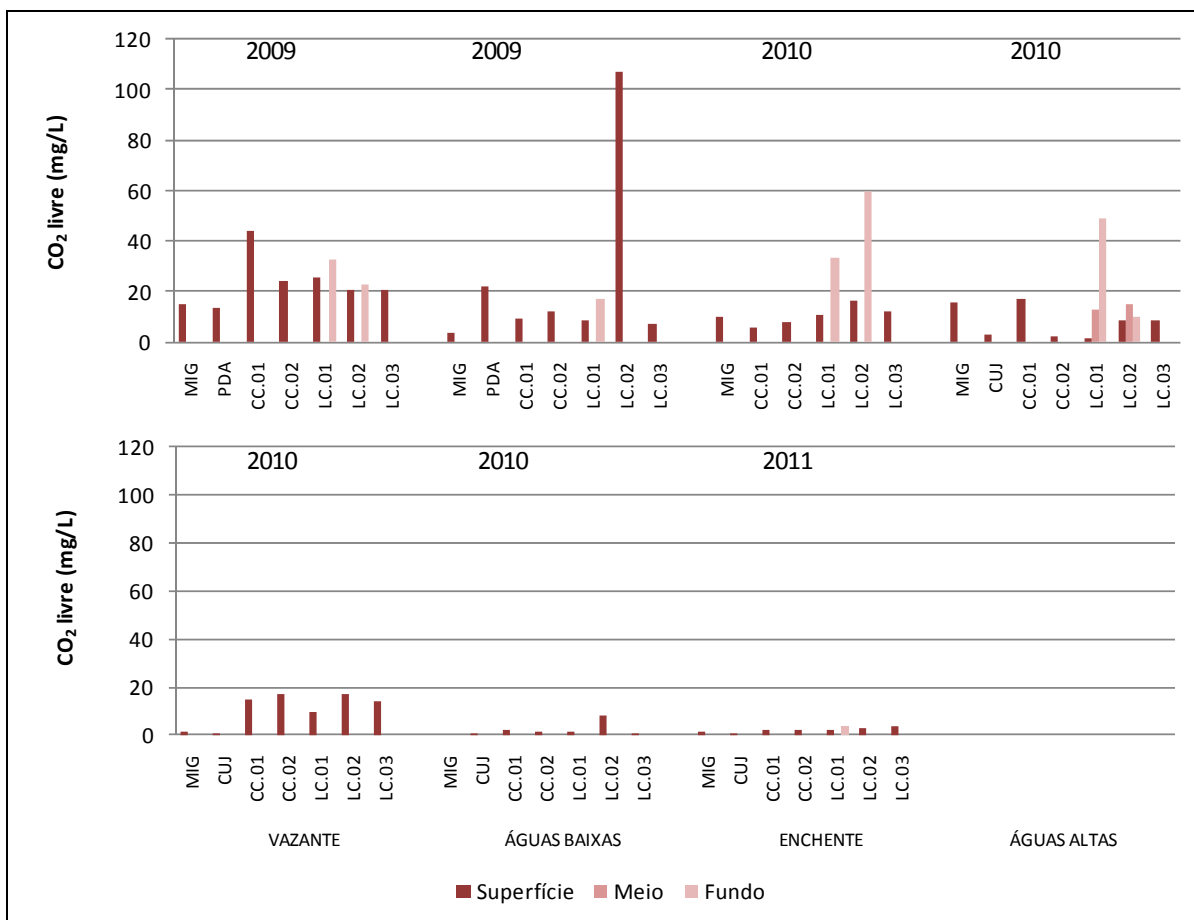


Figura 5.1-126 - Concentrações de gás carbônico livre (CO<sub>2</sub> livre) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

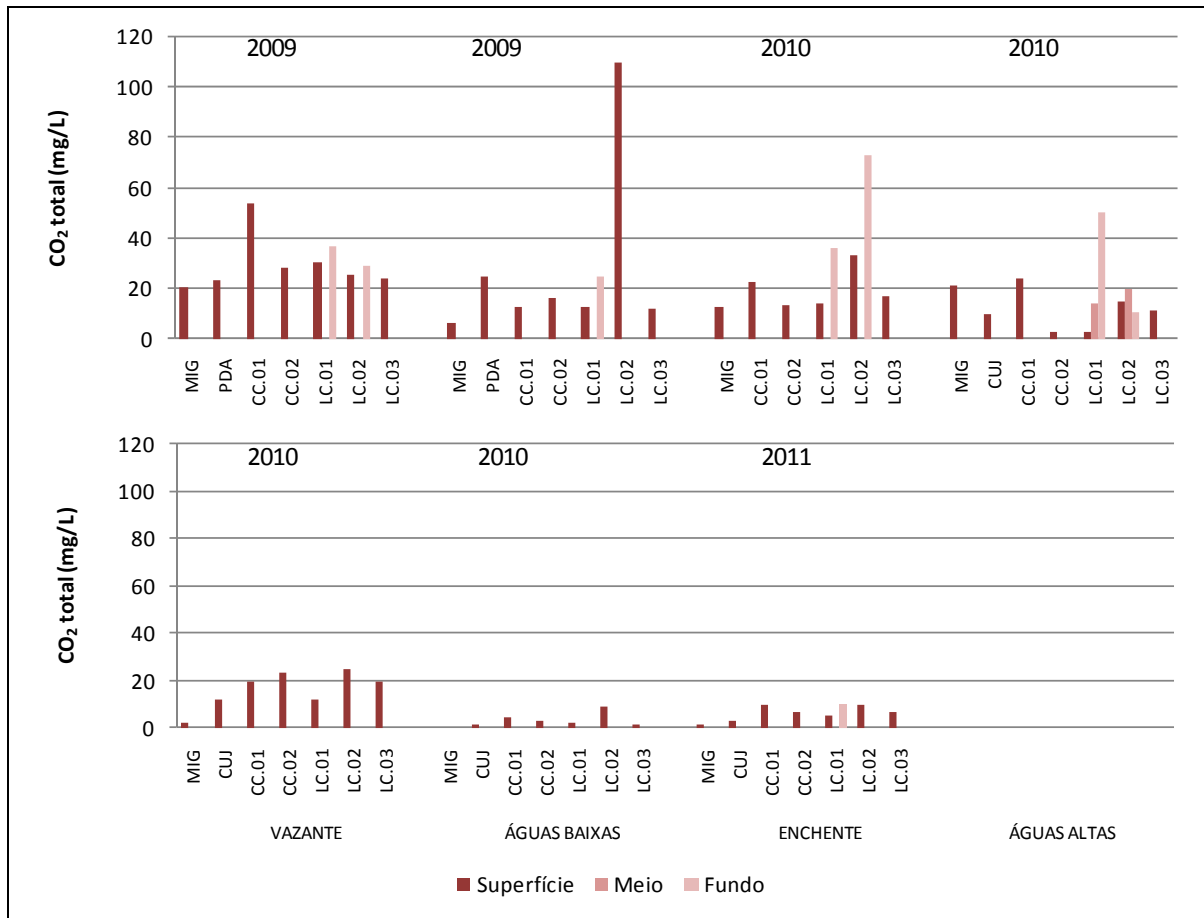


Figura 5.1-127 - Concentrações de gás carbônico total (CO<sub>2</sub> total) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

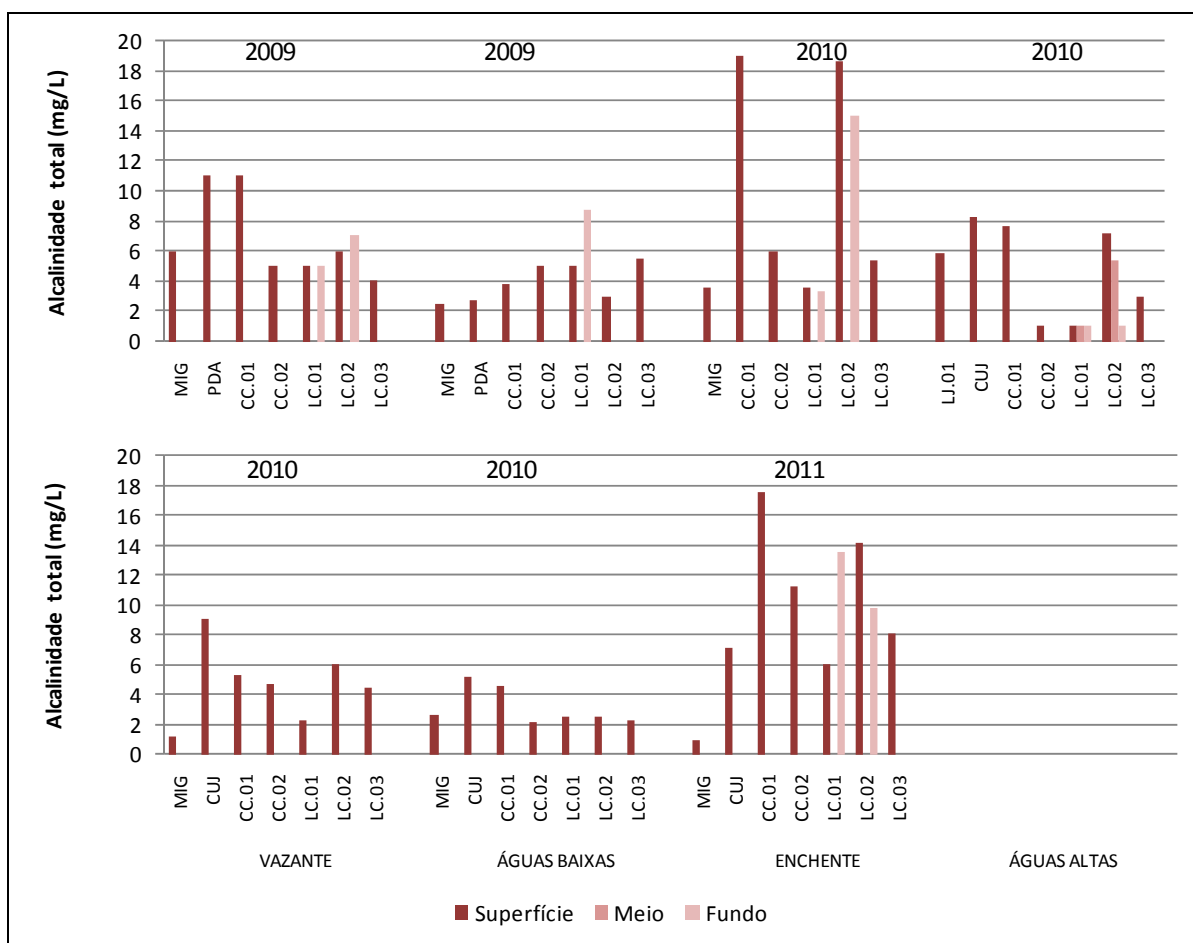


Figura 5.1-128 - Alcalinidade total nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

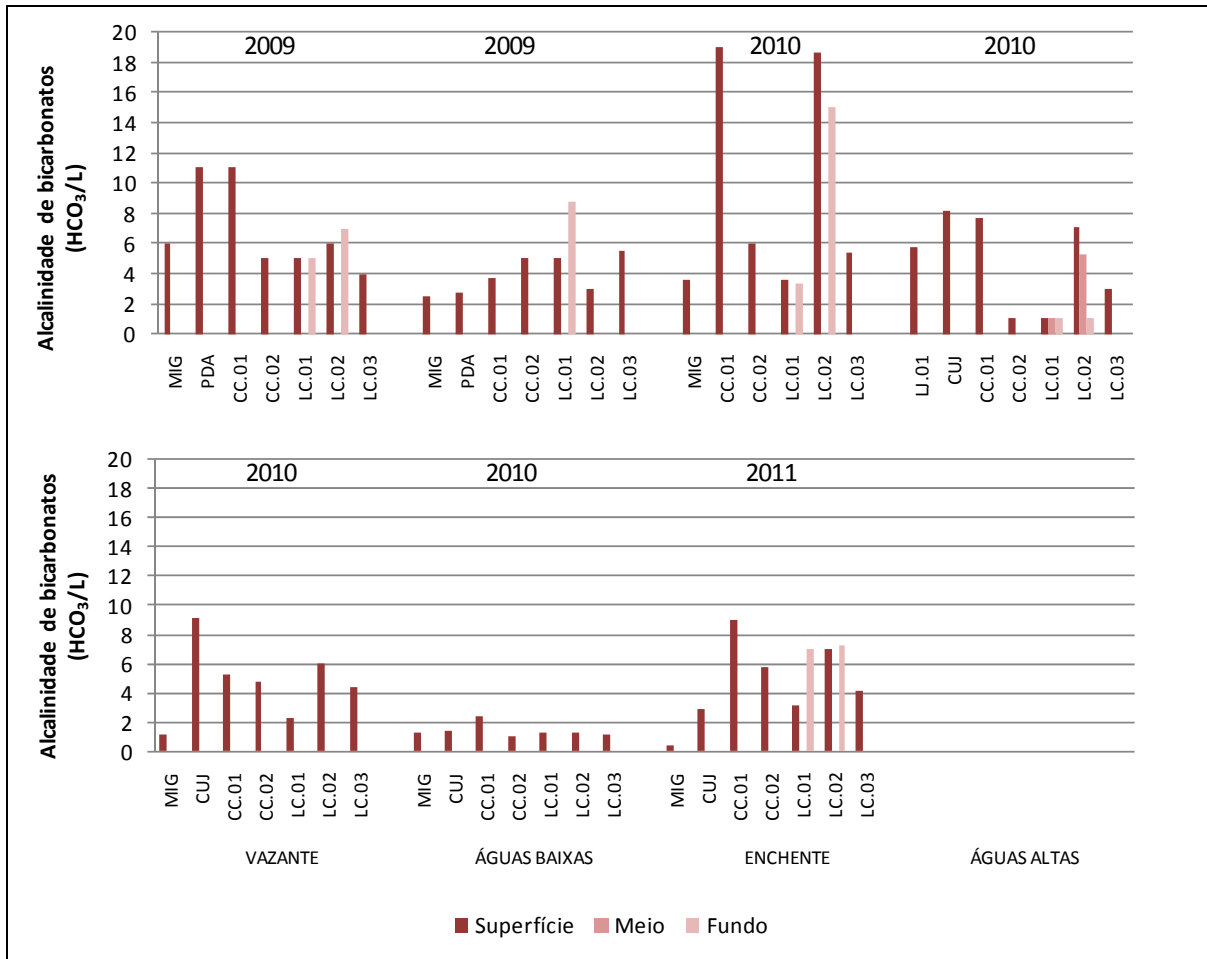


Figura 5.1-129 - Alcalinidade de bicarbonatos nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

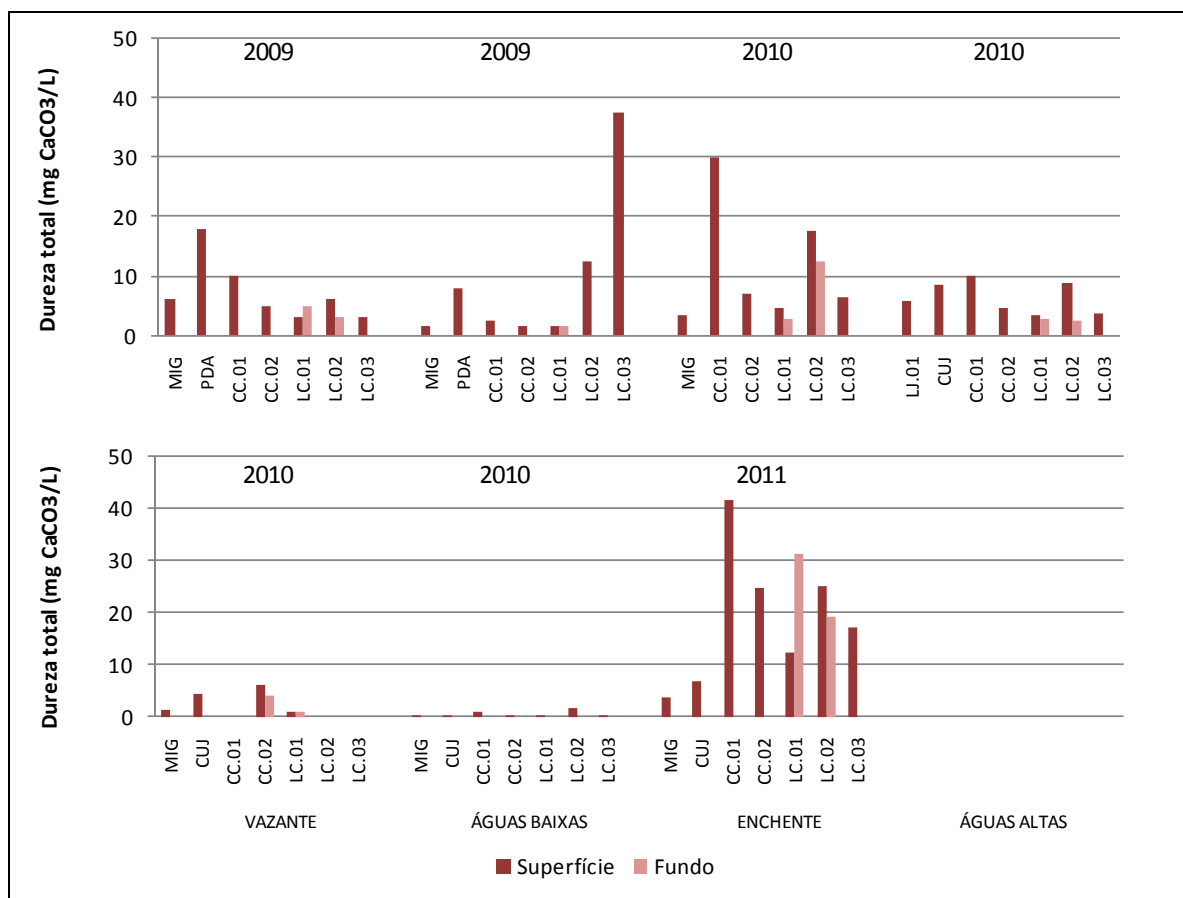


Figura 5.1-130 - Dureza total da água nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

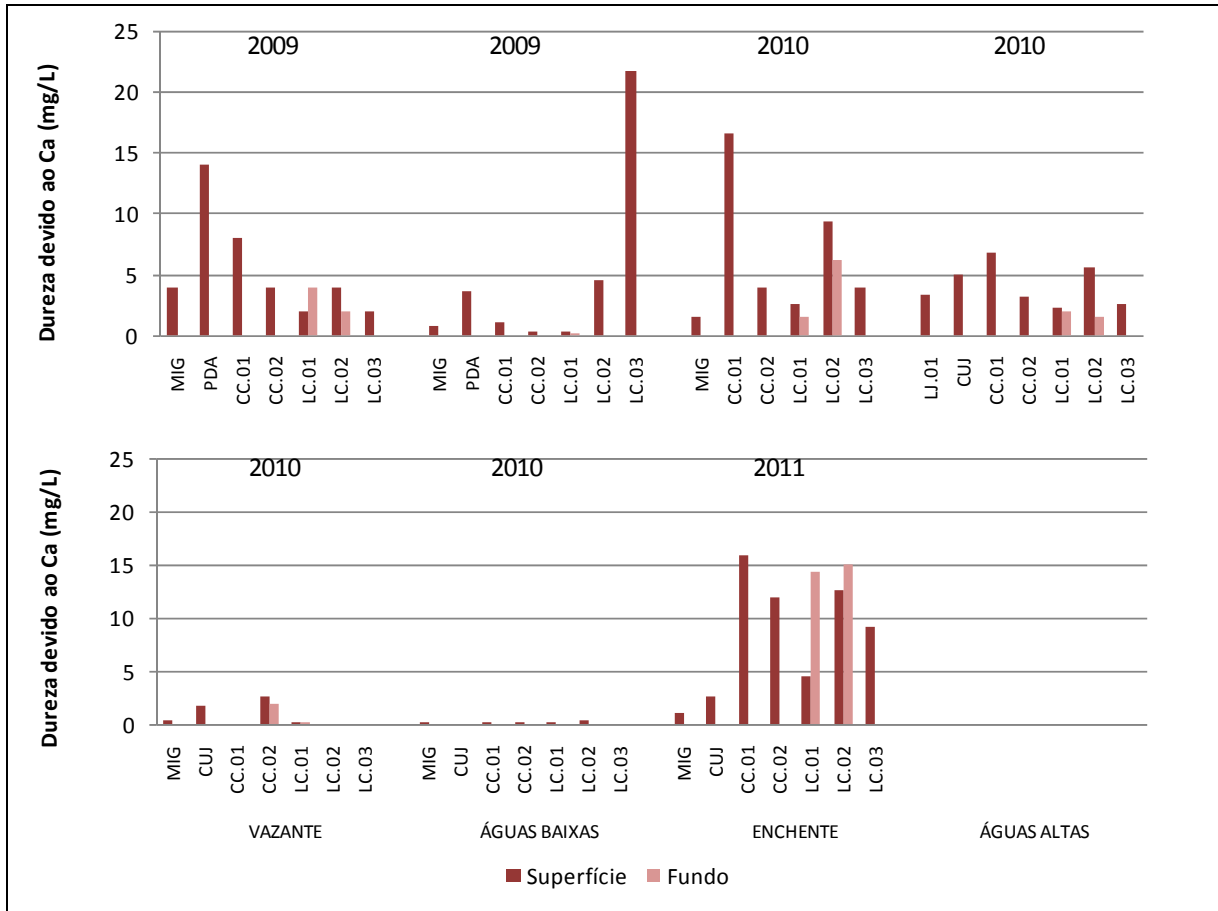


Figura 5.1-131 - Dureza devido ao cálcio nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

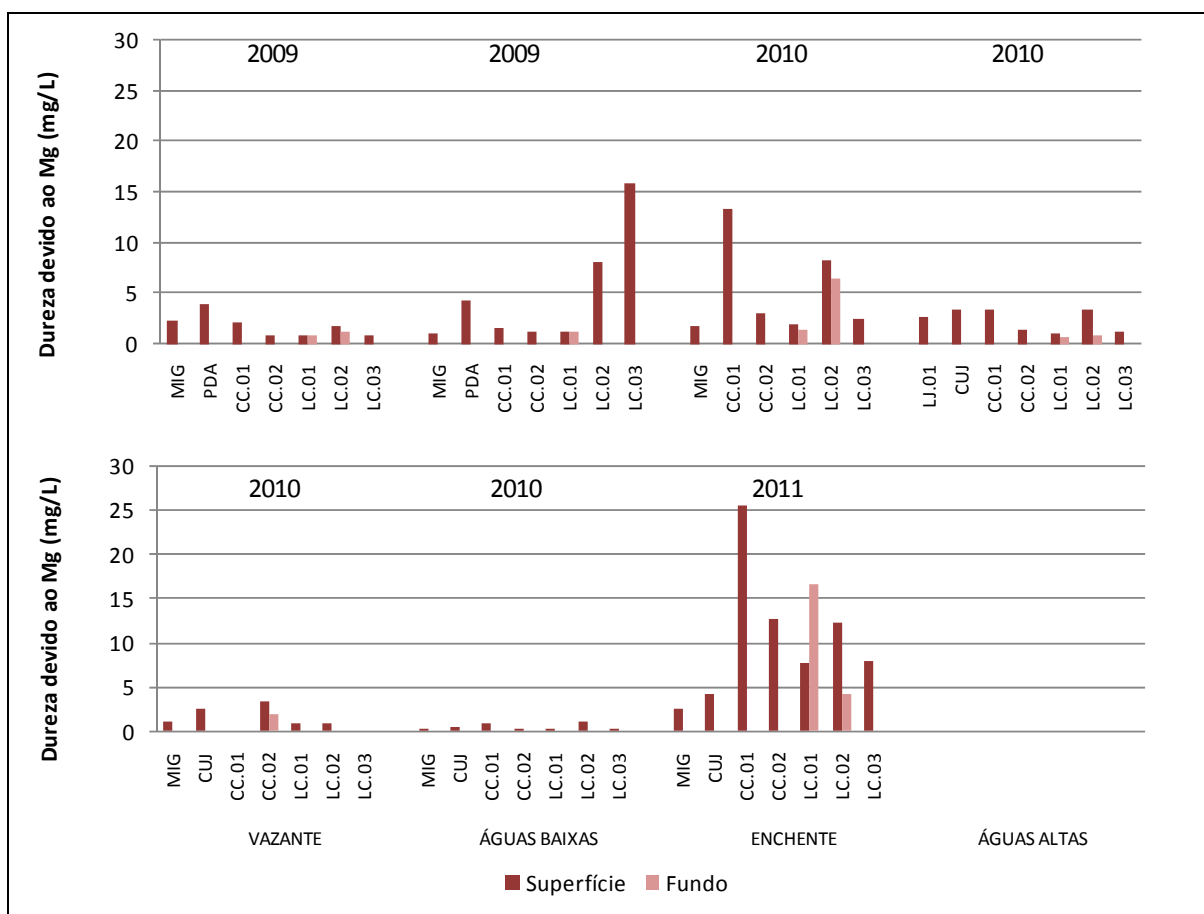


Figura 5.1-132 - Dureza devido ao magnésio nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Recomenda-se a exclusão da apresentação gráfica dos resultados de alcalinidade de bicarbonatos. A alcalinidade é conferida pelo íon bicarbonato sempre que a faixa de pH estiver entre 4,4 e 8,3. Como os ambientes amostrados apresentam pH dentro dessa faixa, toda a alcalinidade encontrada nesses ambientes é conferida pelo bicarbonato, sendo a alcalinidade de bicarbonatos idêntica à alcalinidade total.

O gás carbônico livre e o gás carbônico total são calculados com base na alcalinidade, sendo proporcional a esta. Desta forma, recomenda-se a exclusão da apresentação gráfica dessas variáveis.



### 5.1.1.9 - Químicas III

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

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

Nos pontos amostrados no rio Madeira, o cátion e o ânion mais abundante foram o cálcio e o bicarbonato, respectivamente (**Quadro 5.1-1**). Em média, os cátions mais abundantes foram o cálcio (36%), o sódio (30%), o magnésio (20%) e o potássio (13%), ao passo que os ânions foram o bicarbonato (70%), o sulfato (27%) e o cloreto (3%). Esses valores de contribuição foram bastante semelhantes aos descritos no EIA, principalmente em relação aos cátions. As concentrações médias de sódio ( $\text{Na}^+$ ) foram relativamente constantes entre a vazante de 2009 e as águas altas de 2010, tendo atingido o pico nas águas baixas de 2010 ( $4,2 \pm 1,2$  mg/L, média  $\pm$  DP). A concentração média global desse cátion foi de  $4,4 \pm 2,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) para superfície e  $4,2 \pm 2,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (**Figura 5.1-133**). Assim como o sódio, o potássio ( $\text{K}^+$ ) praticamente não variou ao longo dos quatro primeiros períodos de amostragem. O pico nas concentrações de potássio aconteceu na enchente de 2011 ( $3,8 \pm 0,3$  mg/L, média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-134**). Esse elemento apresentou média global de  $2,1 \pm 0,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $2,1 \pm 0,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo. As concentrações médias de cálcio oscilaram entre  $0,8 \pm 2,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $8,8 \pm 1,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011, com média global de  $5,8 \pm 2,7$  mg/L (média  $\pm$  DP) na superfície e  $5,5 \pm 2,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) no fundo (**Figura 5.1-135**). O magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) apresentou concentração média global de  $3,1 \pm 1,5$  mg/L (média  $\pm$  DP), para a superfície, sendo que os valores médios dos períodos oscilaram entre  $0,7 \pm 0,0$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $5,6 \pm 1,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 (**Figura 5.1-136**). O cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) apresentou concentrações geralmente não detectáveis pelo método analítico adotado nas quatro primeiras campanhas. Na campanha de vazante de 2010 apenas a estação MON.01 apresentou valores acima do limite de

detecção do método. Na campanha seguinte (águas baixas de 2010), todas as estações apresentaram valores acima do limite de detecção, sendo a média para este período igual a  $1,8 \pm 0,2$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $1,6 \pm 0,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (Figura 5.1-137). O sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) não foi mensurado no período de águas baixas. A concentração média, considerando os outros períodos amostrados, foi de  $10,3 \pm 4,0$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $10,1 \pm 4,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo. Os valores oscilaram entre  $3,9 \pm 1,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 e  $15,3 \pm 1,4$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 (Figura 5.1-138). O bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) foi o ânion mais abundante. As concentrações médias desse ânion oscilaram entre  $12,3 \pm 2,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 e  $33,8 \pm 4,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010, com média global de  $21,5 \pm 7,2$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $21,9 \pm 6,2$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (Figura 5.1-139).

Quadro 5.1-1 - Composição iônica, em porcentagem, no rio Madeira, tributários e lagos e canais nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Íons		%							
		Vazante	Águas baixas	Enchente	Águas altas	Vazante	Águas baixas	Enchente	
Madeira	Cátions	Na+	18	29	16	16	29	77	26
		Ca2+	47	34	46	50	35	8	35
		K+	14	11	16	15	14	8	15
		Mg2+	21	25	22	19	21	7	24
		Total	100	100	100	100	100	100	100
	Ânions	Cl-	2	0	3	4	2	5	3
		SO42-	31	0	30	12	25	40	53
		HCO3-	67	100	66	84	73	56	44
		Total	100	100	100	100	100	100	100
		Íons		%					
		Vazante	Águas baixas	Enchente	Águas altas	Vazante	Águas baixas	Enchente	
Tributários	Cátions	Na+	26	54	18	20	31	75	29
		Ca2+	52	10	35	33	11	14	15
		K+	15	28	32	39	30	9	45
		Mg2+	7	8	15	8	28	1	12
		Total	100	100	100	100	100	100	100
	Ânions	Cl-	0	0	7	5	16	35	30
		SO42-	1	0	19	25	16	18	26
		HCO3-	99	100	74	70	68	47	44
		Total	100	100	100	100	100	100	100
		Íons		%					
		Vazante	Águas baixas	Enchente	Águas altas	Vazante	Águas baixas	Enchente	
Lagos e Canais	Cátions	Na+	7	26	18	13	4	89	30
		Ca2+	65	30	37	44	2	1	30
		K+	17	24	26	28	91	9	17
		Mg2+	12	19	19	15	2	1	23
		Total	100	100	100	100	100	100	100
	Ânions	Cl-	0	0	8	18	15	19	15
		SO42-	1	0	14	17	15	55	50
		HCO3-	99	100	78	66	70	26	35
		Total	100	100	100	100	100	100	100

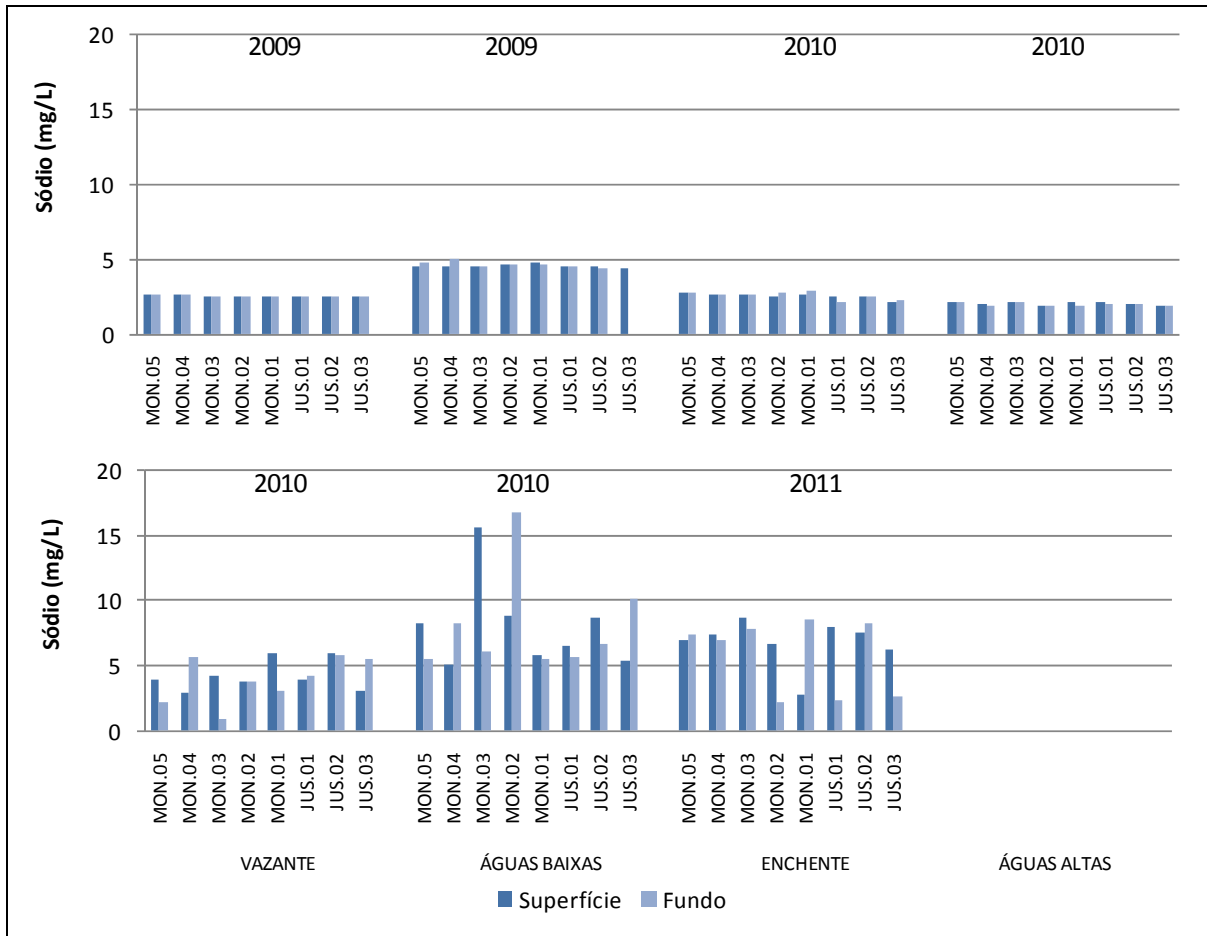


Figura 5.1-133 - Concentrações de sódio (Na<sup>+</sup>) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

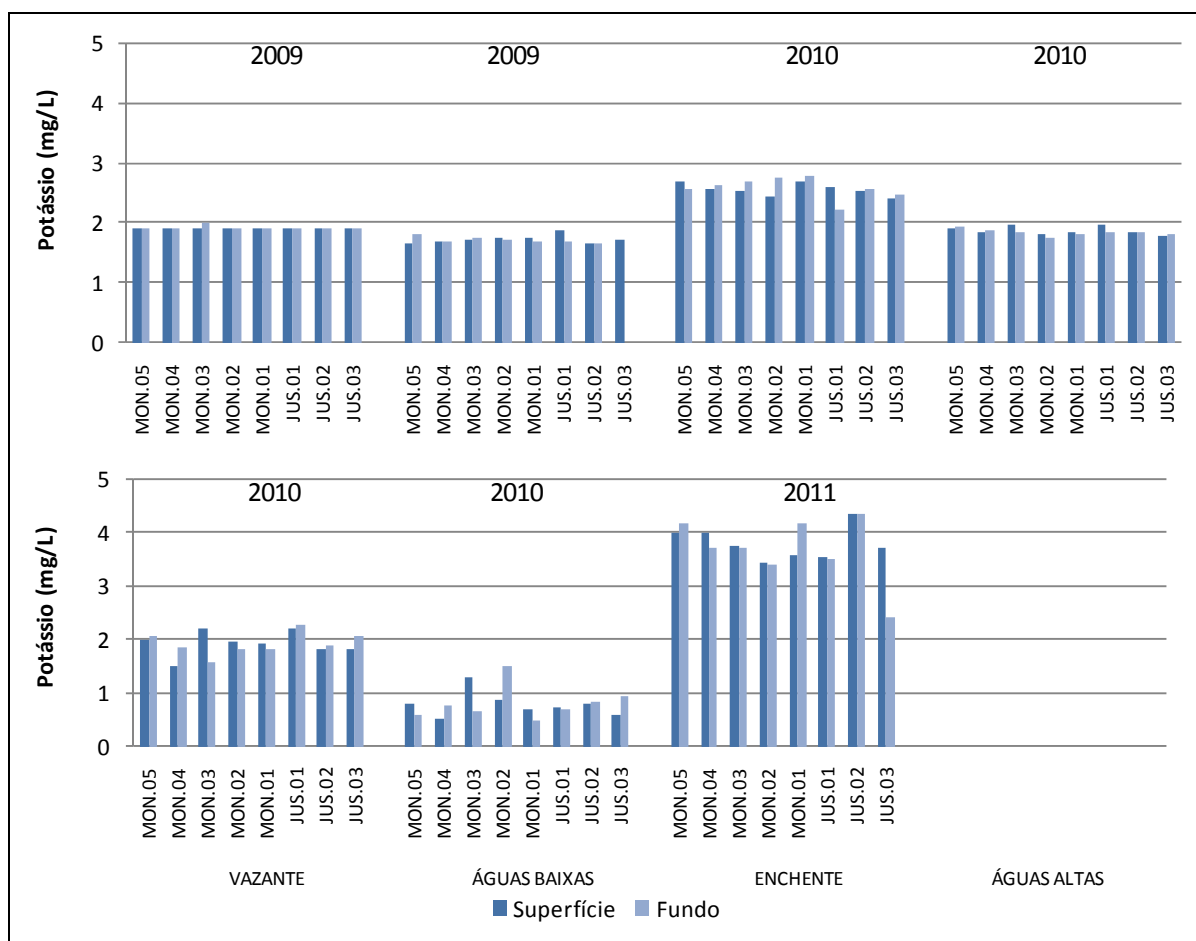


Figura 5.1-134 - Concentrações de potássio (K<sup>+</sup>) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

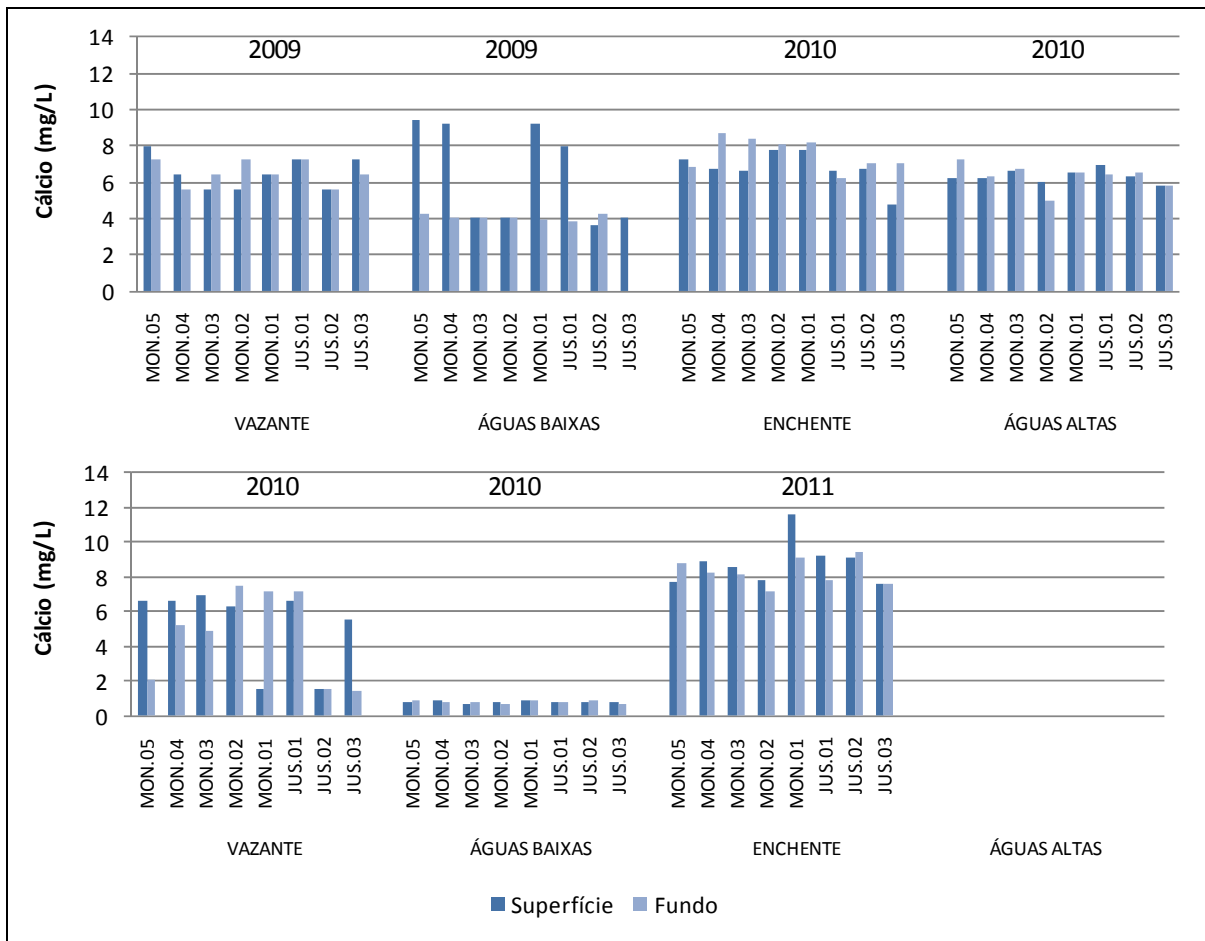


Figura 5.1-135 - Concentrações de cálcio (Ca<sup>2+</sup>) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

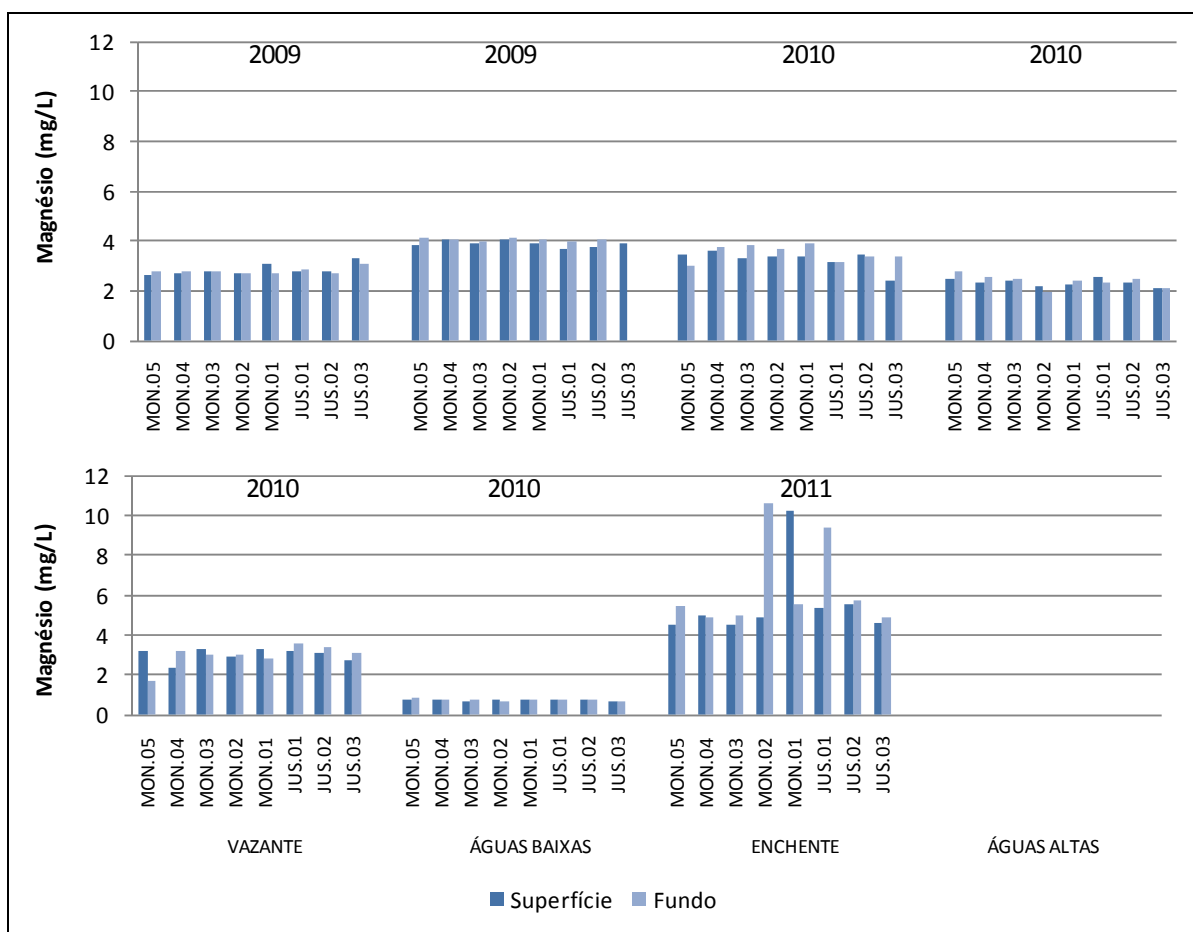


Figura 5.1-136 - Concentrações de magnésio ( $Mg^{2+}$ ) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

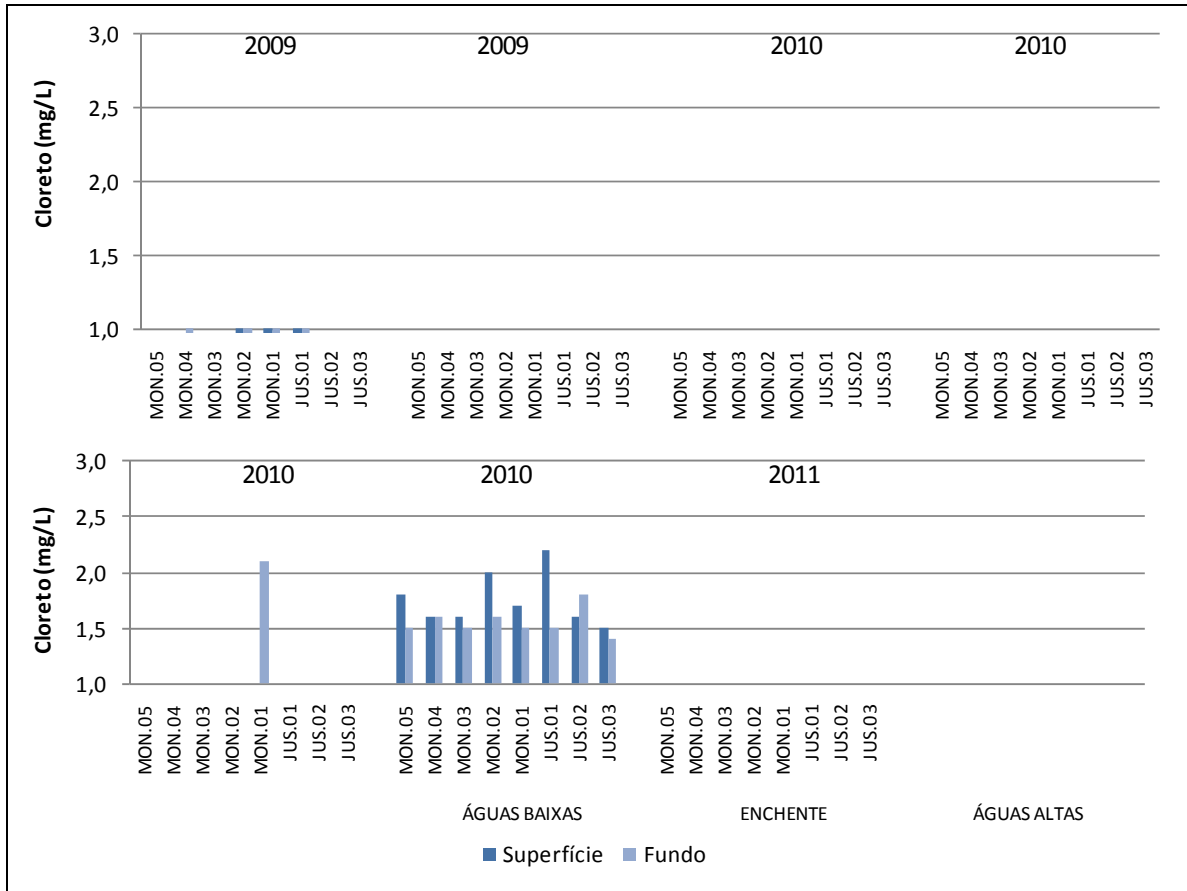


Figura 5.1-137 - Concentrações de cloreto (Cl<sup>-</sup>) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

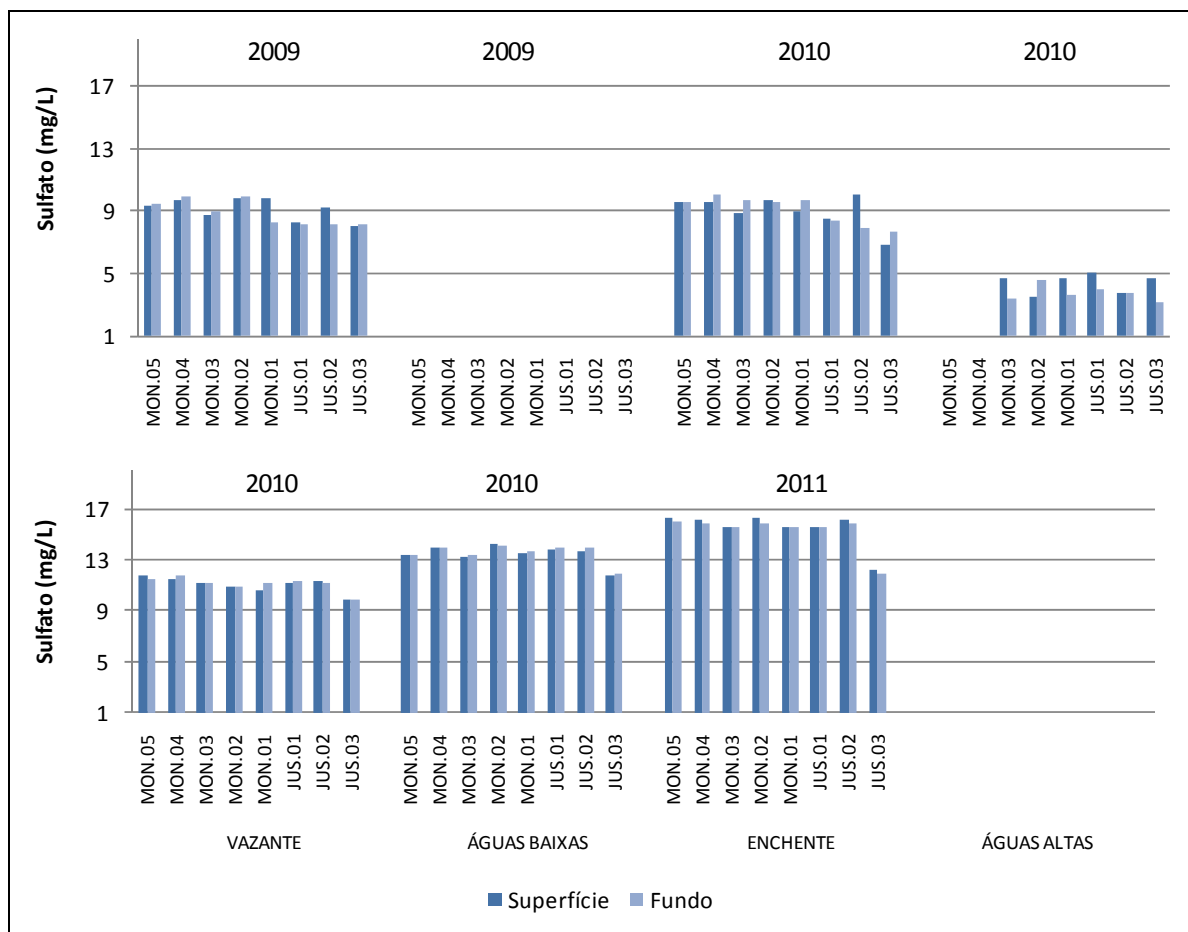


Figura 5.1-138 - Concentrações de sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



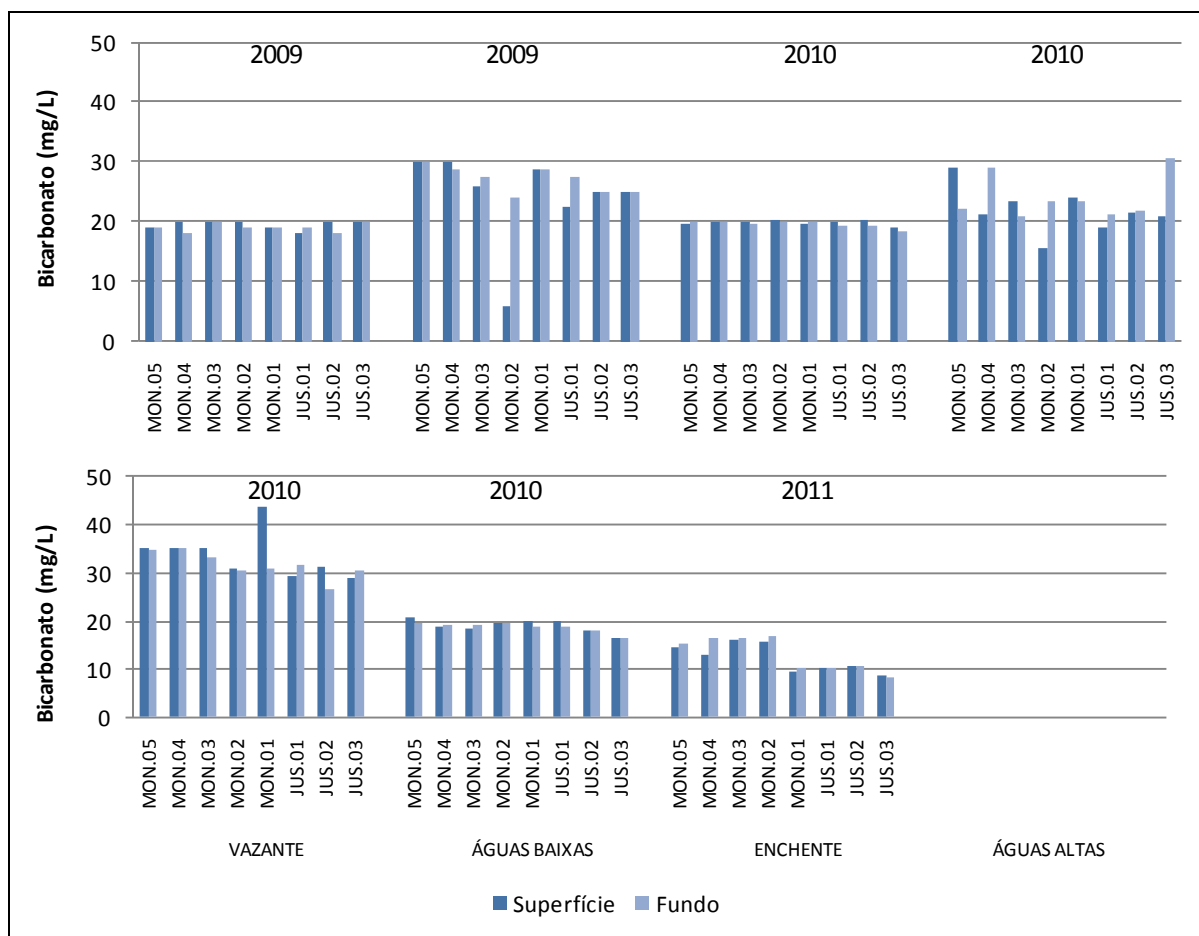


Figura 5.1-139 - Concentrações de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos tributários, o sódio foi o cátion com maior abundância média (36%), seguido do potássio (28%), do cálcio (24%) e do magnésio (11%). Em relação aos ânions, o mais abundante foi o bicarbonato (72%), seguido pelo sulfato (15%) e pelo cloreto (13%). A contribuição de cada um dos cátions e ânions em cada período está apresentada no **Quadro 5.1-1**. Os rios tributários apresentaram, em geral, baixas concentrações de sódio ( $\text{Na}^+$ ). As concentrações médias variaram de  $0,6 \pm 0,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 a  $7,9 \pm 3,5$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010, com média global de  $2,4 \pm 3,2$  mg/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-140**). O período de águas baixas foi responsável pelos maiores valores tanto em 2009 quanto em 2010. O potássio ( $\text{K}^+$ ) apresentou padrão de distribuição espacial bastante similar ao longo do tempo, com os menores valores ocorrendo geralmente na estação CAR (**Figura 5.1-141**). As concentrações médias desse cátion oscilaram entre  $0,5 \pm 0,2$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009 e  $2,1 \pm 1,1$

na enchente de 2011. Esses valores médios produziram uma média global de  $1,4 \pm 0,8$  mg/L (média  $\pm$  DP). A concentração média global de cálcio foi de  $1,2 \pm 1,9$  mg/L (média  $\pm$  DP), sendo que os valores médios oscilaram entre  $0,6 \pm 0,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 e vazante de 2010 e  $1,9 \pm 2,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009 e na enchente de 2010 (**Figura 5.1-142**). As concentrações médias de magnésio ( $Mg^{2+}$ ) oscilaram entre  $0,1 \pm 0,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $1,4 \pm 1,2$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010, com média global de  $0,6 \pm 0,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-143**). O íon cloreto ( $Cl^-$ ) praticamente não foi detectado nos rios tributários. As concentrações desse ânion foram detectadas apenas nas estações BEL, nas águas altas, vazante e águas baixas de 2010, além da enchente de 2011 (**Figura 5.1-144**). O mesmo aconteceu com o íon sulfato ( $SO_4^{2-}$ ), que apresentou concentrações detectáveis apenas nas estações JAT II (9,3 mg/L) e BEL (8,6 mg/L), na enchente de 2010, BEL nas águas baixas de 2010 (1,6 mg/L) e JAT I na enchente de 2011 (1,3 mg/L) (**Figura 5.1-145**). O bicarbonato ( $HCO_3^-$ ), ânion mais abundante, apresentou concentração média global de  $5,1 \pm 5,7$  mg/L (média  $\pm$  DP). As concentrações médias desse ânion oscilaram entre  $1,9 \pm 1,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 e  $12,3 \pm 10,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010 (**Figura 5.1-146**).

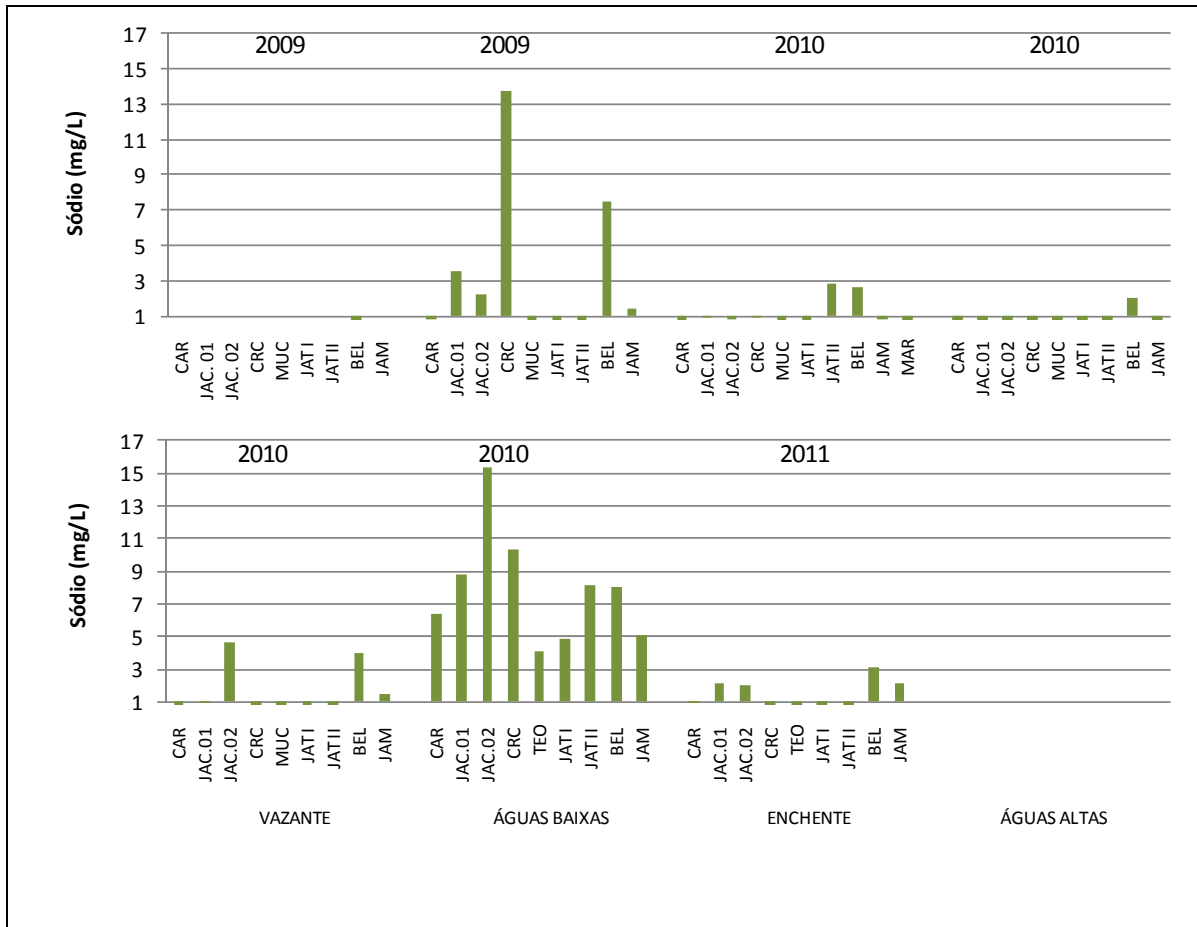


Figura 5.1-140 - Concentrações de sódio (Na<sup>+</sup>) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

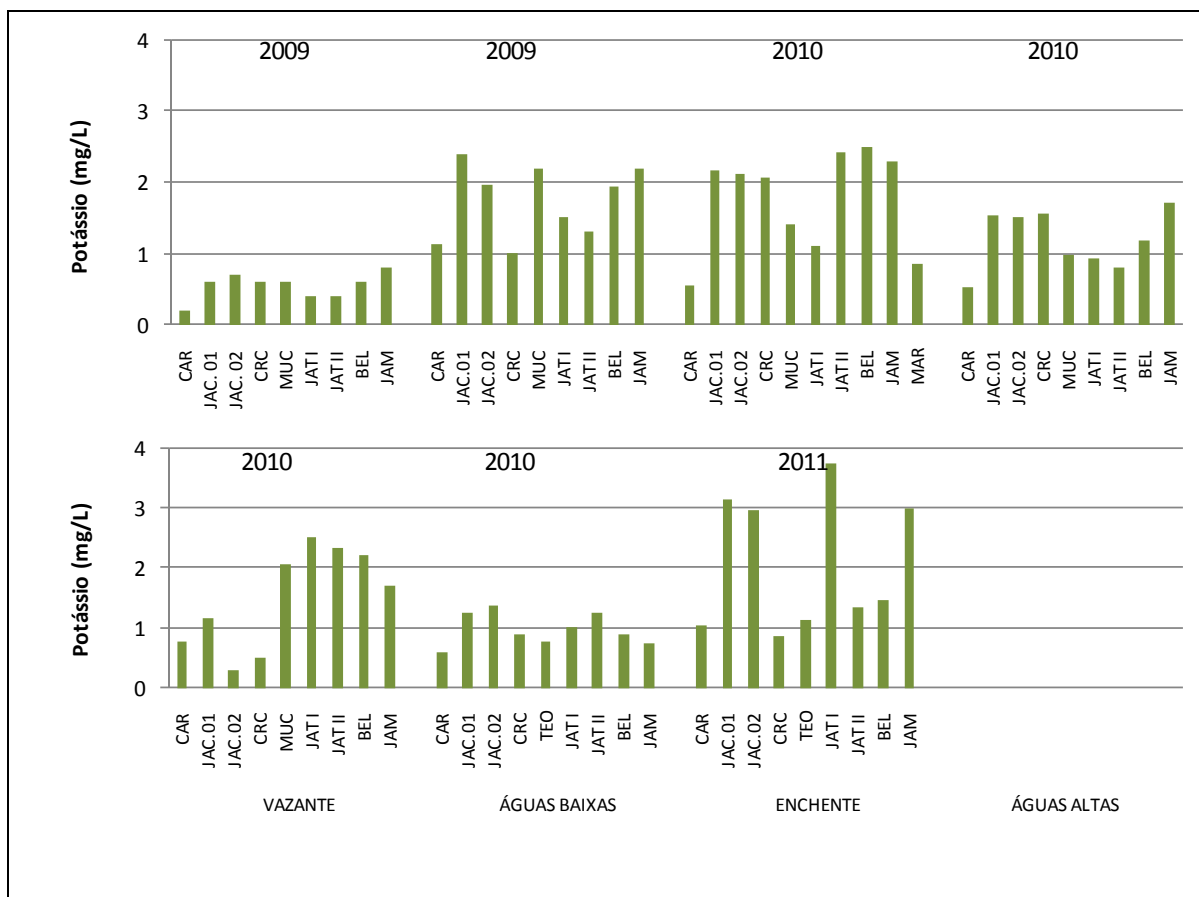


Figura 5.1-141 - Concentrações de potássio (K<sup>+</sup>) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

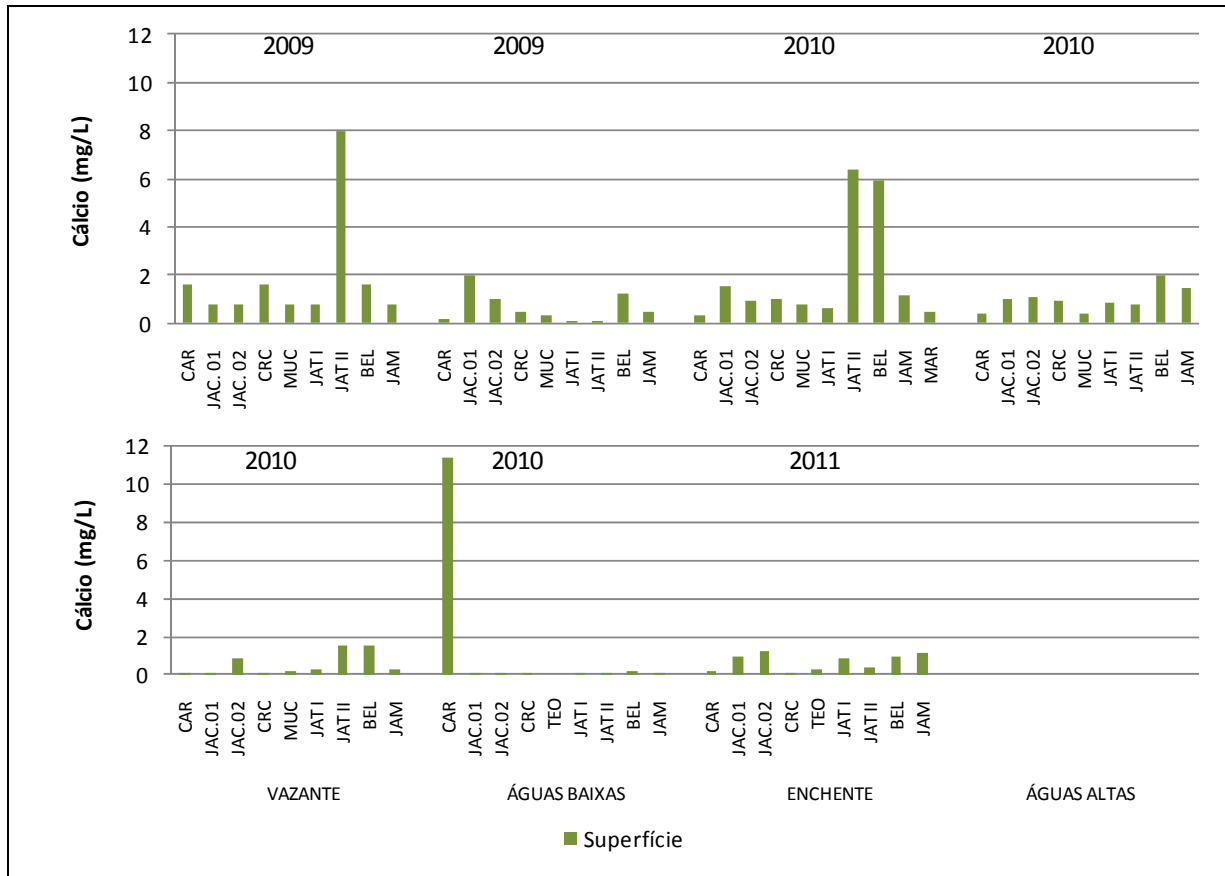


Figura 5.1-142 - Concentrações de cálcio (Ca<sup>2+</sup>) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

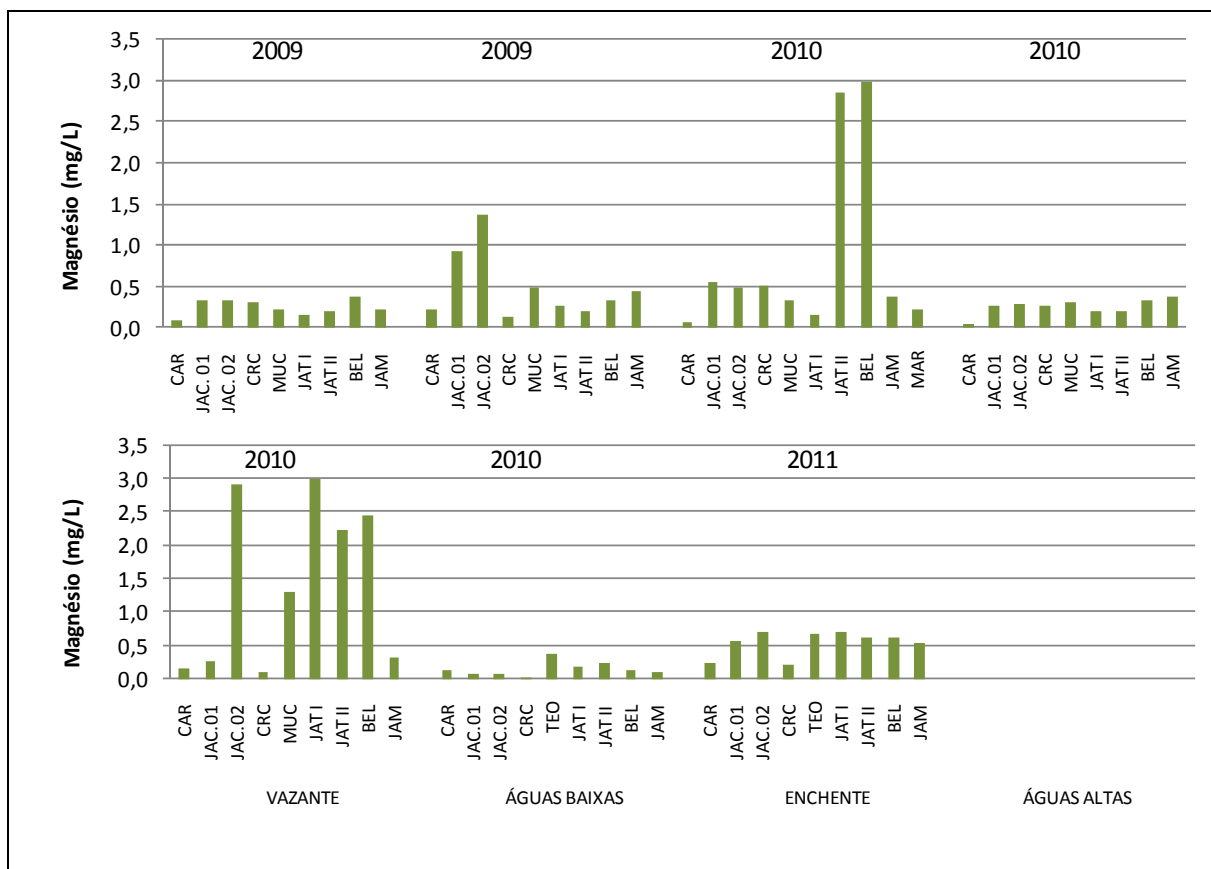


Figura 5.1-143 - Concentrações de magnésio ( $Mg^{2+}$ ) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

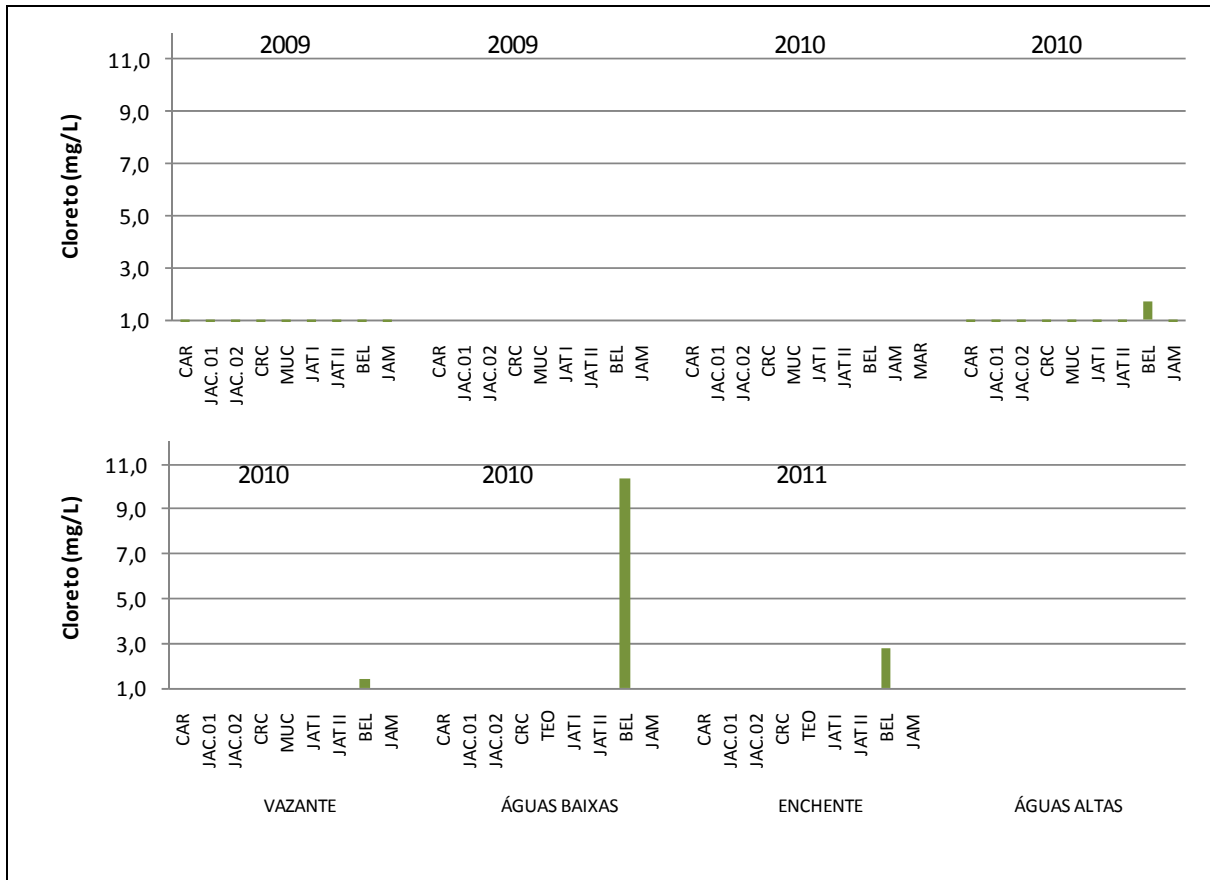


Figura 5.1-144 - Concentrações de cloreto (Cl<sup>-</sup>) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

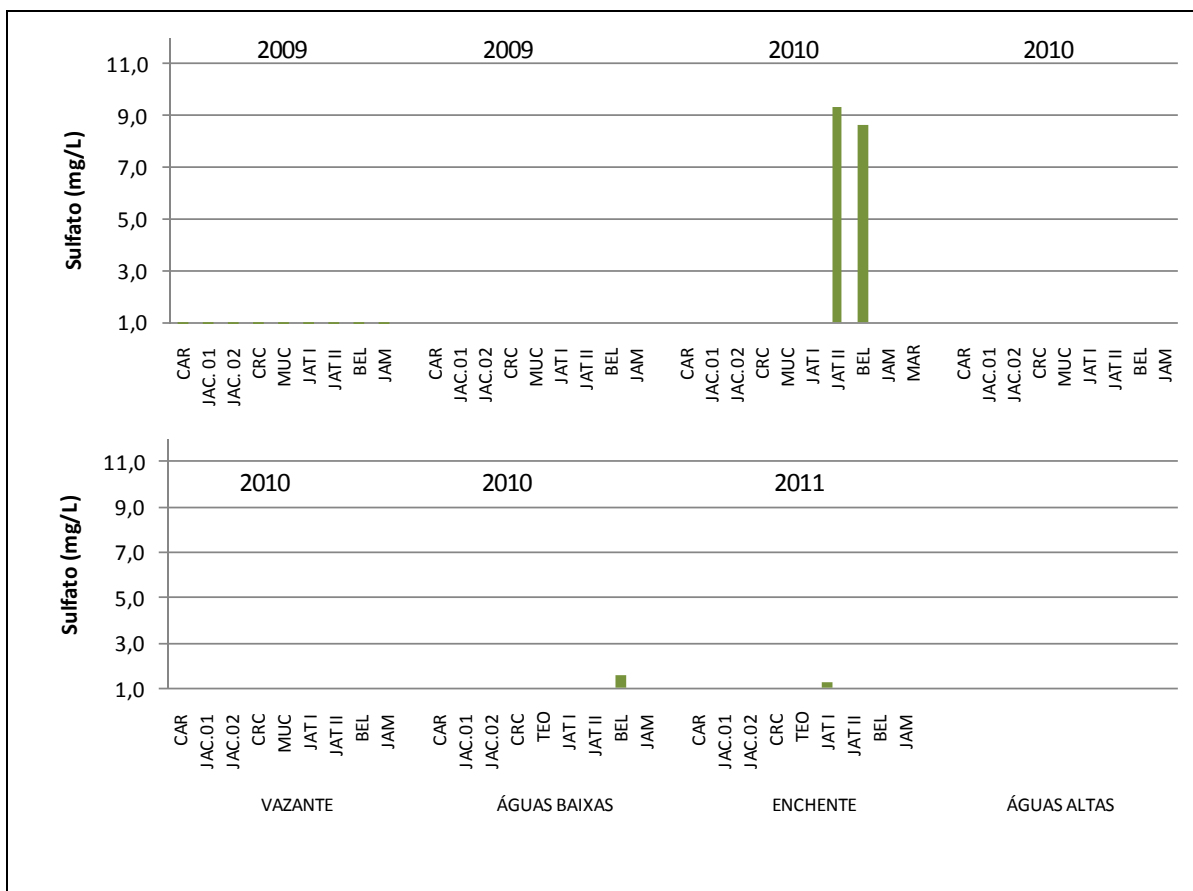


Figura 5.1-145 - Concentrações de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



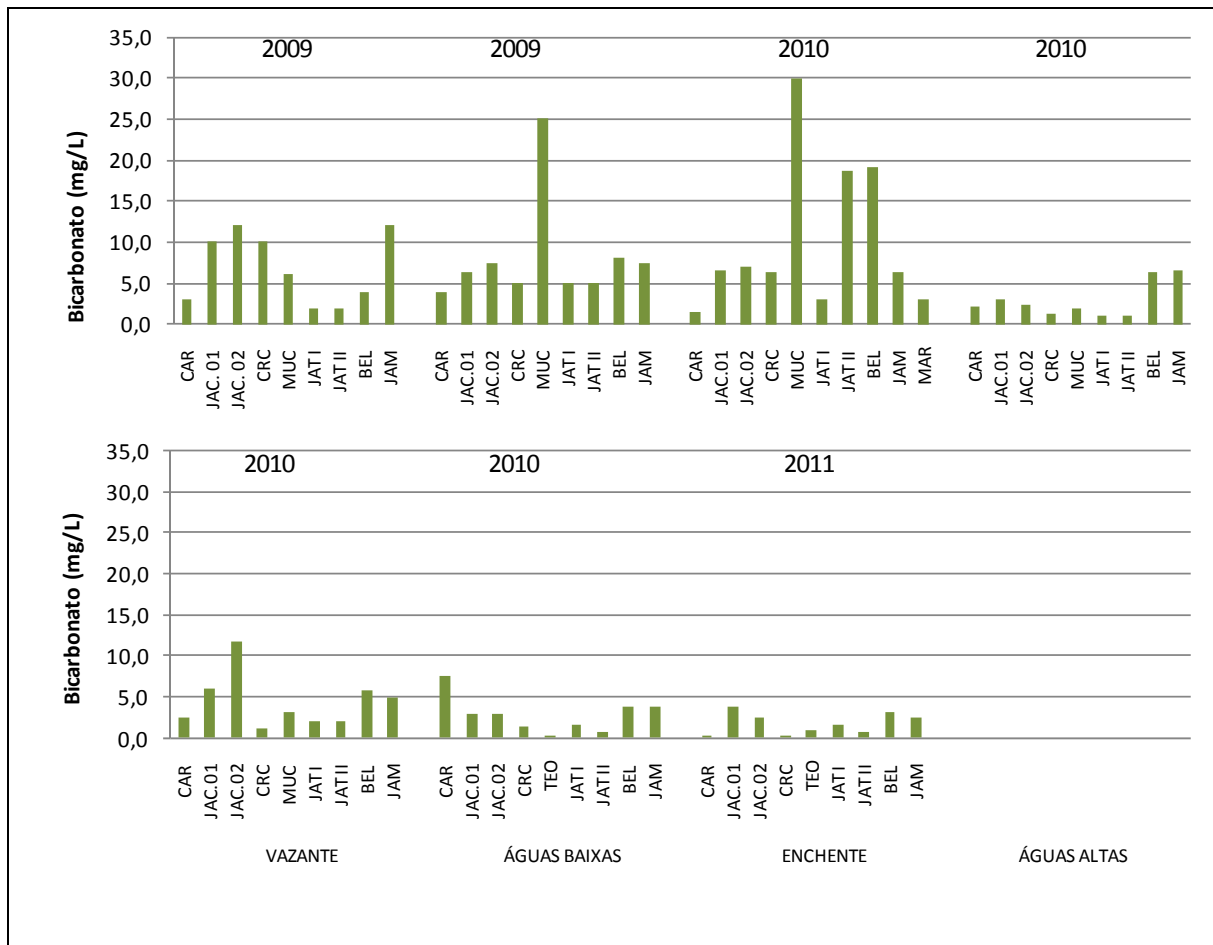


Figura 5.1-146 - Concentrações de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos lagos e canais, assim como no rio Madeira, o cálcio foi o cátion com mais abundância média (30%), juntamente com o potássio (30%), seguido do sódio (27%) e do magnésio (13%). Em relação aos ânions, o bicarbonato foi o mais abundante (68%), seguido pelo sulfato (22%) e pelo cloreto (11%). A contribuição de cada um dos cátions e ânions em cada período é demonstrada no **Quadro 5.1-1**. O sódio ( $\text{Na}^+$ ) apresentou concentrações bastante modestas nos lagos e canais, tendo apresentado uma média global de  $3,8 \pm 4,8$  mg/L (média  $\pm$  DP). As concentrações médias dos períodos oscilaram entre  $< 1$  mg/L (limite de detecção do método) na vazante de 2009, água altas e vazante de 2010 e  $11,5 \pm 6,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 (**Figura 5.1-147**). O potássio ( $\text{K}^+$ ) também apresentou baixas concentrações, variando entre  $0,5 \pm 0,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009 e  $19,3 \pm 47,5$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010. O elevado desvio padrão da média na vazante de 2010 deveu-se à concentração de potássio

encontrada na estação CUJ (127 mg/L), que destoa das demais estações amostradas (**Figura 5.1-148**). O cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) apresentou bastante variação espacial em todos os períodos. As concentrações médias desse cátion oscilaram entre  $0,2 \pm 0,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $3,3 \pm 2,2$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011, exibindo média global de  $1,7 \pm 2,0$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $1,9 \pm 2,2$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (**Figura 5.1-149**). Em relação ao magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), as concentrações médias variaram entre  $0,1 \pm 0,1$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $2,8 \pm 1,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011, com média global de  $0,9 \pm 1,2$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $0,8 \pm 1,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (**Figura 5.1-150**). Nenhum padrão de distribuição espacial pôde ser identificado, tanto para o  $\text{Mg}^{2+}$  como para os demais cátions, tendo em vista a alta variação espacial. O ânion cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) não foi detectado na maior parte do período de estudo, exceto nas estações CC.02 e LC.02 nas águas altas, na estação MIG nas águas baixas de 2010 e nas estações CUJ, LC.01 e LC.02 na enchente de 2011 (**Figura 5.1-151**). O mesmo foi observado em relação ao sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), que só apresentou concentrações detectáveis na vazante de 2009, na enchente de 2010, nas águas altas, nas águas baixas de 2010 e na enchente de 2011 (**Figura 5.1-152**). O bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) foi o ânion mais abundante, tendo apresentado concentração média global de  $5,0 \pm 3,9$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $6,0 \pm 4,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo. As concentrações médias desse íon oscilaram entre  $1,4 \pm 0,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $9,4 \pm 7,4$  mg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010 (**Figura 5.1-153**).

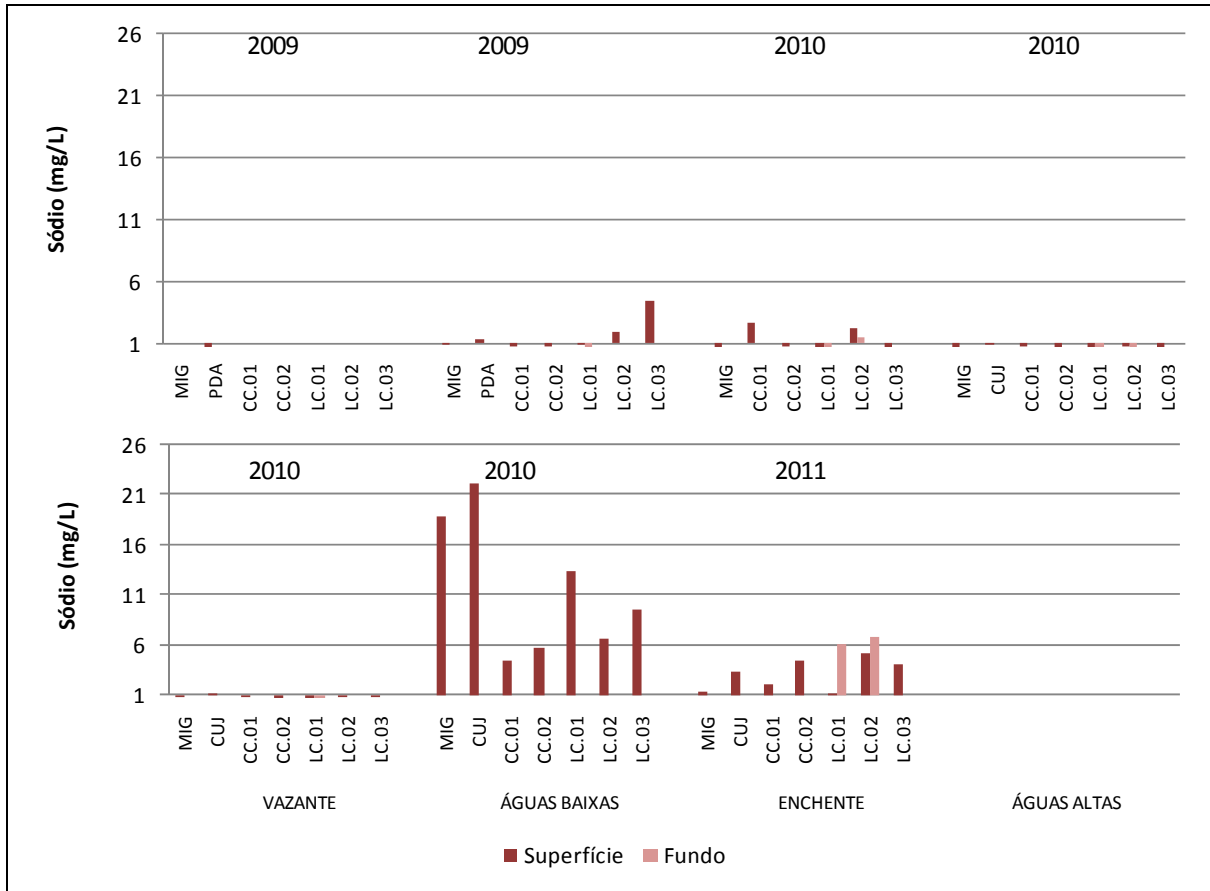


Figura 5.1-147 - Concentrações de sódio (Na<sup>+</sup>) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

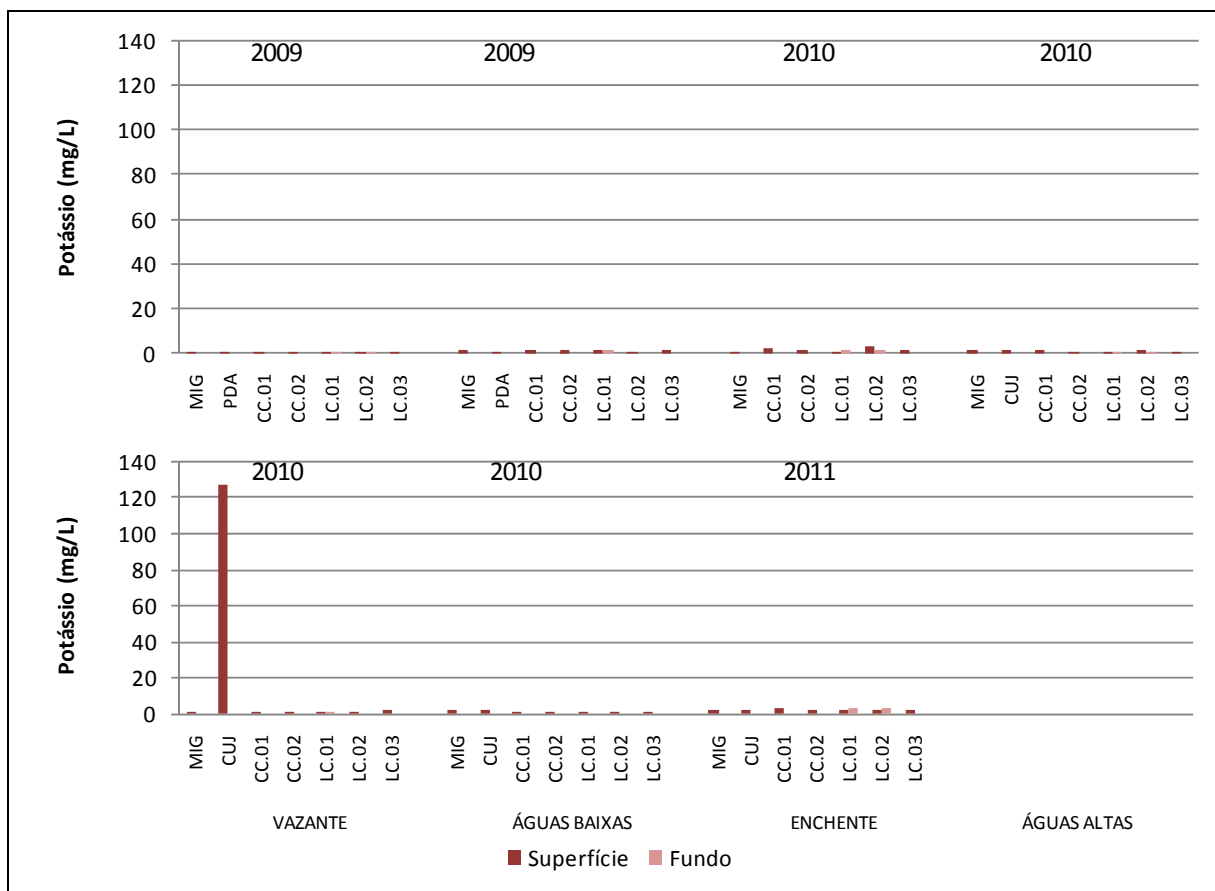


Figura 5.1-148 - Concentrações de potássio (K<sup>+</sup>) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

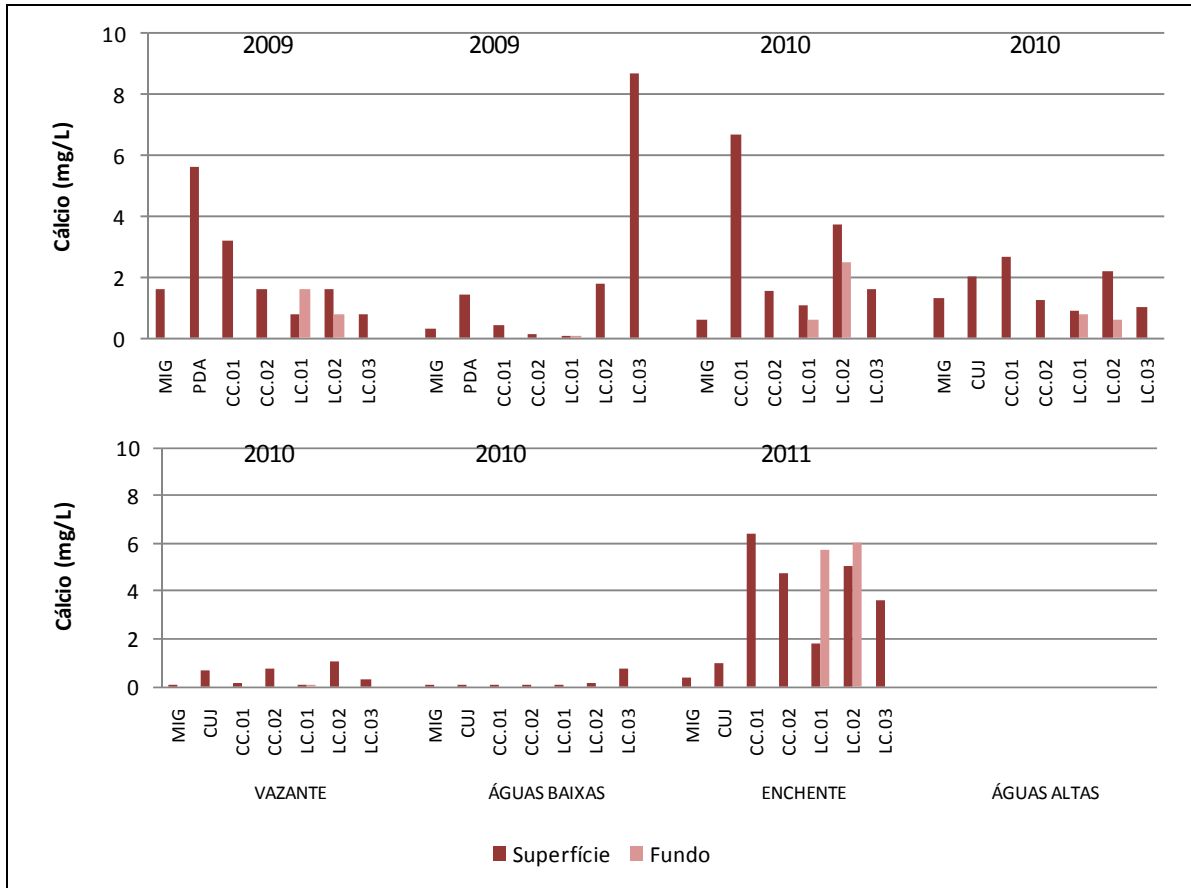


Figura 5.1-149 - Concentrações de cálcio (Ca<sup>2+</sup>) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

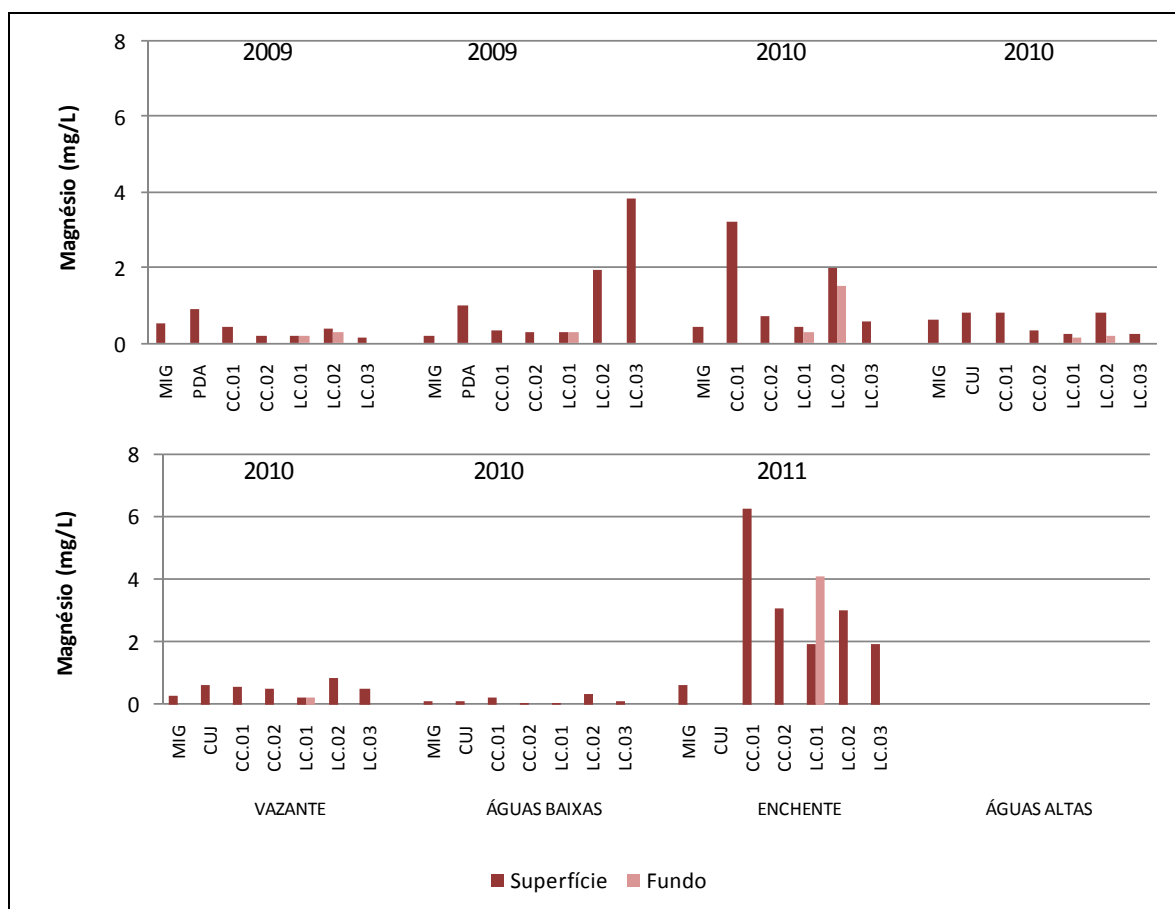


Figura 5.1-150 - Concentrações de magnésio ( $Mg^{2+}$ ) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

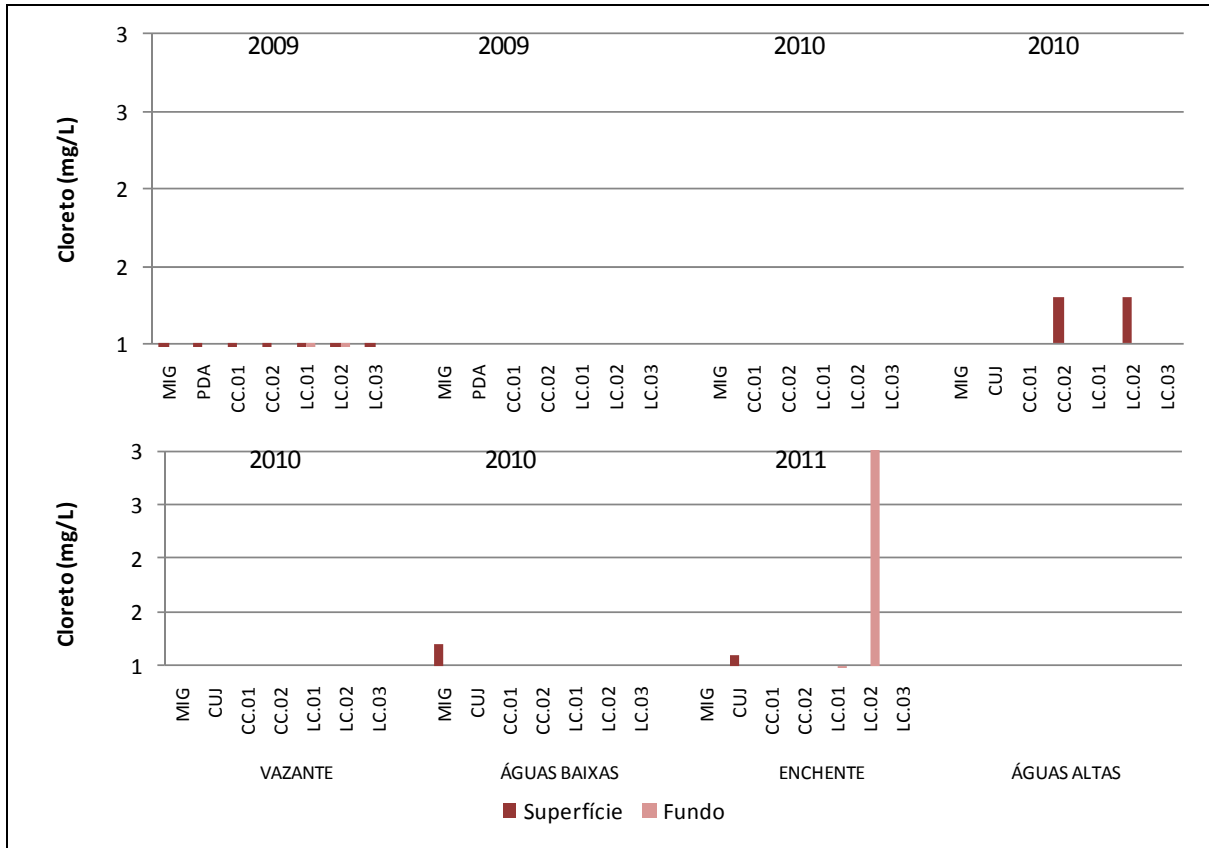


Figura 5.1-151 - Concentrações de cloreto (Cl<sup>-</sup>) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

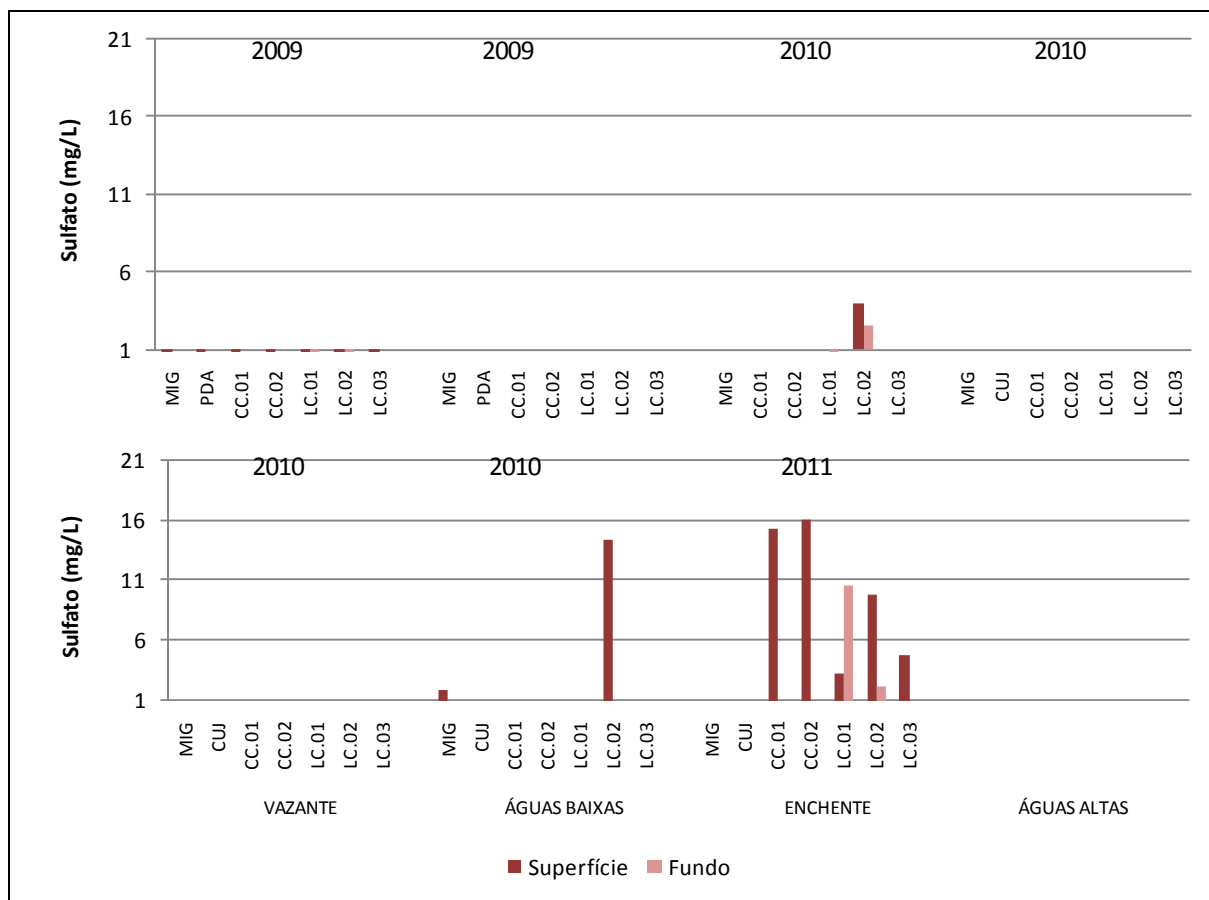


Figura 5.1-152 - Concentrações de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



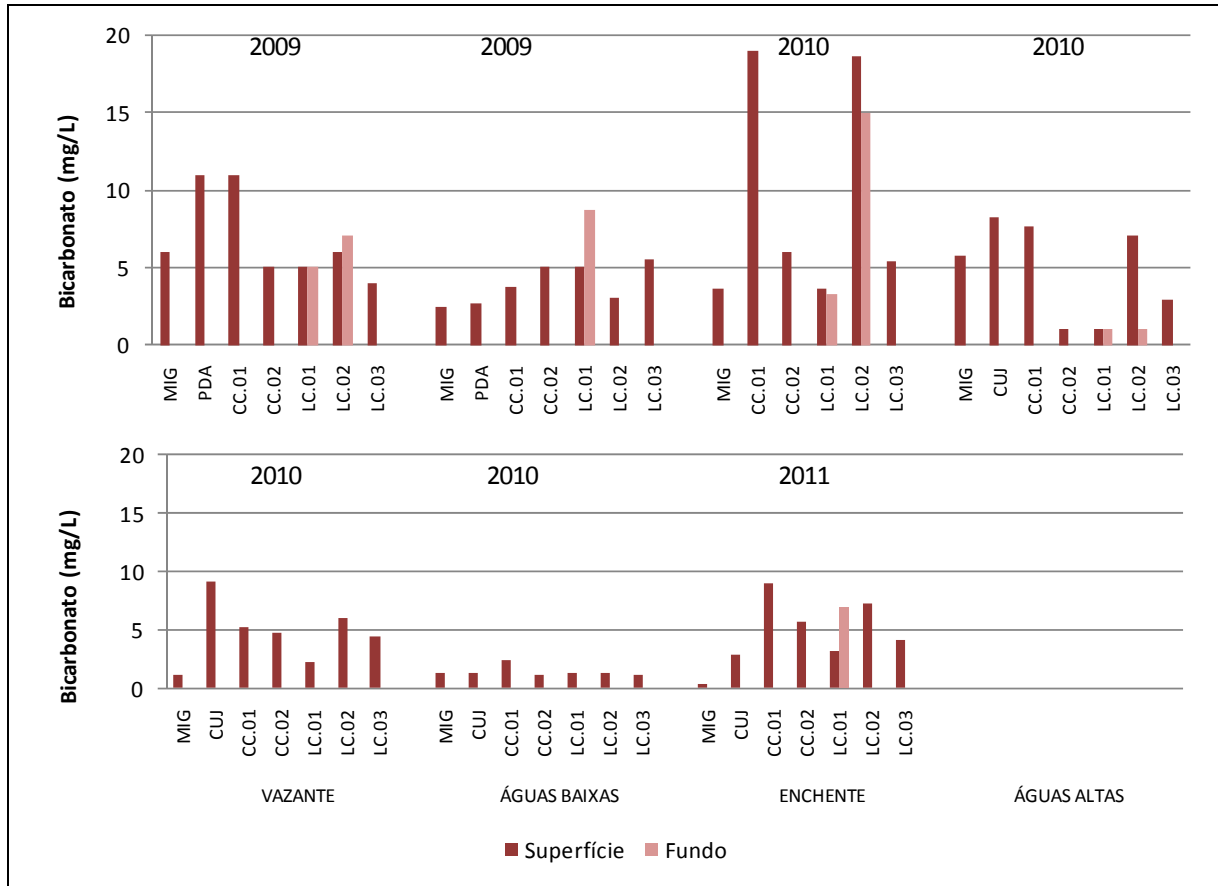


Figura 5.1-153 - Concentrações de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

## 5.1.1.10 - Químicas IV

### 5.1.1.10.1 - 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 estoque de nitrogênio inorgânico. As concentrações de nitrato variaram de  $23 \pm 24$  µg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009 a  $538 \pm 179$  µg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010, com uma média de  $192 \pm 203$  µg/L (média  $\pm$  DP) para superfície e  $182 \pm 192$  µg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo. Estes valores são levemente inferiores àqueles registrados no EIA -  $470 \pm 210$  µg/L (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-154). Contudo, a maneira como o pulso de inundação atinge o rio Madeira em cada ano pode explicar essa variação. O nitrogênio amoniacal foi a segunda fração que mais contribuiu para o nitrogênio inorgânico. As concentrações médias dessa fração variaram de  $7 \pm 3$  µg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 a  $96 \pm 61$  µg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011, com média de  $43 \pm 45$  µg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $48 \pm 63$  µg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo. Os valores mais reduzidos de nitrogênio amoniacal foram encontrados sempre nas águas baixas (Figura 5.1-155). No EIA, a média global relatada é de  $110 \pm 40$  µg/L (média  $\pm$  DP), um pouco acima da encontrada até então. Assim como o que foi conjecturado para o nitrato, diferenças interanuais na maneira como o pulso de inundação atinge o rio Madeira podem explicar essas variações, pois tanto o nitrato como o nitrogênio amoniacal apresentaram valores menores no atual monitoramento. Já o nitrito apresentou concentrações baixas ao longo de todo o período de estudo, com valores médios oscilando entre  $0,4 \pm 0,4$  µg/L (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 e  $5,3 \pm 7,3$  µg/L (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 (Figura 5.1-156). O nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) representou, em média, 29% do nitrogênio total presente no rio Madeira. O NID foi regulado principalmente pela variação do nitrato, que foi sua principal fração. A concentração média global foi de  $227 \pm 212$  µg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $233 \pm 190$  µg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo, com as médias oscilando entre  $93 \pm 52$  µg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009 e  $517 \pm 280$

$\mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010 (Figura 5.1-157). As concentrações médias de nitrogênio orgânico dissolvido variaram de  $74 \pm 35 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 a  $1148 \pm 95 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010, com média global de  $479 \pm 324 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $488 \pm 356 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para o fundo (Figura 5.1-158). Assim como o observado para o nitrogênio orgânico dissolvido, as concentrações de nitrogênio orgânico total (NOT) na superfície e no fundo das estações amostradas no rio Madeira foram similares, apresentando  $653 \pm 404 \mu\text{g/L}$  e  $699 \pm 404 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP), respectivamente (Figura 5.1-159). As concentrações médias na superfície oscilaram entre  $133 \pm 51 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 e  $1386 \pm 176 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010. No EIA, por outro lado, a média global foi de  $4600 \pm 3600 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP), de modo que os valores encontrados no presente estudo foram significativamente menores. Para efeito de comparação, um trabalho realizado por Forsberg et al (1988) relata concentrações de nitrogênio total (nitrogênio orgânico total + nitrogênio inorgânico dissolvido) de  $314 \mu\text{g/L}$  no rio Madeira, valor muito abaixo do encontrado para nitrogênio orgânico total no EIA e mais condizente com os valores apresentados neste documento. O nitrogênio particulado (NP) apresentou valores semelhantes ao longo dos períodos estudados (Figura 5.1-160). A média global dessa fração foi de  $202 \pm 151 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $236 \pm 185 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para o fundo, com as concentrações médias variando entre  $60 \pm 23 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 e  $343 \pm 206 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011. O nitrogênio total dissolvido (NTD) foi mais abundante do que o NP, de modo que a média global foi de  $687 \pm 366 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $692 \pm 404 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para o fundo, com as médias variando entre  $133 \pm 51 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 e  $1260 \pm 107 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 (Figura 5.1-161). Em relação ao nitrogênio total (NT), as concentrações variaram de  $376 \pm 80 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 a  $1498 \pm 182 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010, com média global de  $949 \pm 372 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na superfície e  $978 \pm 400 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) no fundo (Figura 5.1-162). Os baixos valores de NT nas águas baixas são justificados pelas mais baixas concentrações de NOD, NOT, NP e NTD nesse período.

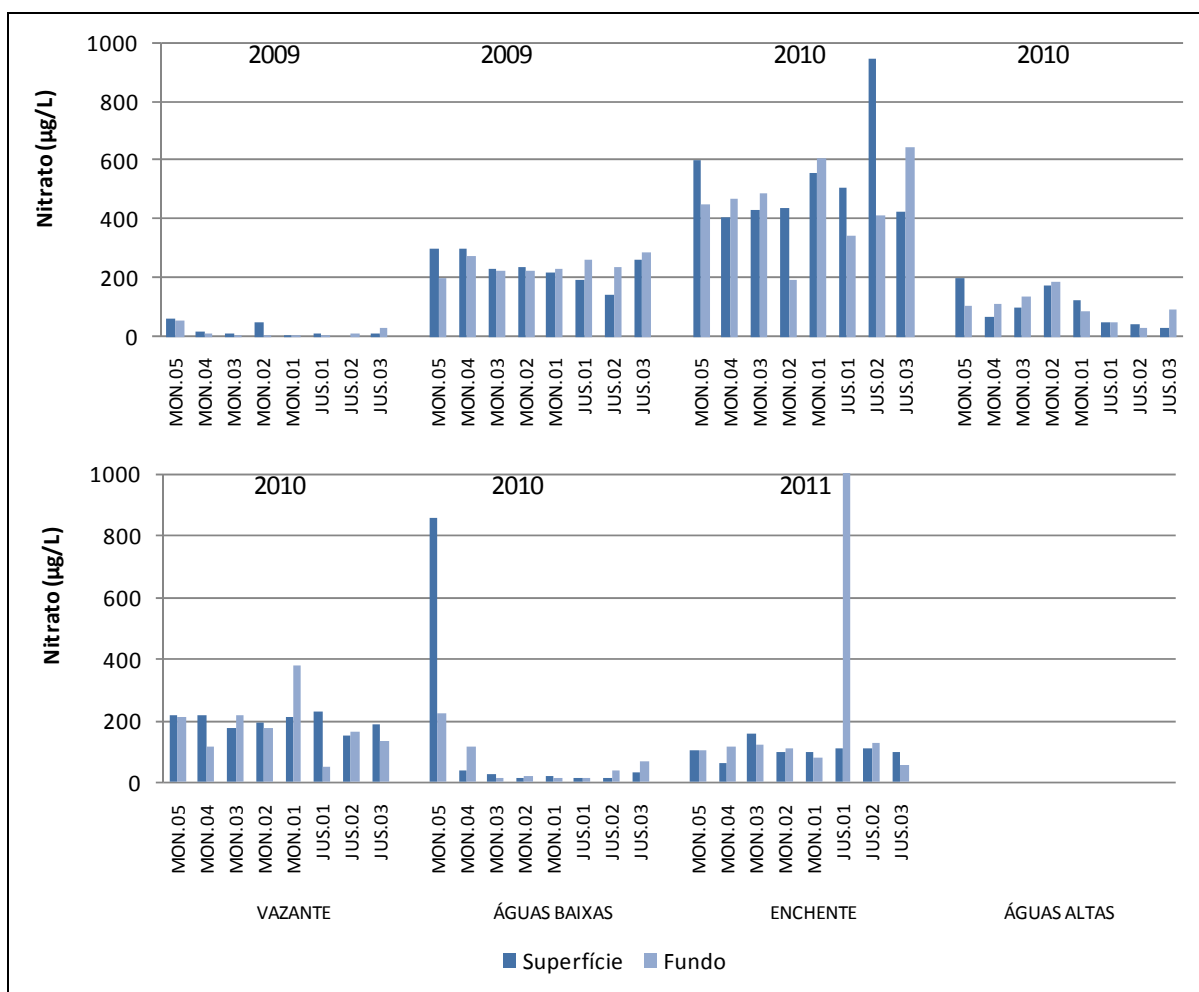


Figura 5.1-154 - Concentrações de nitrato no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

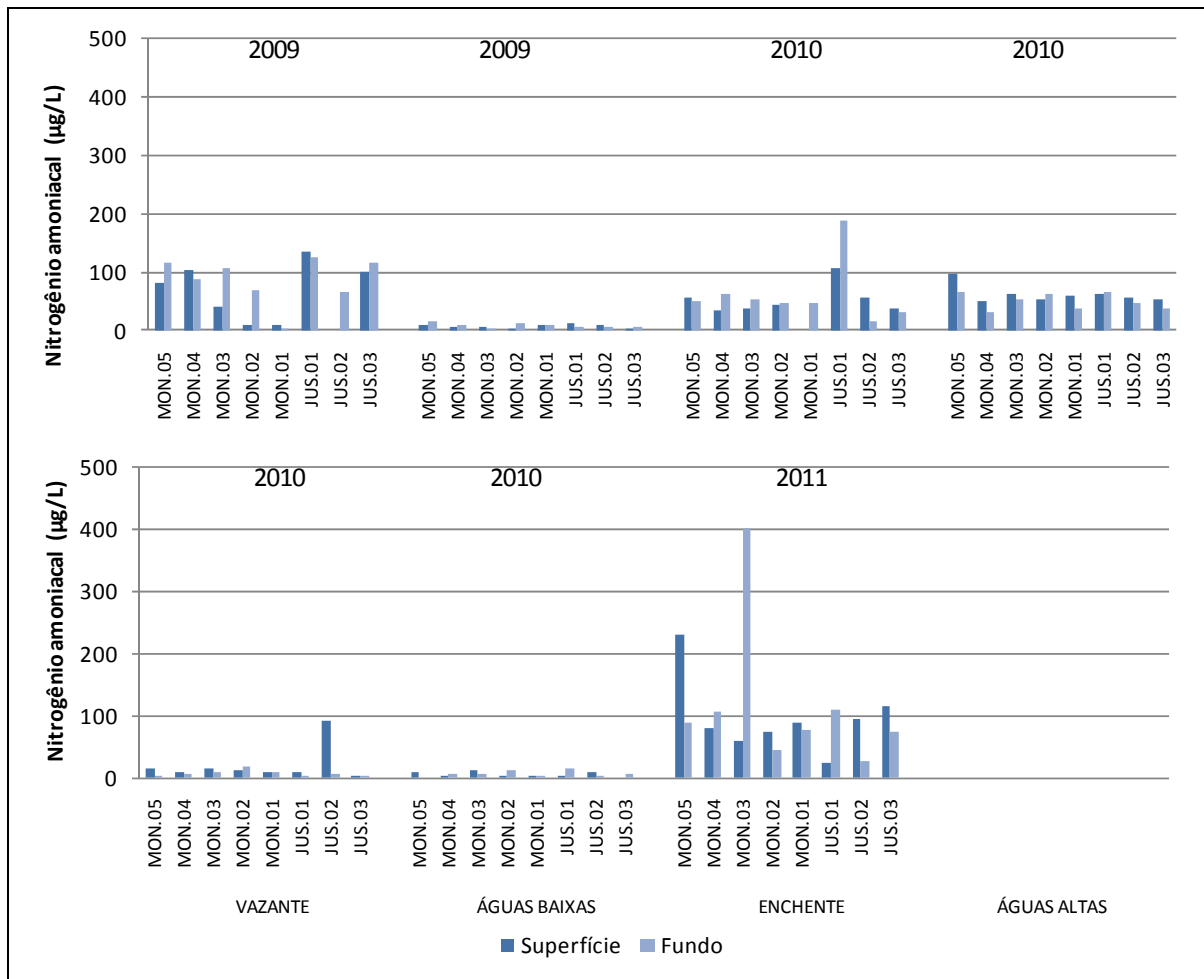


Figura 5.1-155 - Concentrações de nitrogênio amoniaco no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

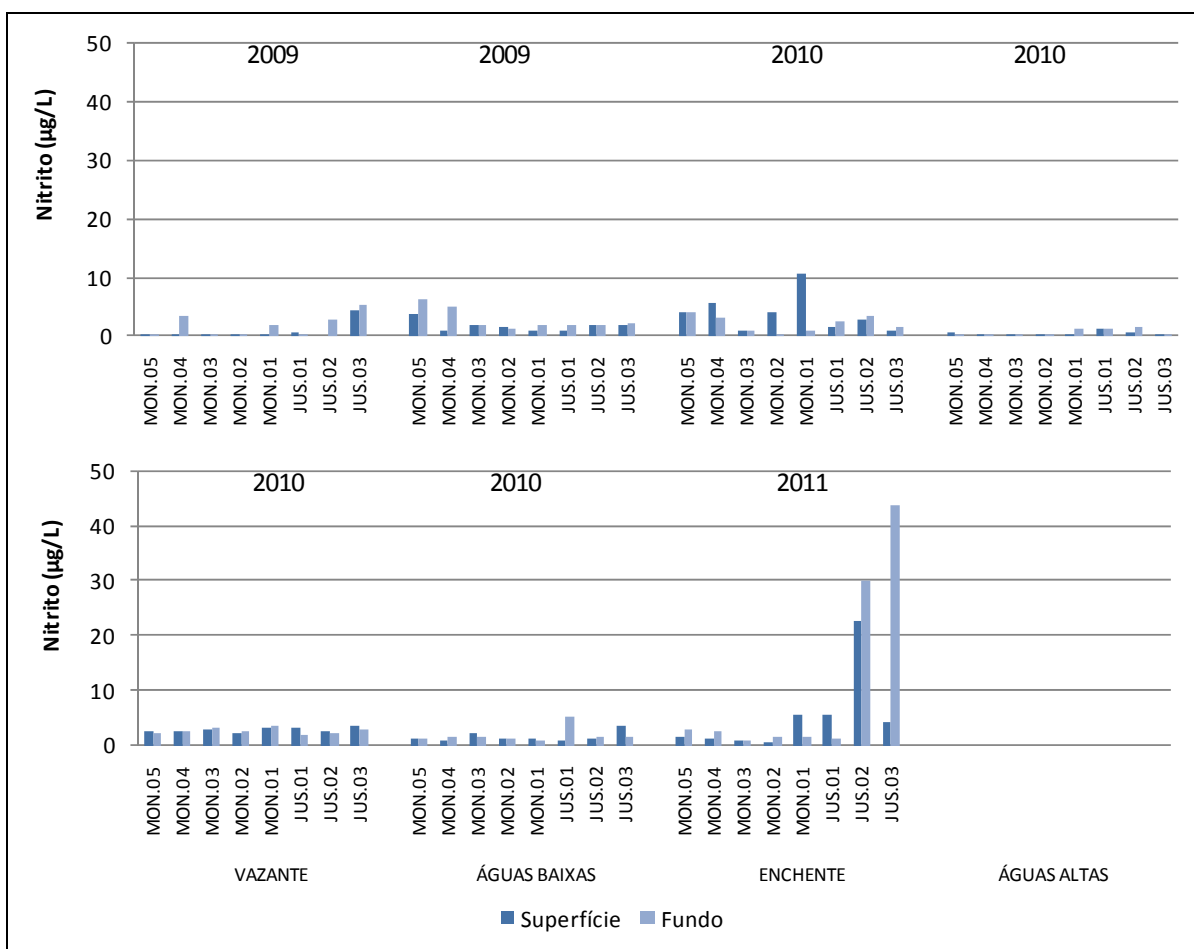


Figura 5.1-156 - Concentrações de nitrito no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

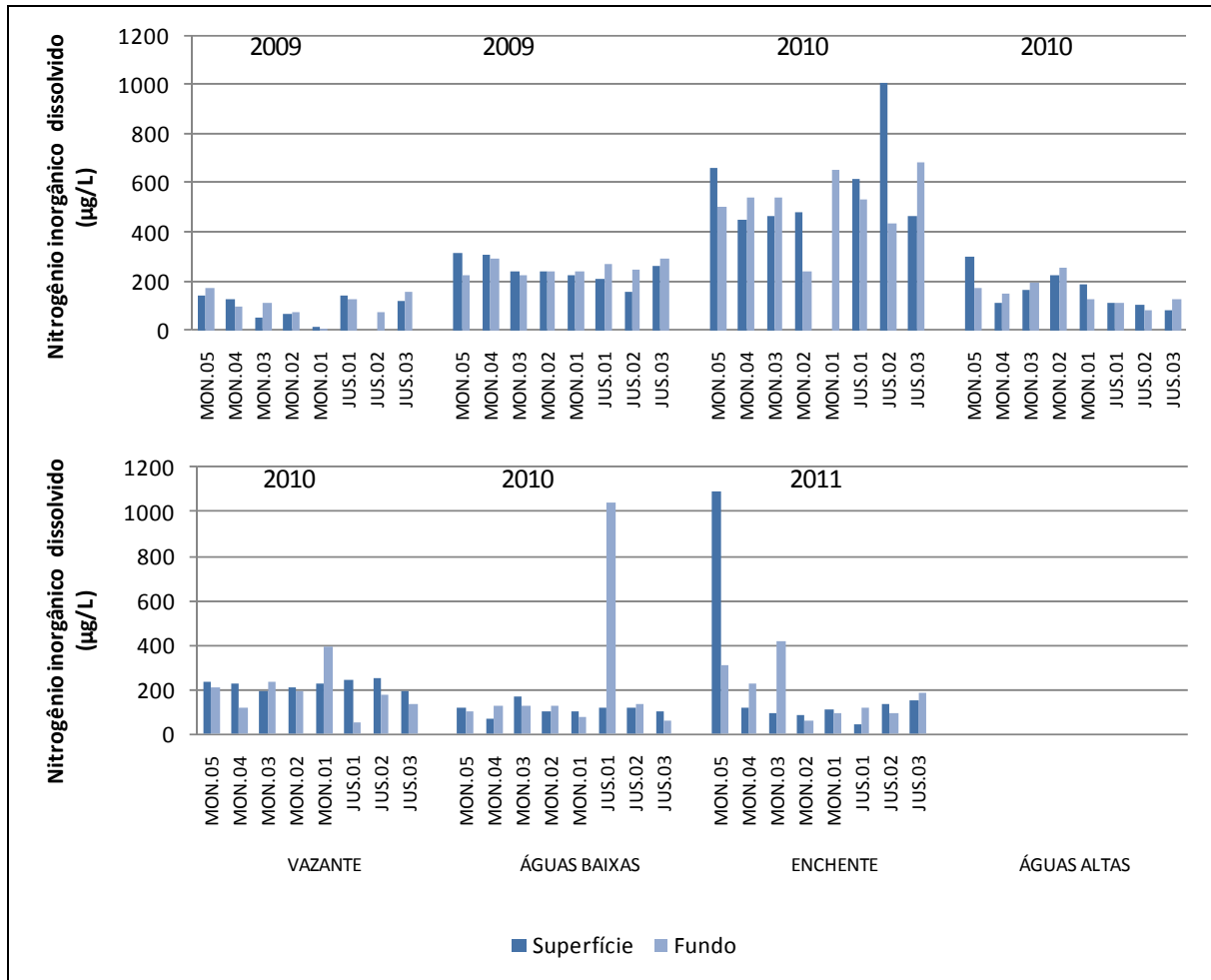


Figura 5.1-157 - Concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

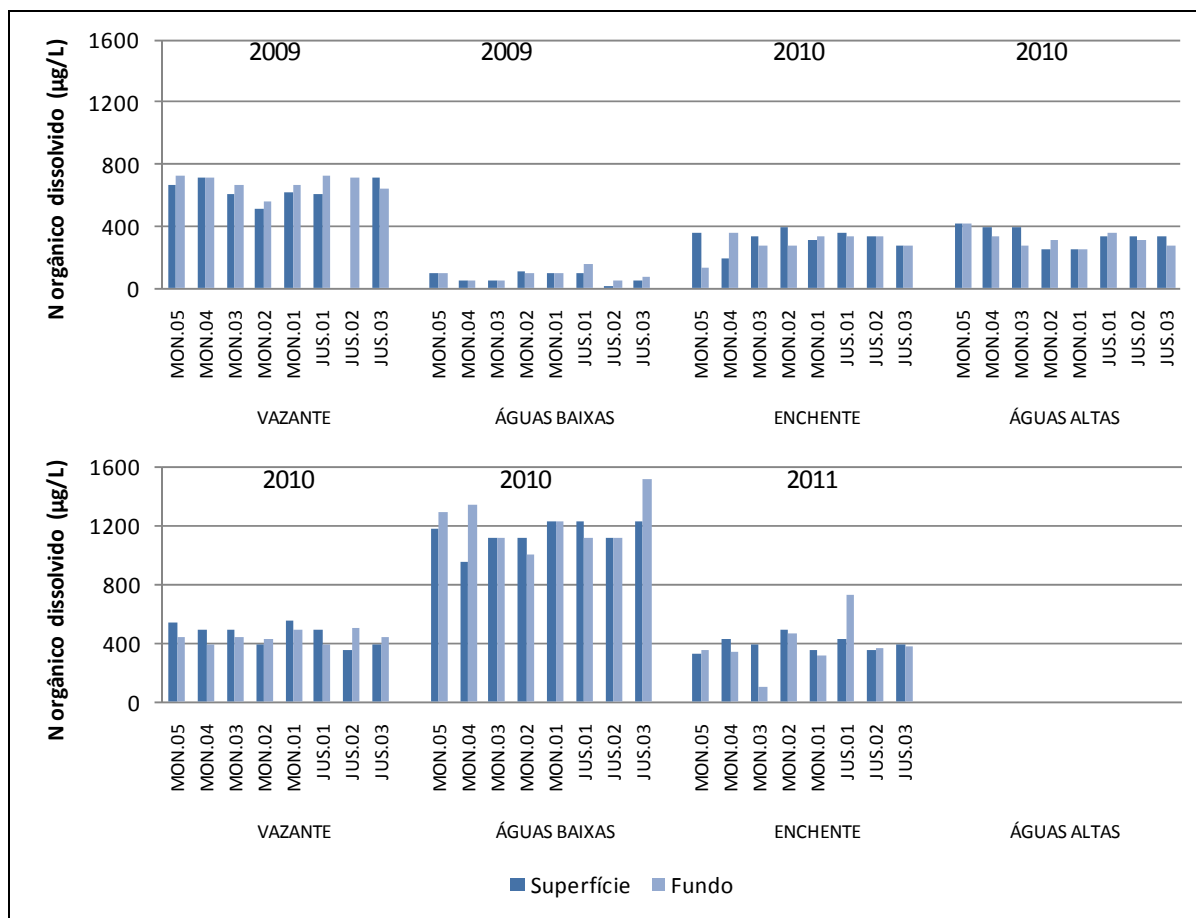


Figura 5.1-158 - Concentrações de nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



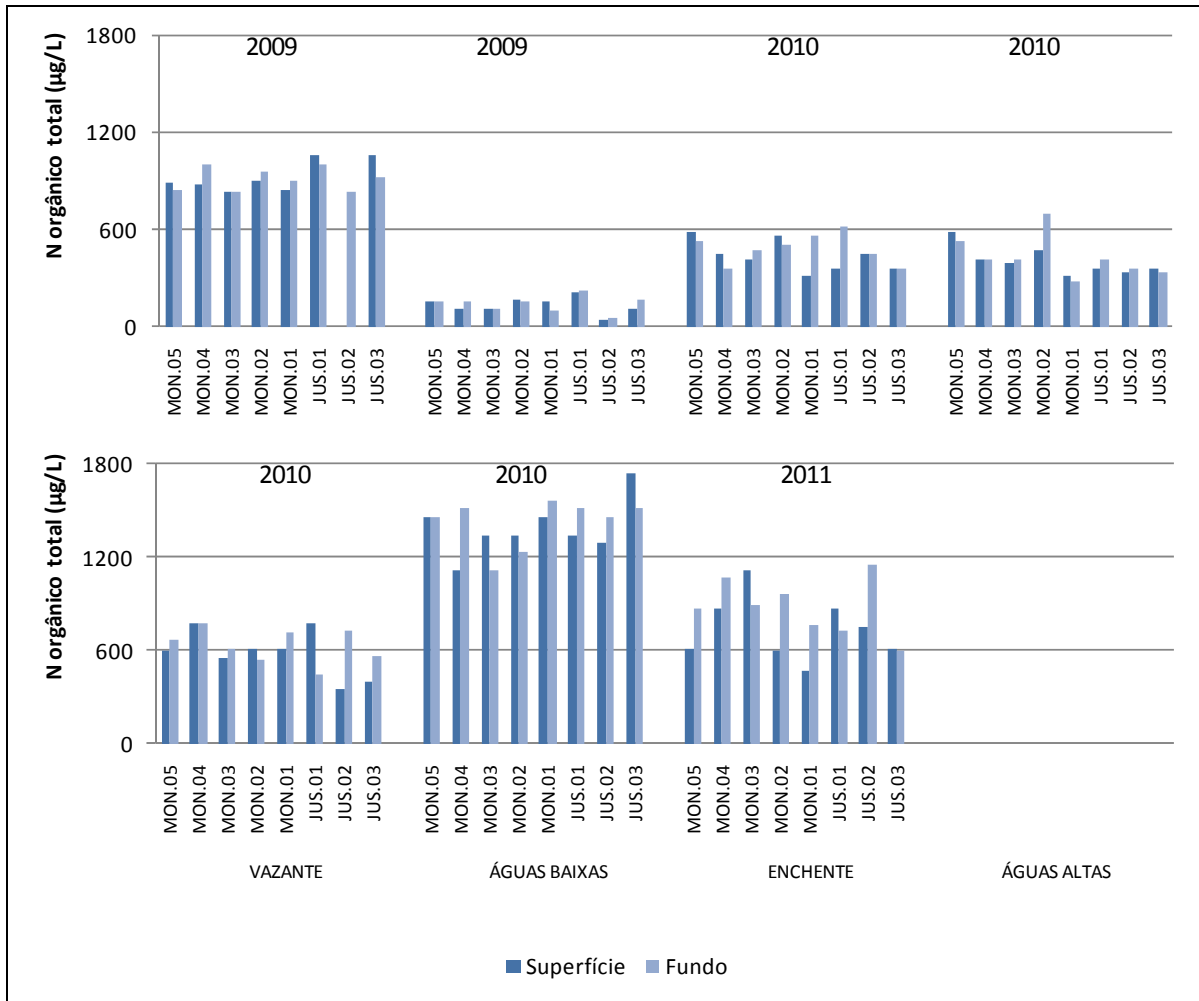


Figura 5.1-159 - Concentrações de nitrogênio orgânico total (NOT) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

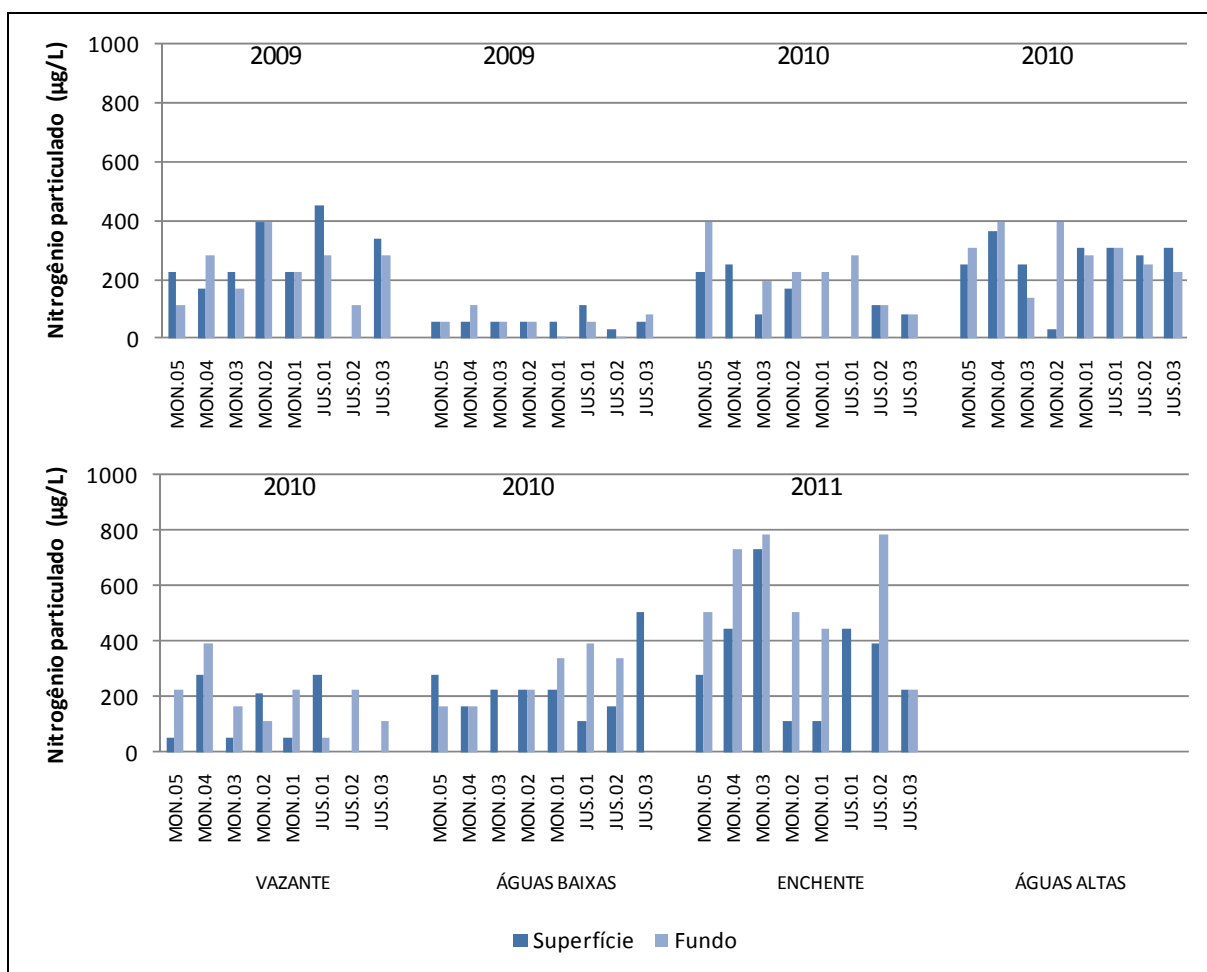


Figura 5.1-160 - Concentrações de nitrogênio particulado (NP) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

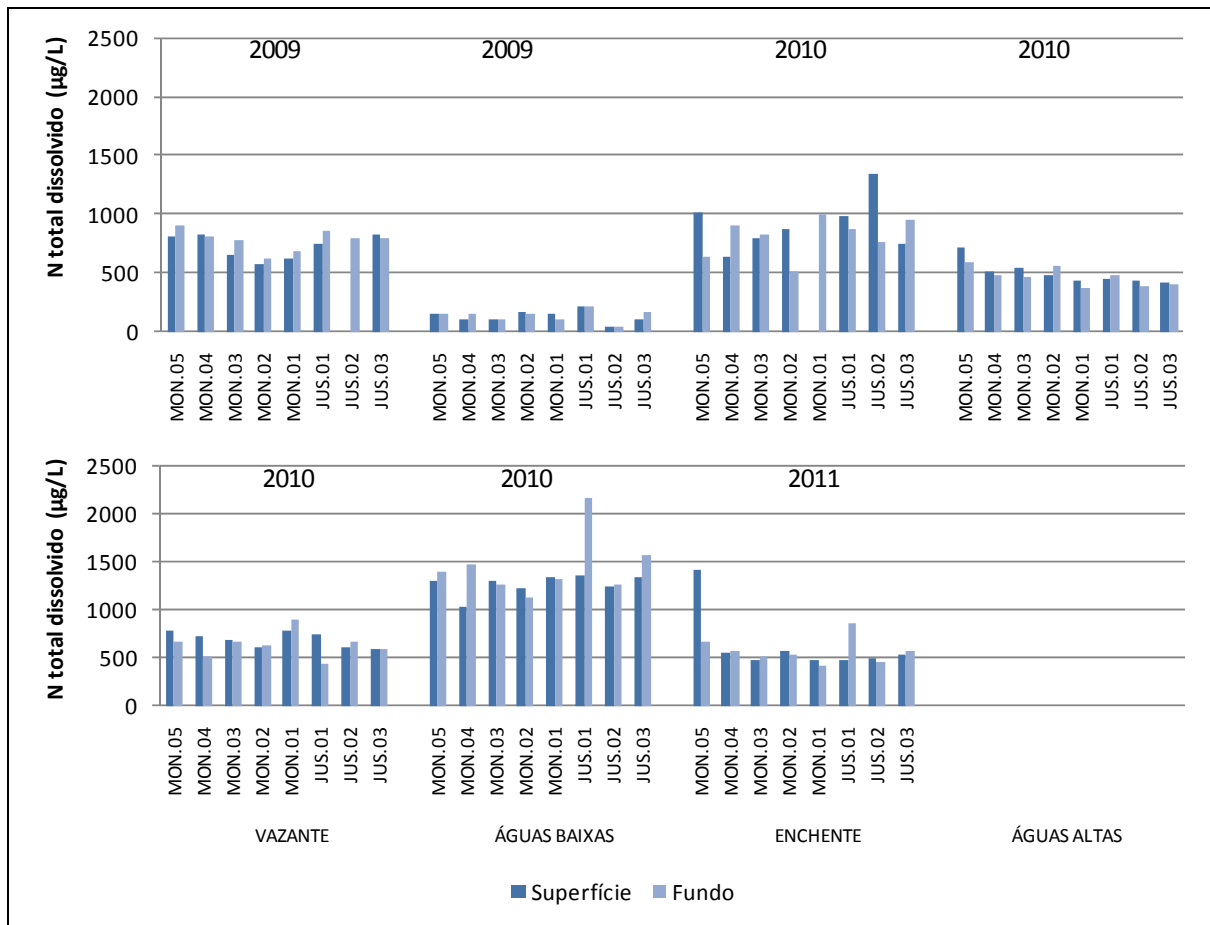


Figura 5.1-161 - Concentrações de nitrogênio total dissolvido (NTD) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

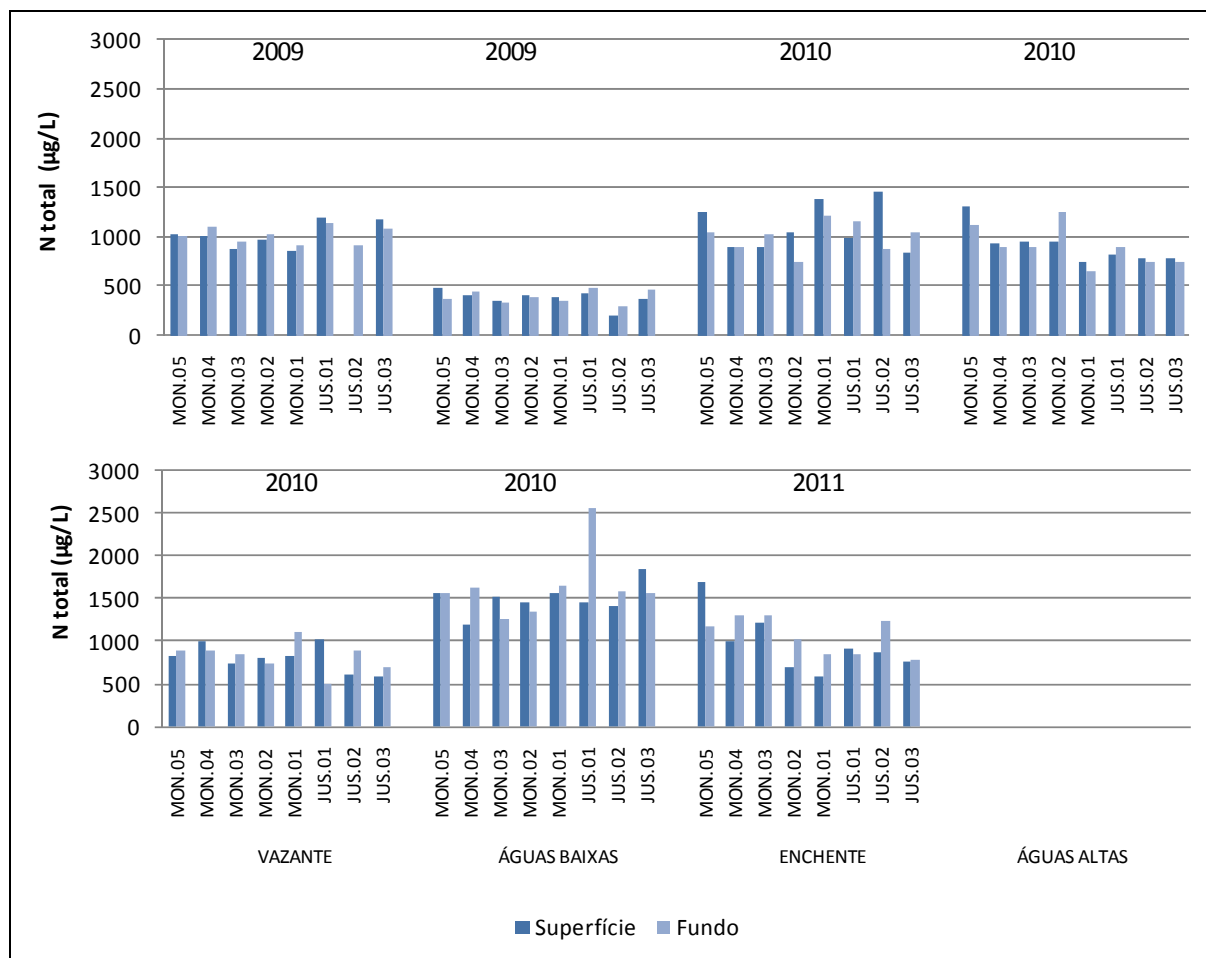


Figura 5.1-162 - Concentrações de nitrogênio total (NT) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos tributários, a variação espacial do nitrato, a fração mais importante do nitrogênio inorgânico, foi alta em todos os períodos, de modo que as maiores concentrações foram observadas na enchente (Figura 5.1-163). As concentrações médias variaram entre  $42 \pm 44 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009 e  $314 \pm 227 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010, gerando uma média global de  $181 \pm 261 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP). O nitrogênio amoniacal foi a segunda fração mais importante do nitrogênio inorgânico, representando, em média, 66% do nitrogênio inorgânico nos tributários. As concentrações variaram bastante entre as estações de coleta, cabendo destacar que as concentrações mais altas foram encontradas nas estações do igarapé Jatuarana e Belmont. As concentrações médias oscilaram entre  $11 \pm 13 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $126 \pm 77 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente 2011, com média global de  $56 \pm 58 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-164). Já o nitrito apresentou concentrações modestas em

todos os períodos estudados, com média global de  $1,9 \pm 1,9 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-165). O nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) respondeu, em média, por 30% do nitrogênio total nos tributários. As concentrações médias de NID oscilaram entre  $139 \pm 77 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009 e  $375 \pm 212 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010, tendo uma média global de  $236 \pm 260 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-166). A média global do nitrogênio orgânico dissolvido foi de  $441 \pm 381 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP), variando entre  $48 \pm 27 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 e  $1257 \pm 257 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 (Figura 5.1-167). Em relação às concentrações de nitrogênio orgânico total (NOT), a média global foi de  $612 \pm 472 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP). As concentrações médias de NOT oscilaram entre  $77 \pm 46 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 e  $1515 \pm 385 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 (Figura 5.1-168). O nitrogênio particulado (NP) apresentou média global de  $238 \pm 164 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP). Essa fração foi a menos abundante nas águas baixas de 2009 (Figura 5.1-169), com concentração média de  $62 \pm 37 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP). A mais alta concentração média de NP foi de  $311 \pm 53 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP), nas águas altas de 2010. Os valores médios de nitrogênio total dissolvido (NTD) variaram de  $77 \pm 46 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 a  $1521 \pm 558 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 (Figura 5.1-170). A média global de NTD foi de  $653 \pm 492 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP), o que evidencia que a principal fração do nitrogênio total foi a dissolvida. As maiores concentrações de nitrogênio total (NT) ocorreram nas águas baixas de 2010, o que foi consequência das mais altas concentrações de nitrogênio orgânico nesse período. As concentrações médias variaram de  $316 \pm 341 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 a  $1779 \pm 627 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 (Figura 5.1-171). Os tributários apresentaram, geralmente, maior variação espacial do que o rio Madeira, uma vez que são ambientes diferentes e, por consequência, mais distintos.

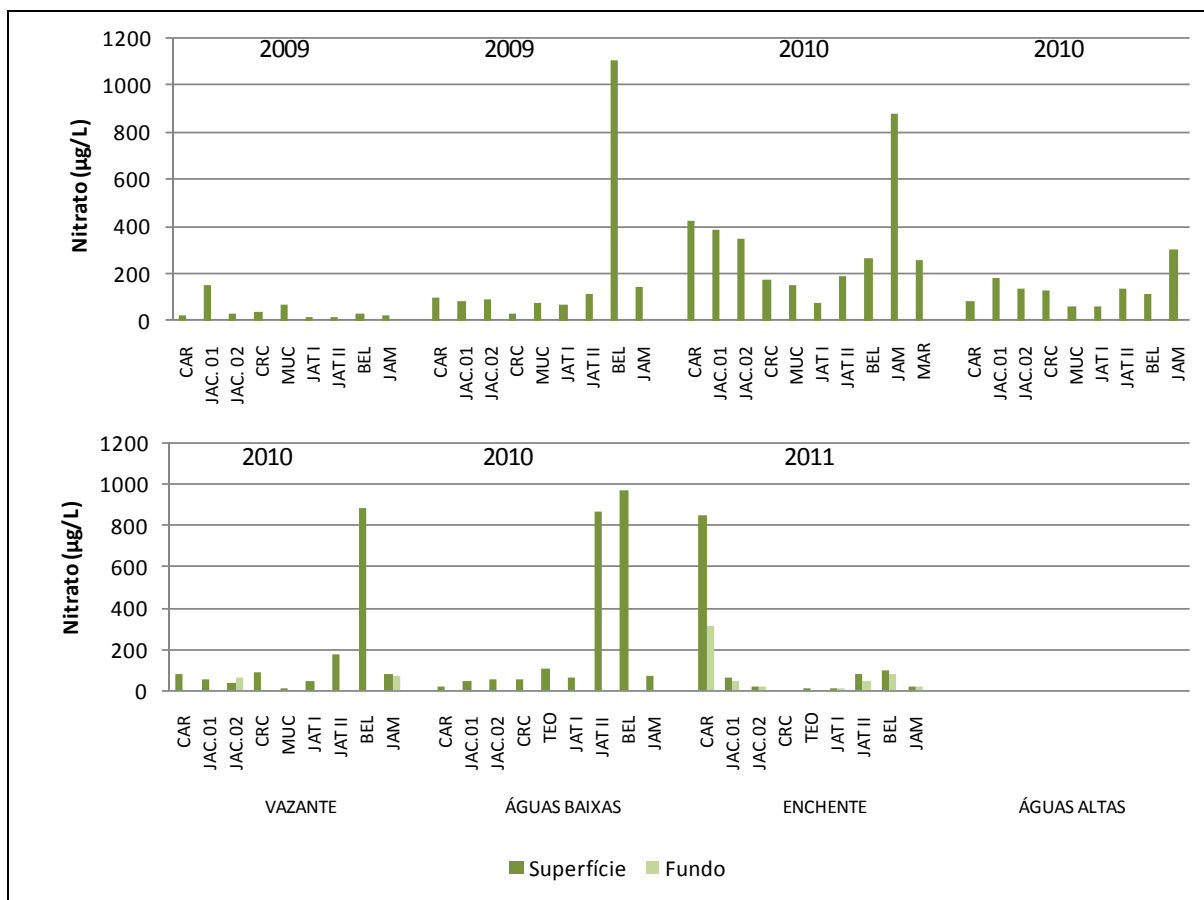


Figura 5.1-163 - Concentrações de nitrato nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

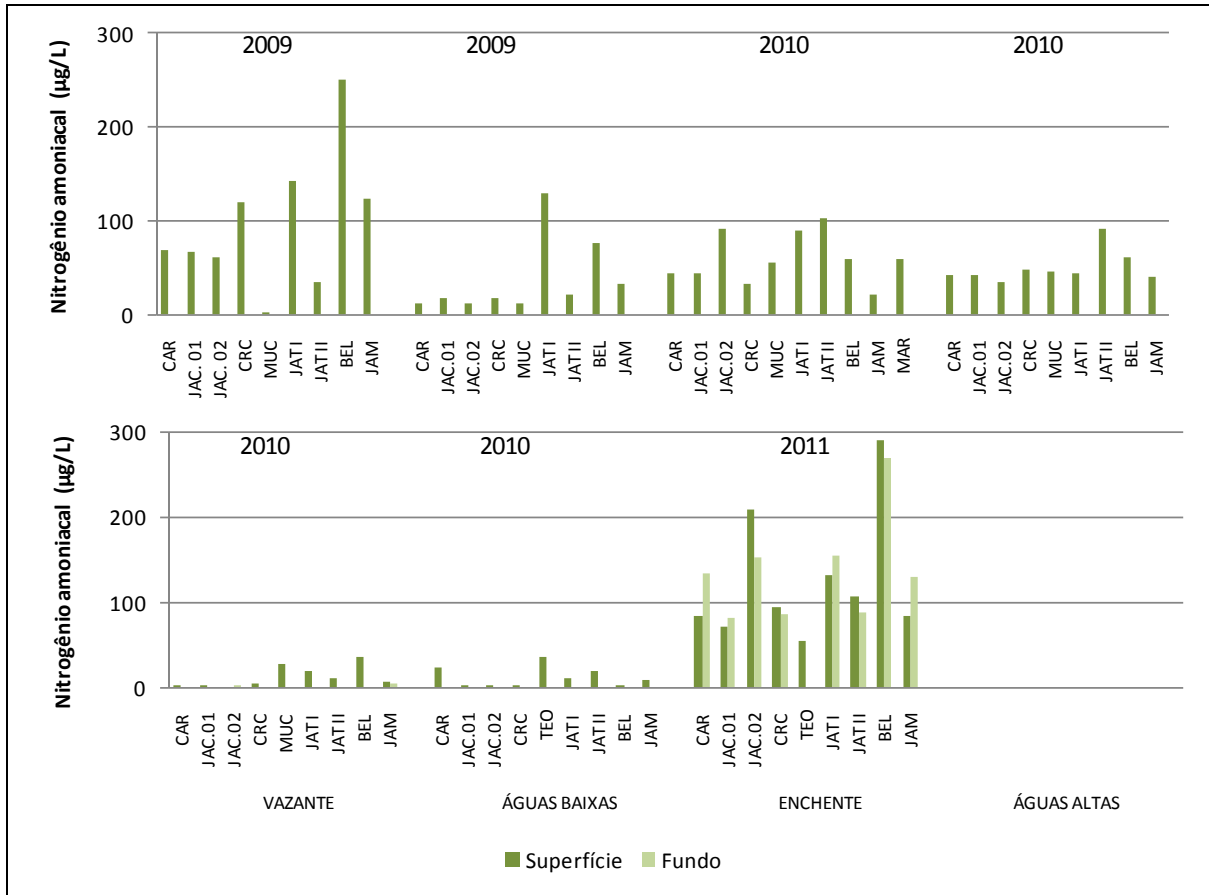


Figura 5.1-164 - Concentrações de nitrogênio amoniaco nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

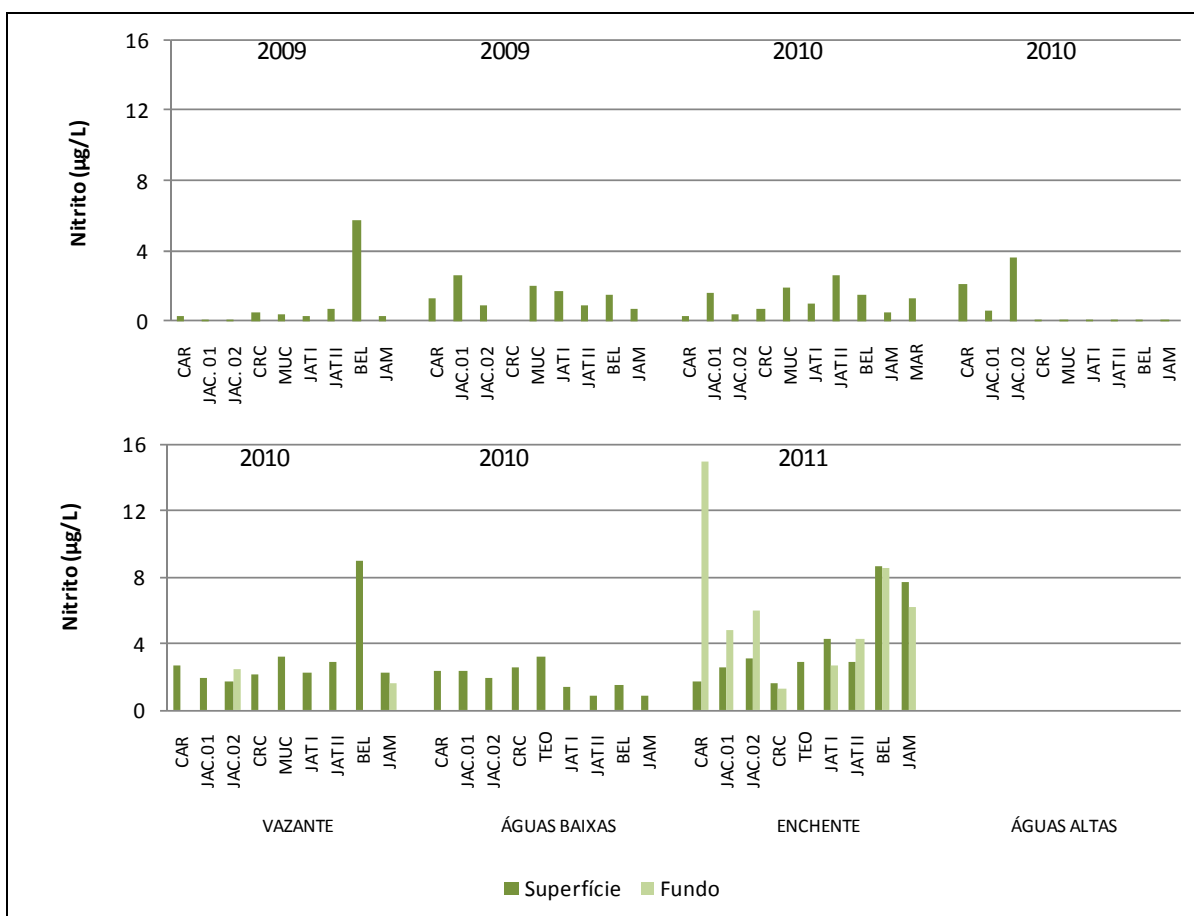


Figura 5.1-165 - Concentrações de nitrito nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



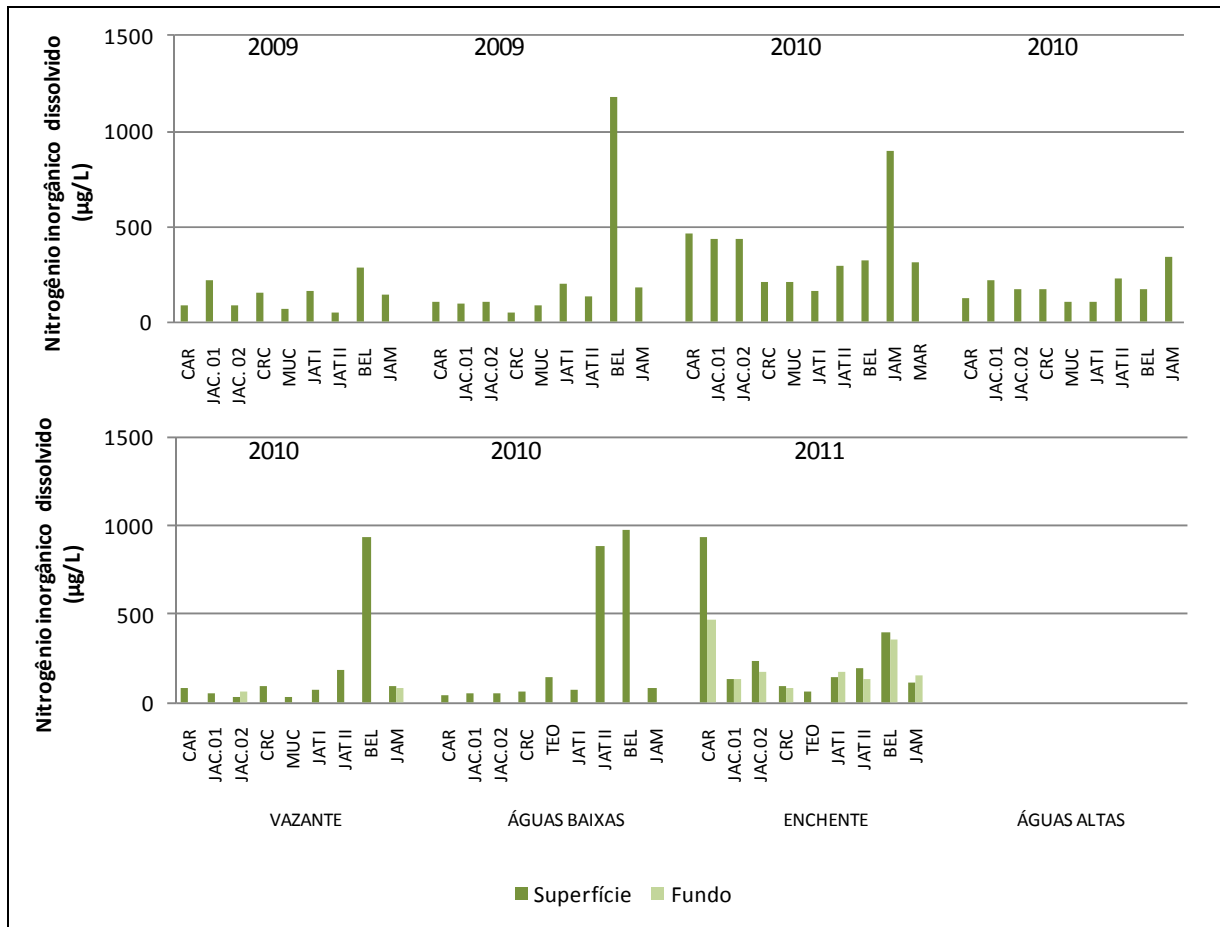


Figura 5.1-166 - Concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

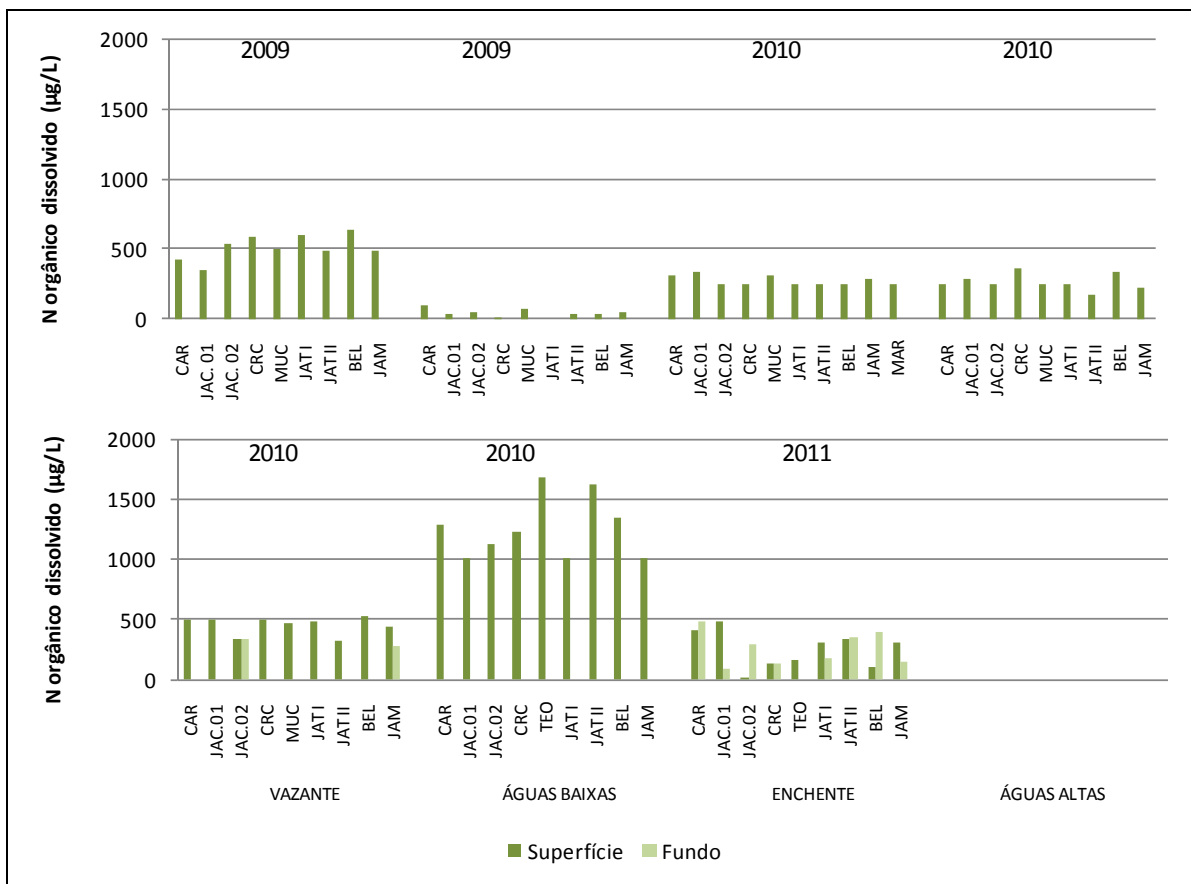


Figura 5.1-167 - Concentrações de nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

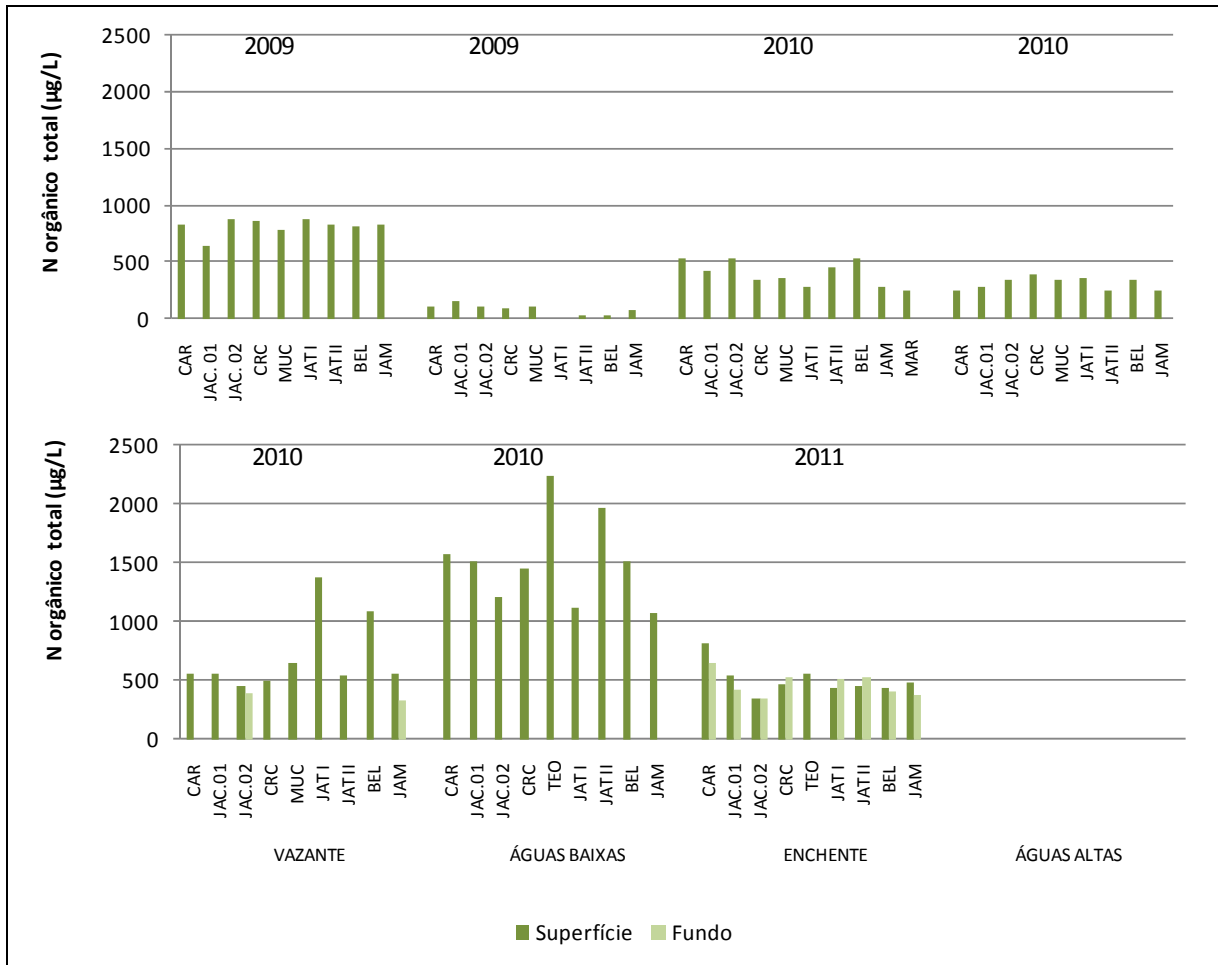


Figura 5.1-168 - Concentrações de nitrogênio orgânico total (NOT) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

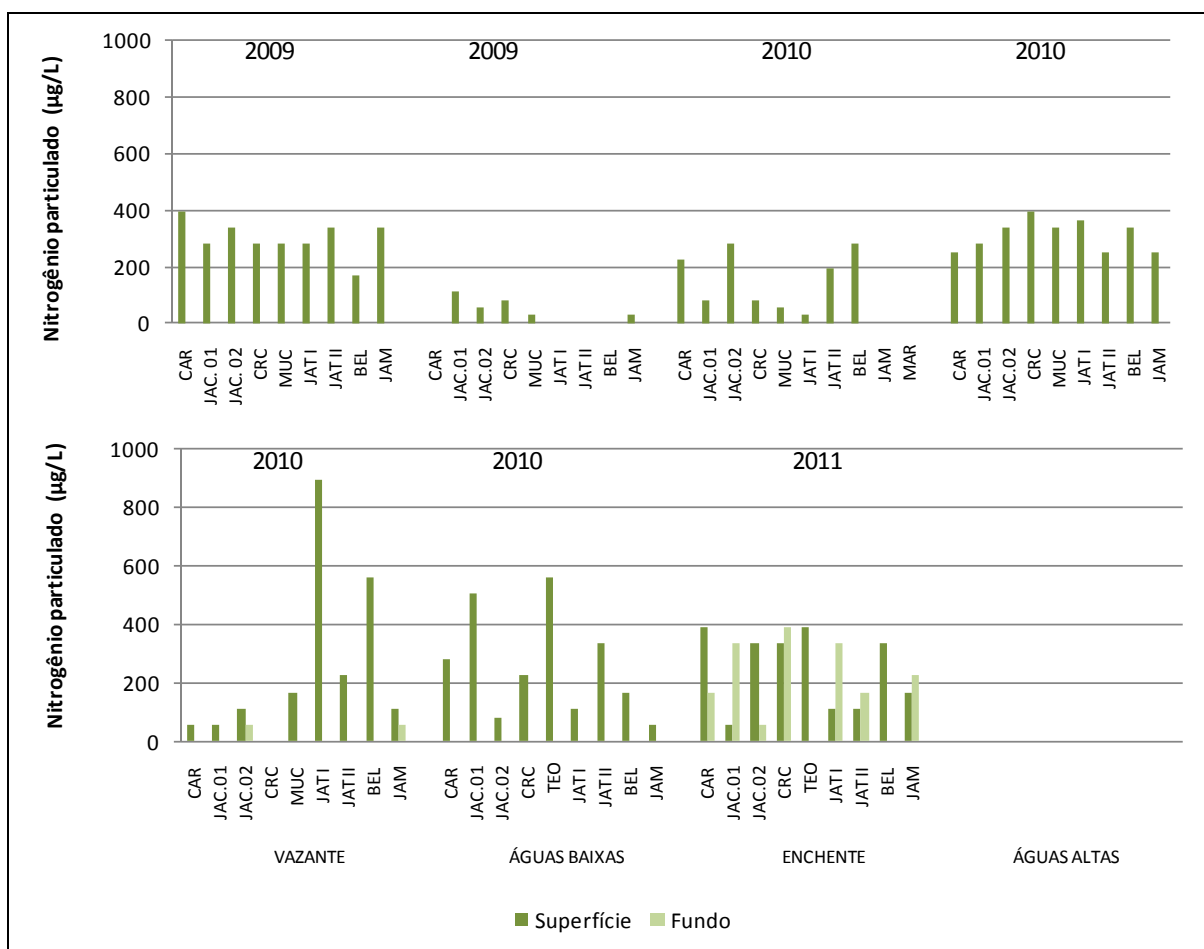


Figura 5.1-169 - Concentrações de nitrogênio particulado (NP) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

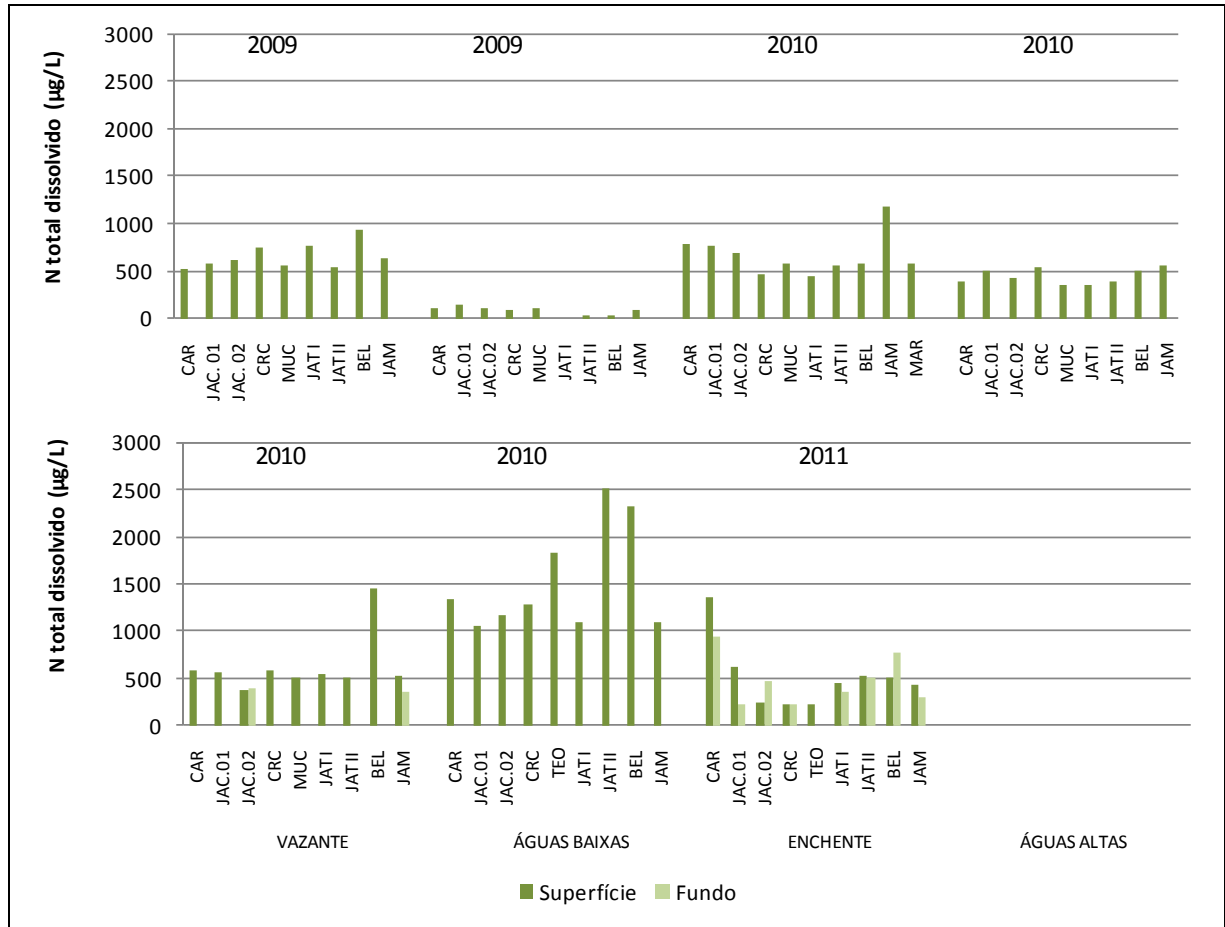


Figura 5.1-170 - Concentrações de nitrogênio total dissolvido (NTD) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

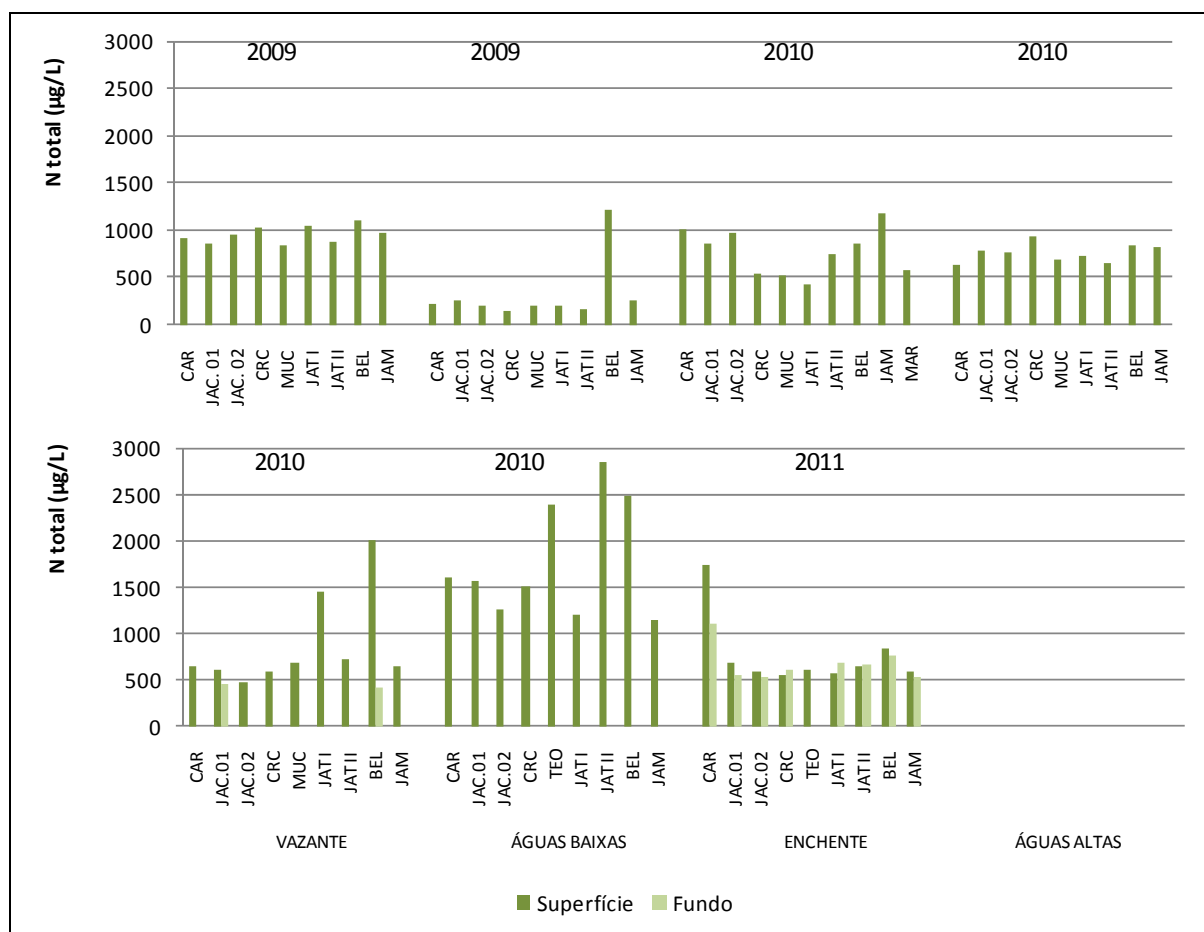


Figura 5.1-171 - Concentrações de nitrogênio total (NT) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Diferente do que foi observado no rio Madeira e nos rios tributários, as concentrações de nitrato nos lagos e canais foram mais elevadas na águas baixas de 2010. Nos lagos e canais as concentrações de nitrato foram mais baixas do que nos outros ambientes. As concentrações médias de nitrato oscilaram entre  $7 \pm 4 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 e  $293 \pm 472 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010, com média global de  $75 \pm 203 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para a superfície (Figura 5.1-172). Ao contrário do que foi observado no rio Madeira e nos rios tributários, o nitrato não foi a fração predominante do nitrogênio inorgânico nos lagos e canais, tendo respondido por apenas 43% do total. O nitrogênio amoniacal foi responsável pela maior parte do nitrogênio inorgânico, respondendo por 50% do total. O nitrogênio amoniacal variou bastante entre as estações de coleta, sendo que as maiores concentrações foram encontradas nas águas altas de 2010 (Figura 5.1-173). As médias variaram entre  $19 \pm 25 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na

vazante de 2009 e  $275 \pm 688 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010. Em relação ao nitrito, as concentrações foram sempre muito baixas, com média global de  $2,6 \pm 4,4 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para a superfície (Figura 5.1-174). As concentrações médias de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) variaram entre  $19 \pm 23 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 e  $574 \pm 735 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010, com média global de  $146 \pm 323 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $92 \pm 90 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para o fundo (Figura 5.1-175). O NID respondeu por somente 15% do nitrogênio total nos lagos e canais. Da mesma maneira que no rio Madeira e nos rios tributários, o nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) dos lagos e canais foi maior nas águas baixas de 2010 (Figura 5.1-176). Essa fração apresentou média global de  $663 \pm 1142 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $383 \pm 276 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para o fundo. Também para o nitrogênio orgânico total (NOT), as concentrações foram maiores nas águas baixas de 2010, sendo importante a contribuição da estação LC.02. As menores concentrações foram observadas nas águas baixas de 2009 (Figura 5.1-177). As concentrações médias de NOT variaram entre  $112 \pm 63 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 e  $4096 \pm 4943 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010, sendo a média global de  $1020 \pm 2201 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $655 \pm 580 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para o fundo. Cabe salientar que a variação espacial nas concentrações de NOT foi bastante elevada, principalmente no período de águas baixas de 2010. A média global de nitrogênio particulado (NP) foi de  $396 \pm 1075 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP), tendo variado entre  $56 \pm 35 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010 e  $1584 \pm 2646 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 (Figura 5.1-178). Cabe ressaltar, ainda, a contribuição da estação LC.02 para o nitrogênio particulado no período de águas baixas de 2010. Já em relação ao nitrogênio total dissolvido (NTD), as concentrações médias variaram de  $112 \pm 63 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 a  $3086 \pm 2934 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010, com média global de  $819 \pm 1424 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $556 \pm 277 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para o fundo. Desta forma, é possível concluir que nos lagos e canais a maior parte do nitrogênio está na forma de partículas (Figura 5.1-179). O nitrogênio total (NT) foi maior nas águas baixas de 2010, o que é consequência das altas concentrações de nitrogênio orgânico nesse período. As concentrações médias de NT variaram entre  $137 \pm 62 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 e  $4670 \pm 5557 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010, com média global de  $1205 \pm 2472 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $959 \pm 444 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para o fundo (Figura 5.1-180).

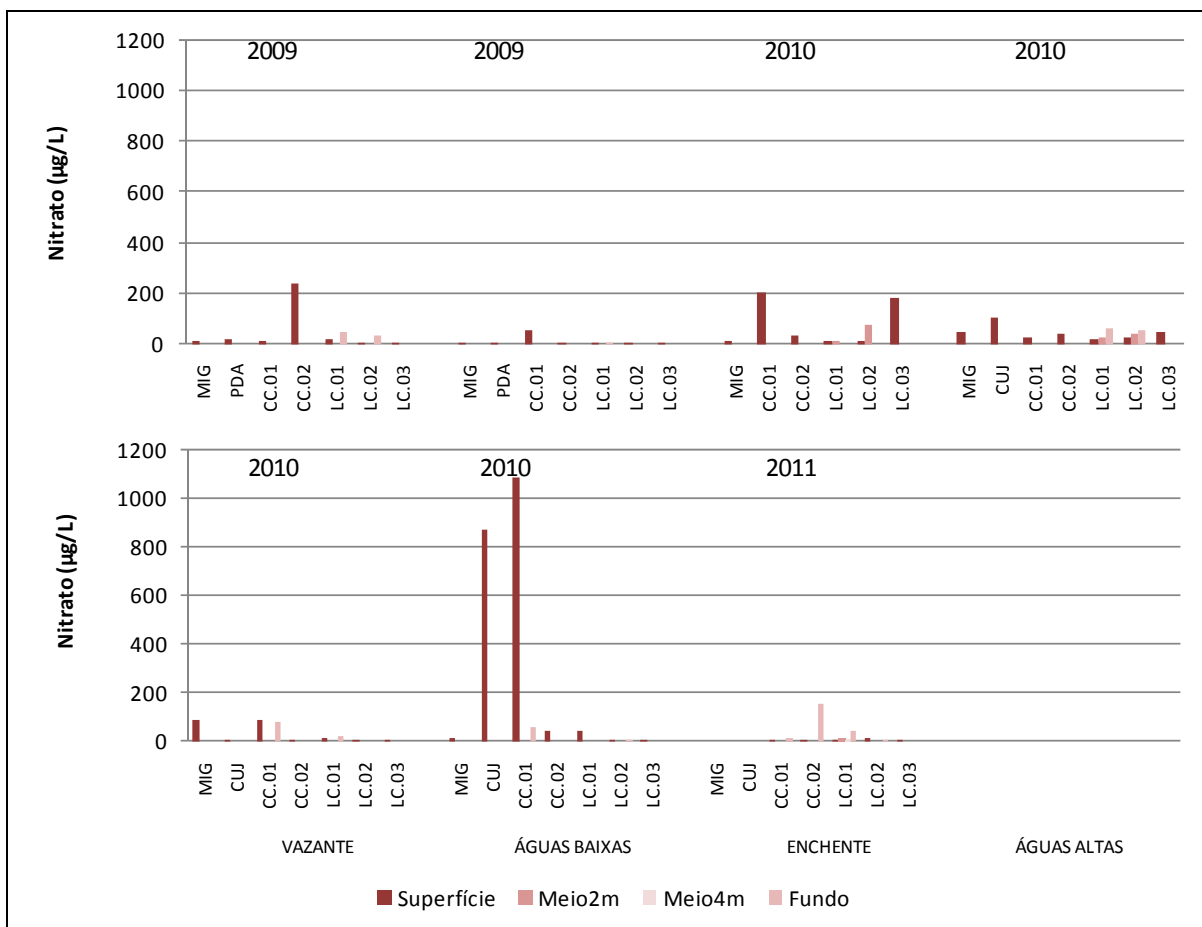


Figura 5.1-172 - Concentrações de nitrato nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



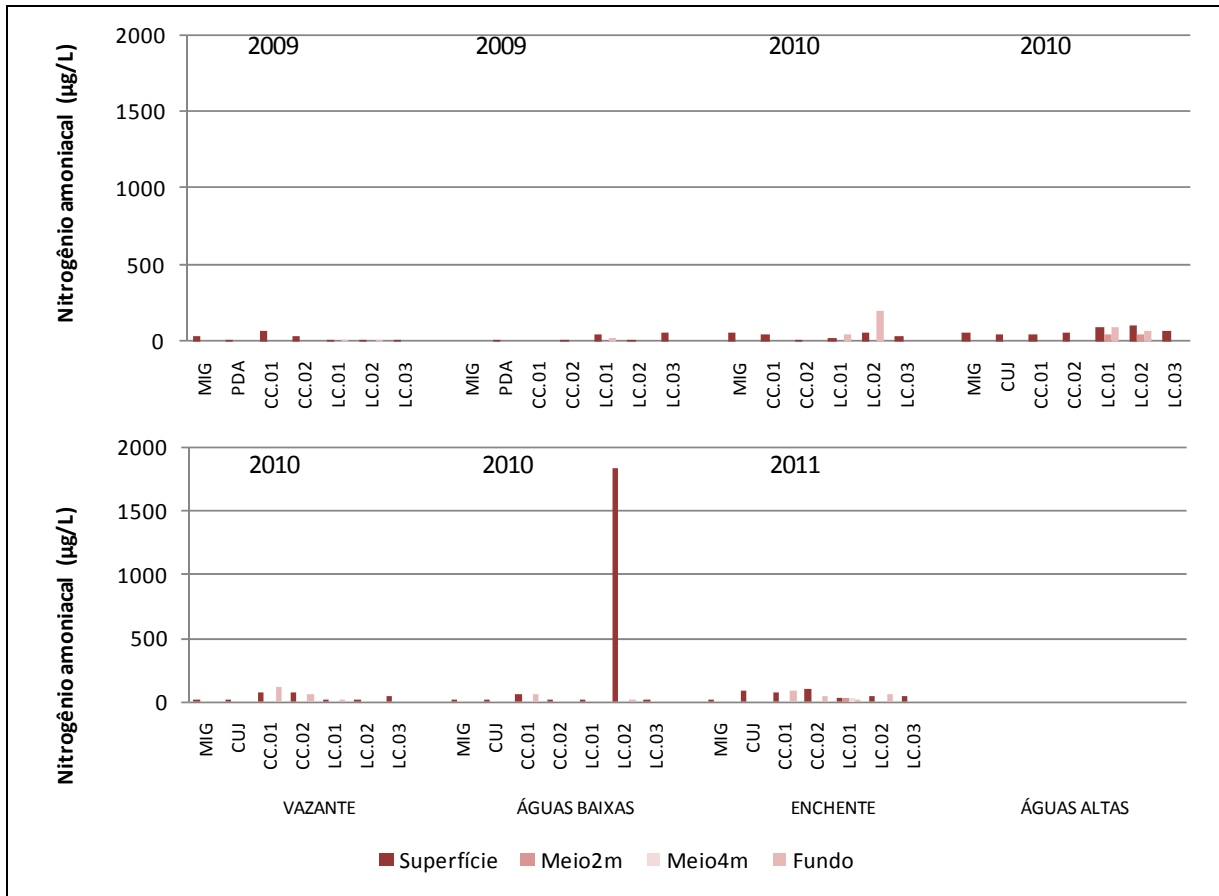


Figura 5.1-173 - Concentrações de nitrogênio amoniacal nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

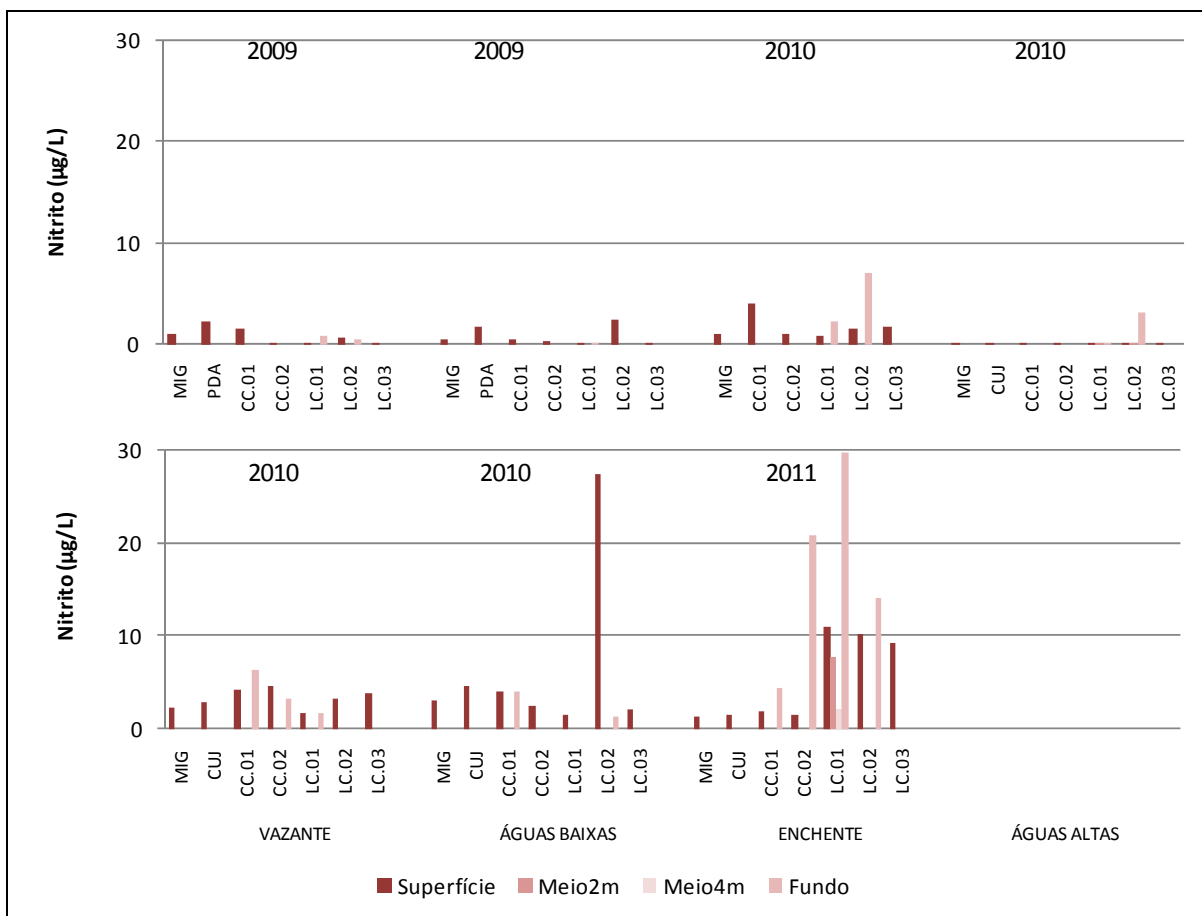


Figura 5.1-174 - Concentrações de nitrito nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

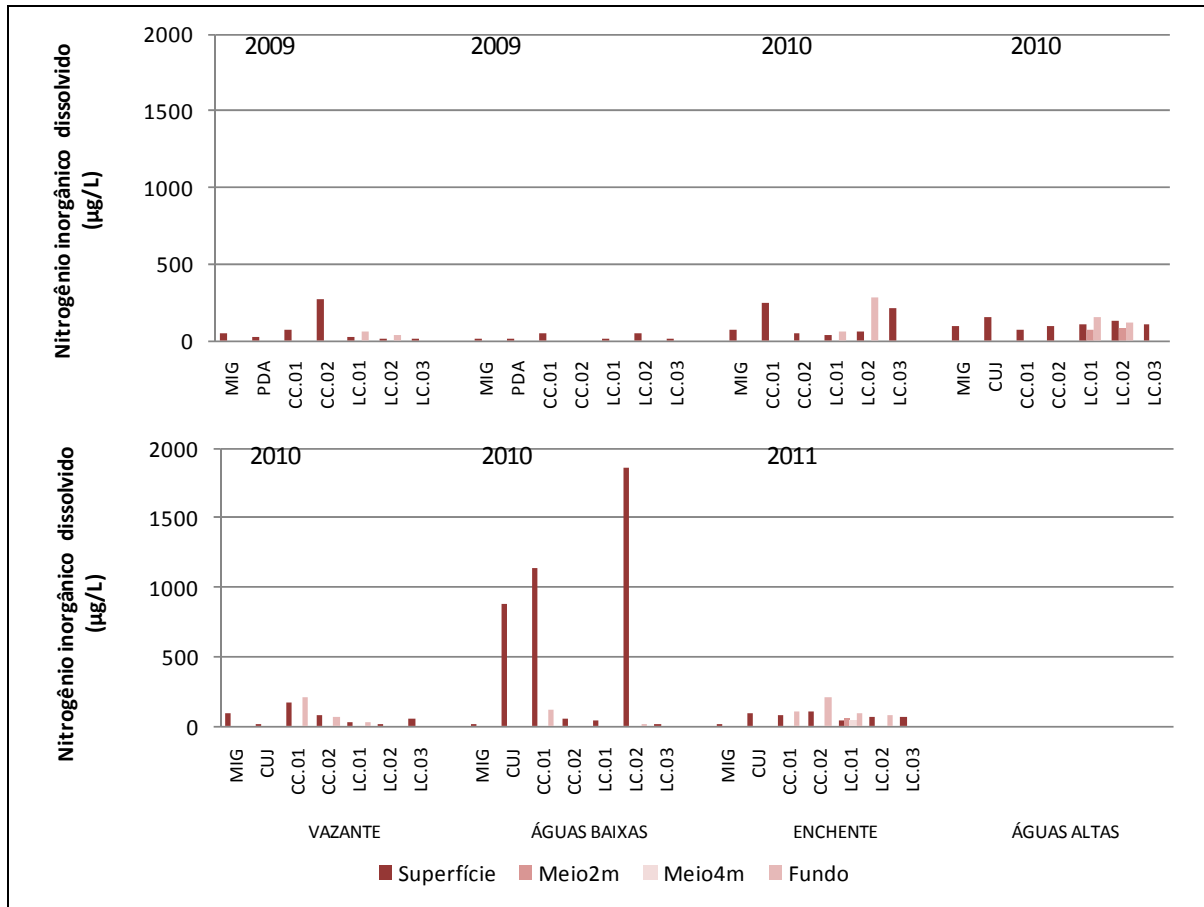


Figura 5.1-175 - Concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

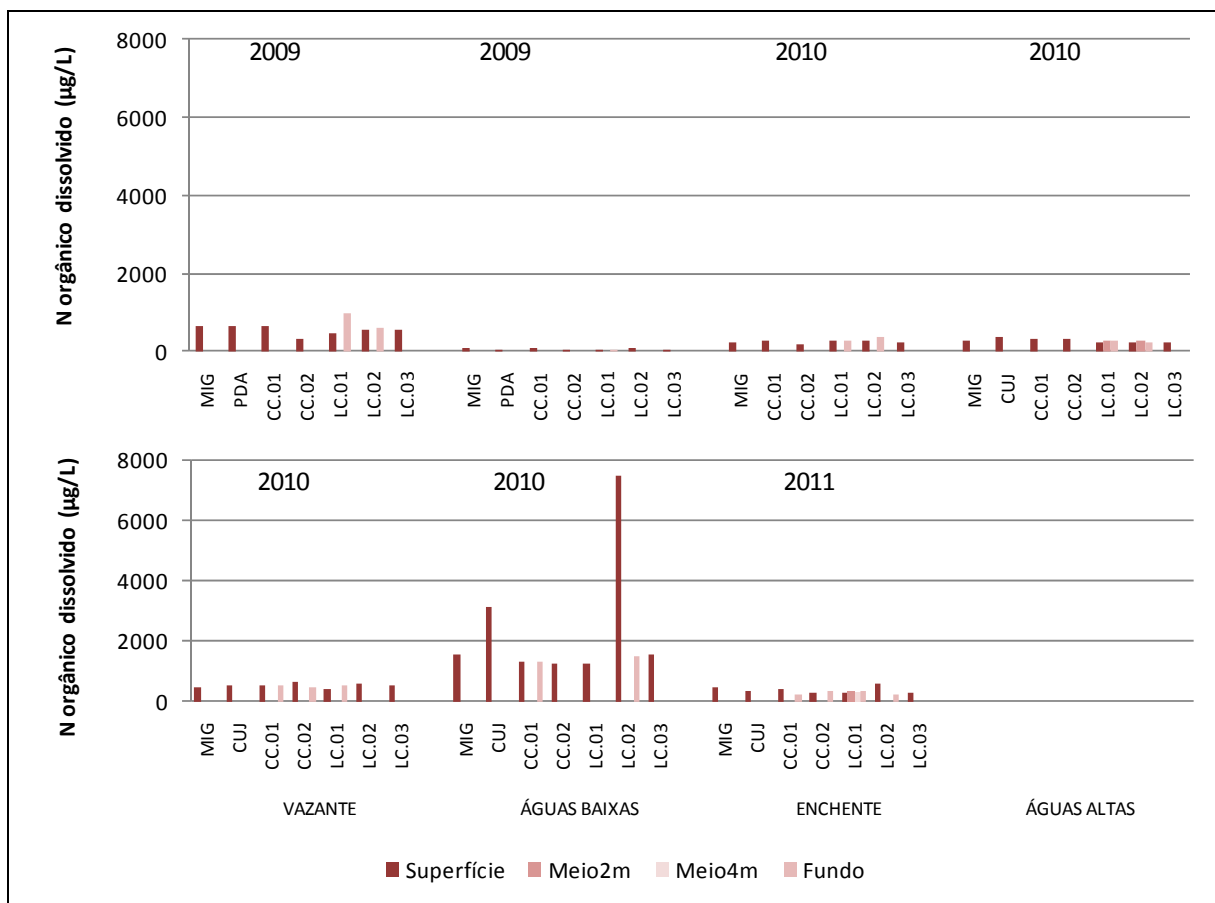


Figura 5.1-176 - Concentrações de nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

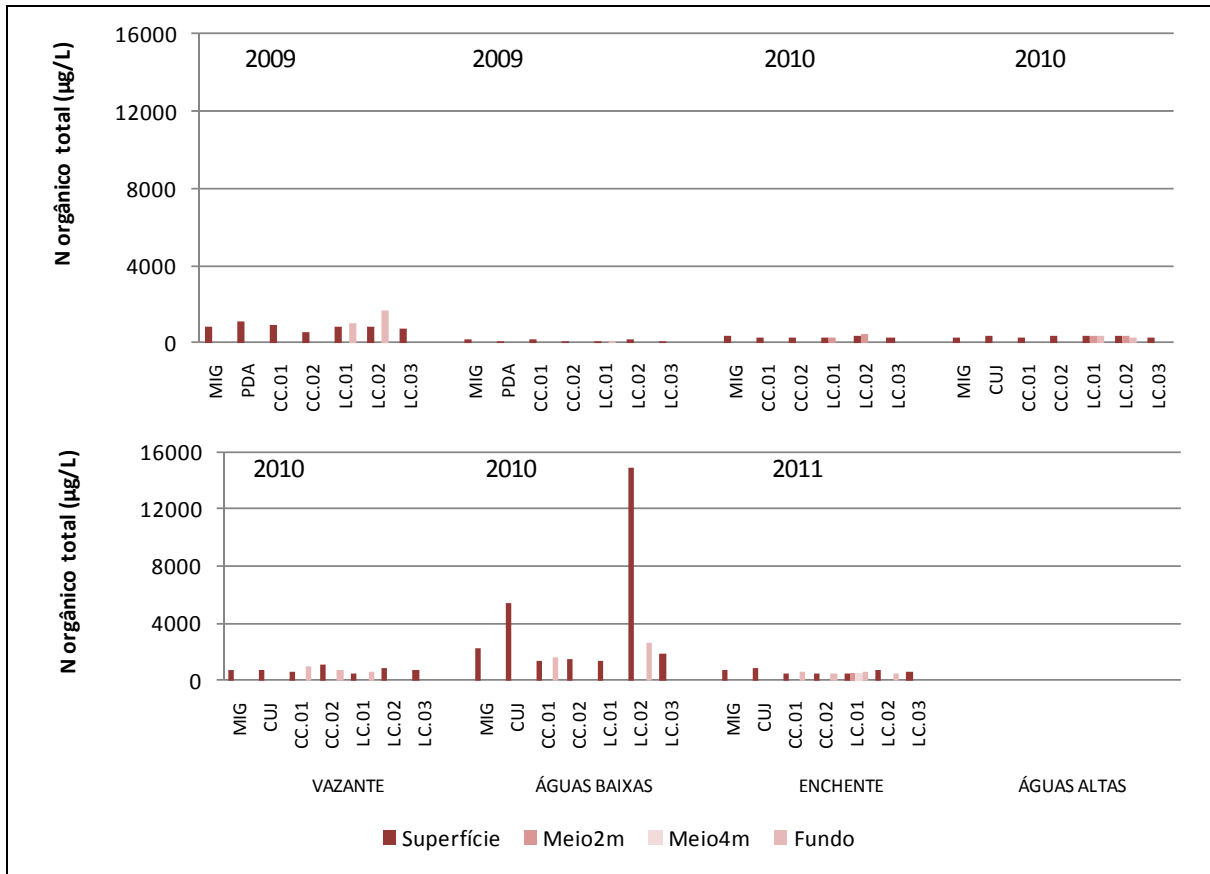


Figura 5.1-177 - Concentrações de nitrogênio orgânico total (NOT) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

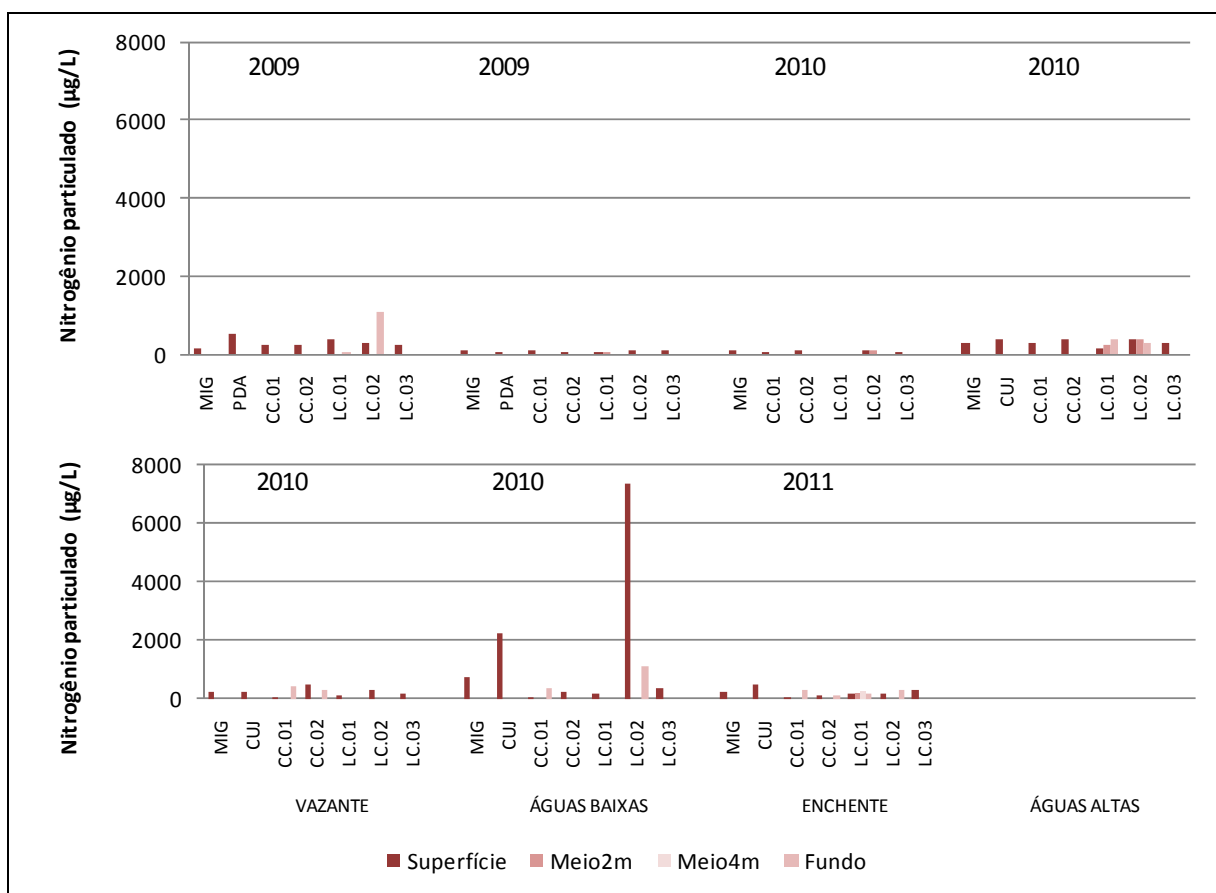


Figura 5.1-178 - Concentrações de nitrogênio particulado (NP) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

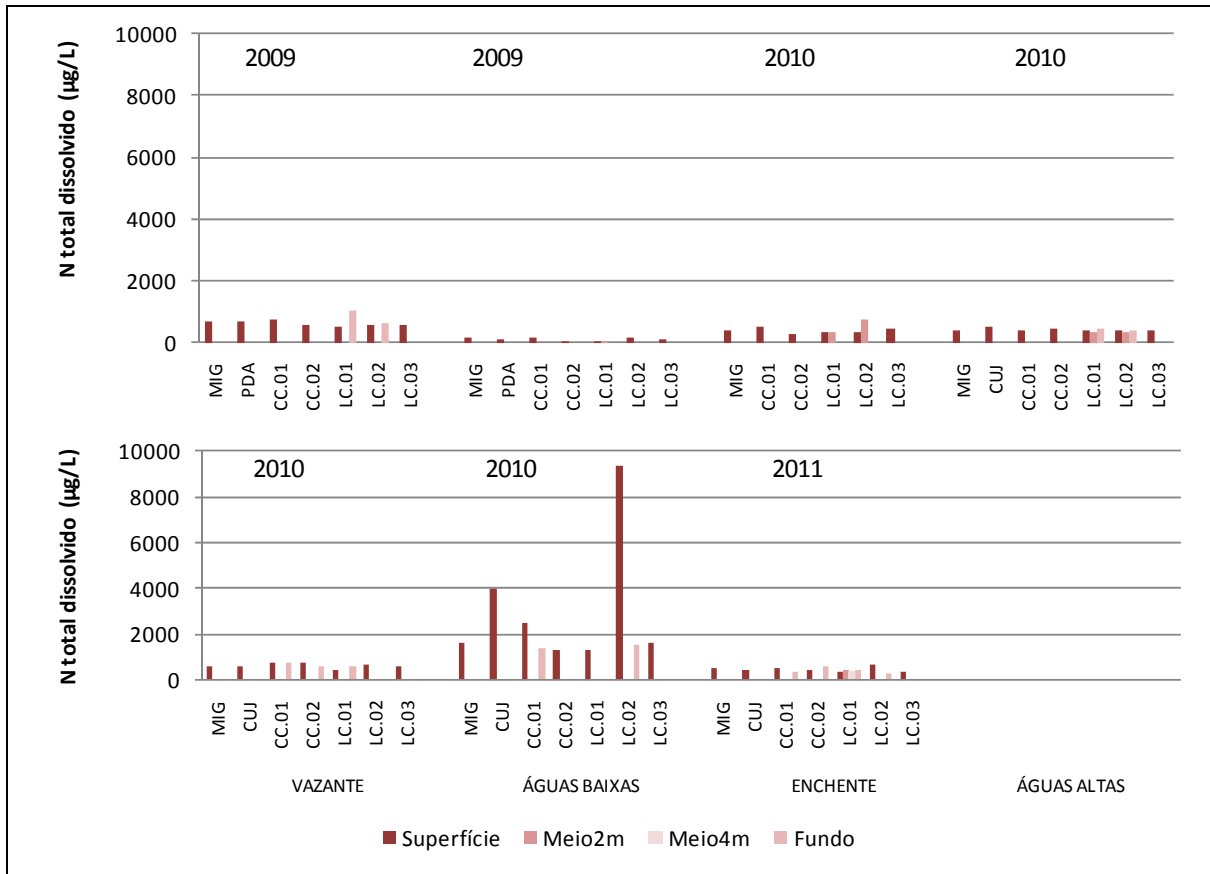


Figura 5.1-179 - Concentrações de nitrogênio total dissolvido (NTD) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

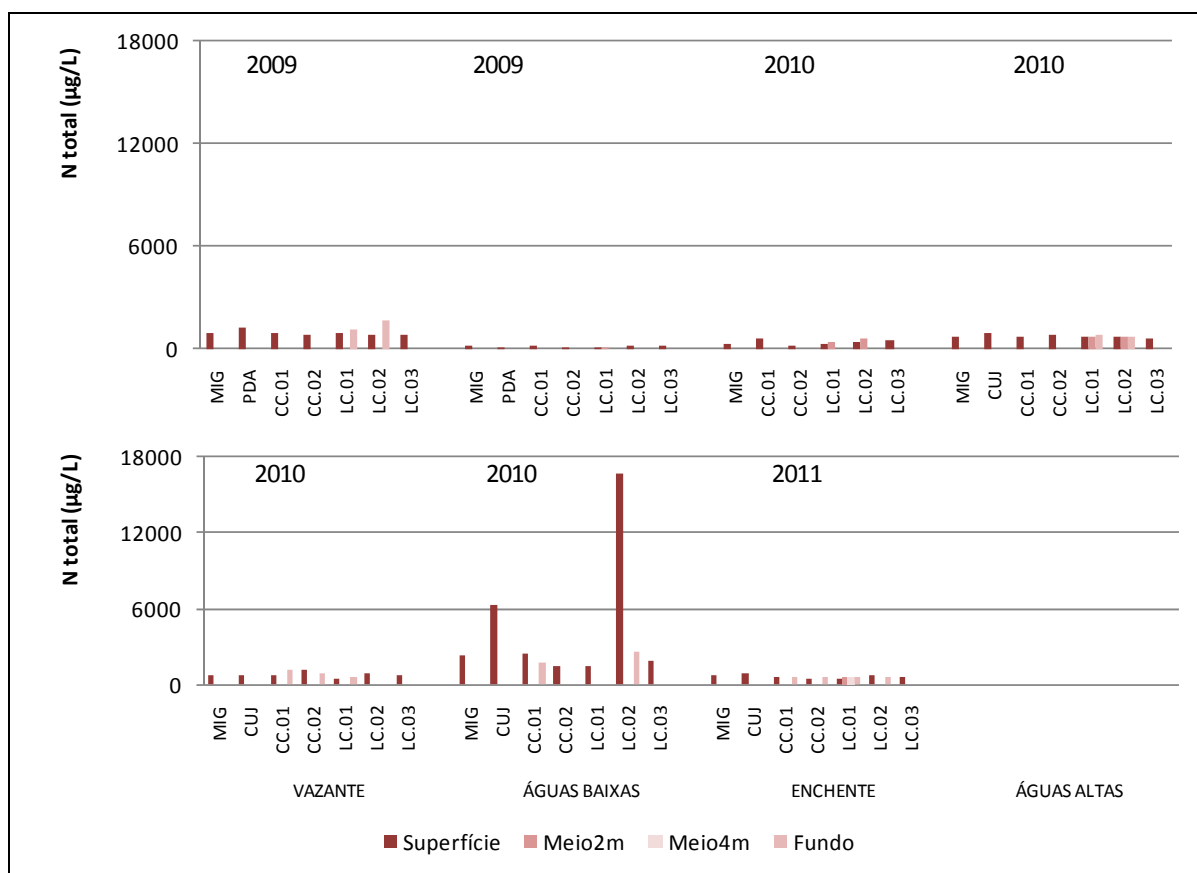


Figura 5.1-180 - Concentrações de nitrogênio total (NT) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Apesar de as concentrações das diferentes formas de nitrogênio terem variado bastante na escala sazonal, a variação entre superfície e fundo e entre as estações de coleta foi geralmente baixa. Além disso, cabe salientar que as concentrações de nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrito foram compatíveis com o Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de Classe 2, tanto no rio Madeira quanto nos tributários e nos lagos e canais.



### 5.1.1.10.2 - 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 rio Madeira apresentou teores de fósforo total bem maiores do que os rios tributários e os lagos e canais, o que é consequência dos flancos altamente erosíveis das cabeceiras dos seus rios formadores, que drenam a região andina.

O ortofosfato, fração importantíssima do ponto de vista biológico, apresentou concentrações menores na enchente de 2011 e concentrações mais elevadas na enchente de 2010, com  $13 \pm 5$   $\mu\text{g/L}$  e  $72 \pm 40$   $\mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP), respectivamente (**Figura 5.1-181**). As concentrações na superfície e no fundo foram semelhantes, com média de  $28 \pm 25$  e  $26 \pm 18$   $\mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP), respectivamente. No EIA os teores de ortofosfato foram sempre inferiores àqueles registrados neste monitoramento, com média global de  $3 \pm 2$   $\mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP). Em um estudo sobre os fatores que controlam as concentrações de nutrientes em alguns ambientes amazônicos, Forsberg et al. (1988) registraram concentrações de ortofosfato de  $18,6$   $\mu\text{g/L}$ , valor condizente com o encontrado no presente estudo. Variações anuais nos teores de nutrientes estão relacionados com a amplitude do pulso de inundação em cada ano. O fósforo total dissolvido (PTD) foi menor nas águas baixas de 2009 e maior na enchente de 2010, com média global de  $59 \pm 36$   $\mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $54 \pm 23$   $\mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para o fundo. As médias dos períodos variaram de  $35 \pm 15$   $\mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 a  $104 \pm 64$   $\mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010 (**Figura 5.1-182**). As concentrações de PT foram altas ao longo de todo o período de estudo, com maior valor registrado nas enchentes de 2010 e 2011, que apresentaram médias de  $354 \pm 102$  e  $522 \pm 136$   $\mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP), respectivamente (**Figura 5.1-183**). O fósforo particulado (PP) apresentou concentrações médias variando de  $34 \pm 28$   $\mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 a  $282 \pm 117$   $\mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010. A fração particulada do fósforo respondeu por 70% do fósforo total (**Figura 5.1-184**). O fósforo total apresentou um bom ajuste linear com os sólidos em suspensão ( $p < 0,0001$  e  $r^2 = 0,58$ ), corroborando o fato de que a fração particulada é dominante no rio Madeira (**Figura 5.1-186**). Ainda em relação ao fósforo particulado, a média global foi de  $209 \pm 177$   $\mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $214 \pm 162$   $\mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para o fundo (**Figura 5.1-185**). Em relação à parcela orgânica, o fósforo orgânico dissolvido (POD) foi menor nas águas altas de 2010, quando apresentou média de  $15 \pm 10$   $\mu\text{g/L}$

(média ± DP), e maior na vazante de 2010, quando apresentou média de  $46 \pm 11 \mu\text{g/L}$  (média ± DP) (Figura 5.1-187). A média global do POD foi de  $30 \pm 22 \mu\text{g/L}$  (média ± DP) para a superfície e  $28 \pm 21 \mu\text{g/L}$  (média ± DP) para o fundo. Já no que diz respeito ao fósforo orgânico total (FOT), as concentrações variaram de  $57 \pm 21 \mu\text{g/L}$  (média ± DP) nas águas baixas de 2010 a  $509 \pm 133 \mu\text{g/L}$  (média ± DP) na enchente de 2011 (Figura 5.1-188), com média global de  $236 \pm 177 \mu\text{g/L}$  (média ± DP) para a superfície e  $242 \pm 166 \mu\text{g/L}$  (média ± DP) para o fundo. A maior parte do POT foi encontrada, portanto, na forma particulada. Segundo McClain & Naiman (2008), grande parte do material suspenso carregado por rios amazônicos de água branca está na forma orgânica, corroborando o que foi observado no rio Madeira.

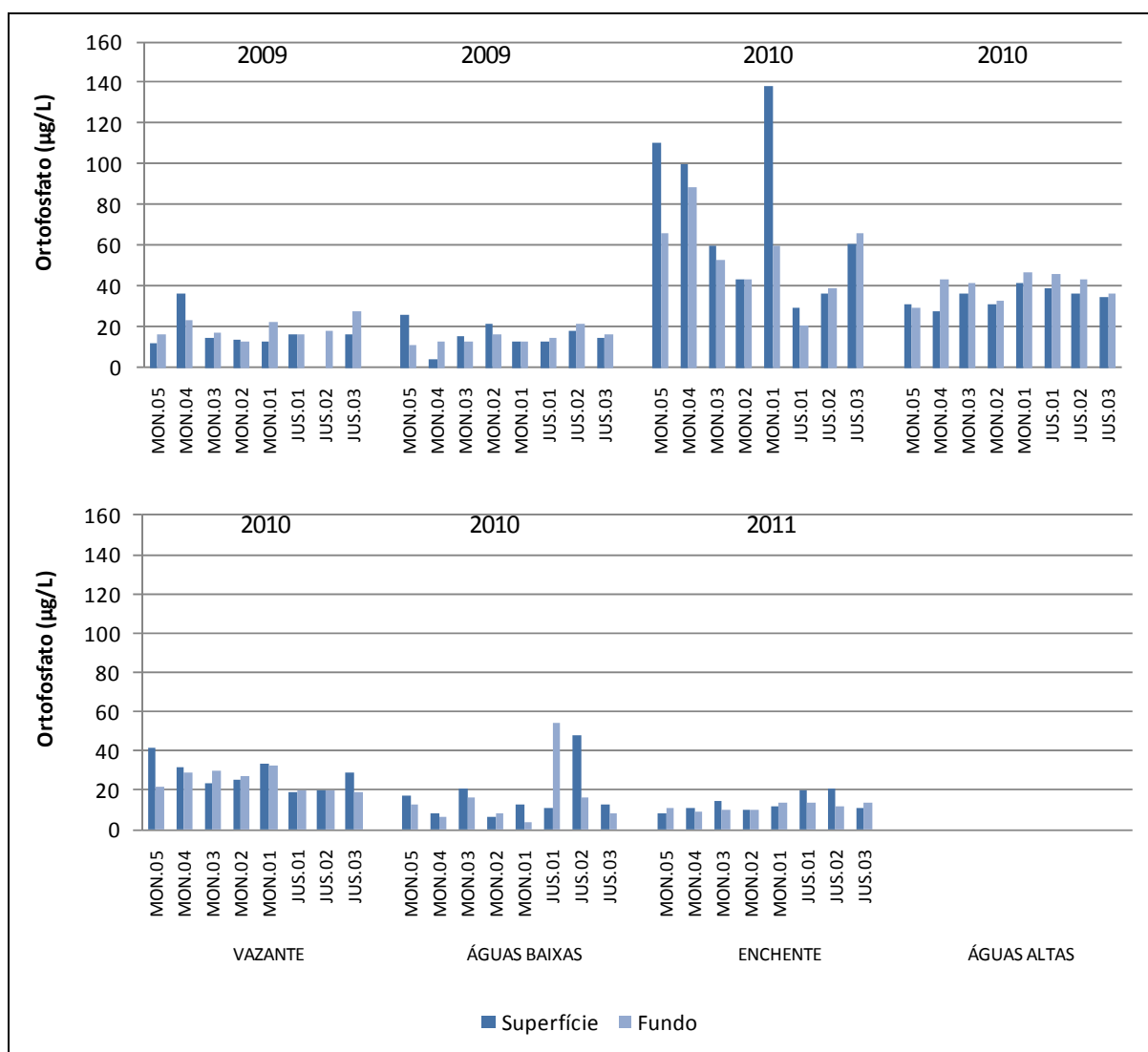


Figura 5.1-181 - Concentrações de ortofosfato no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

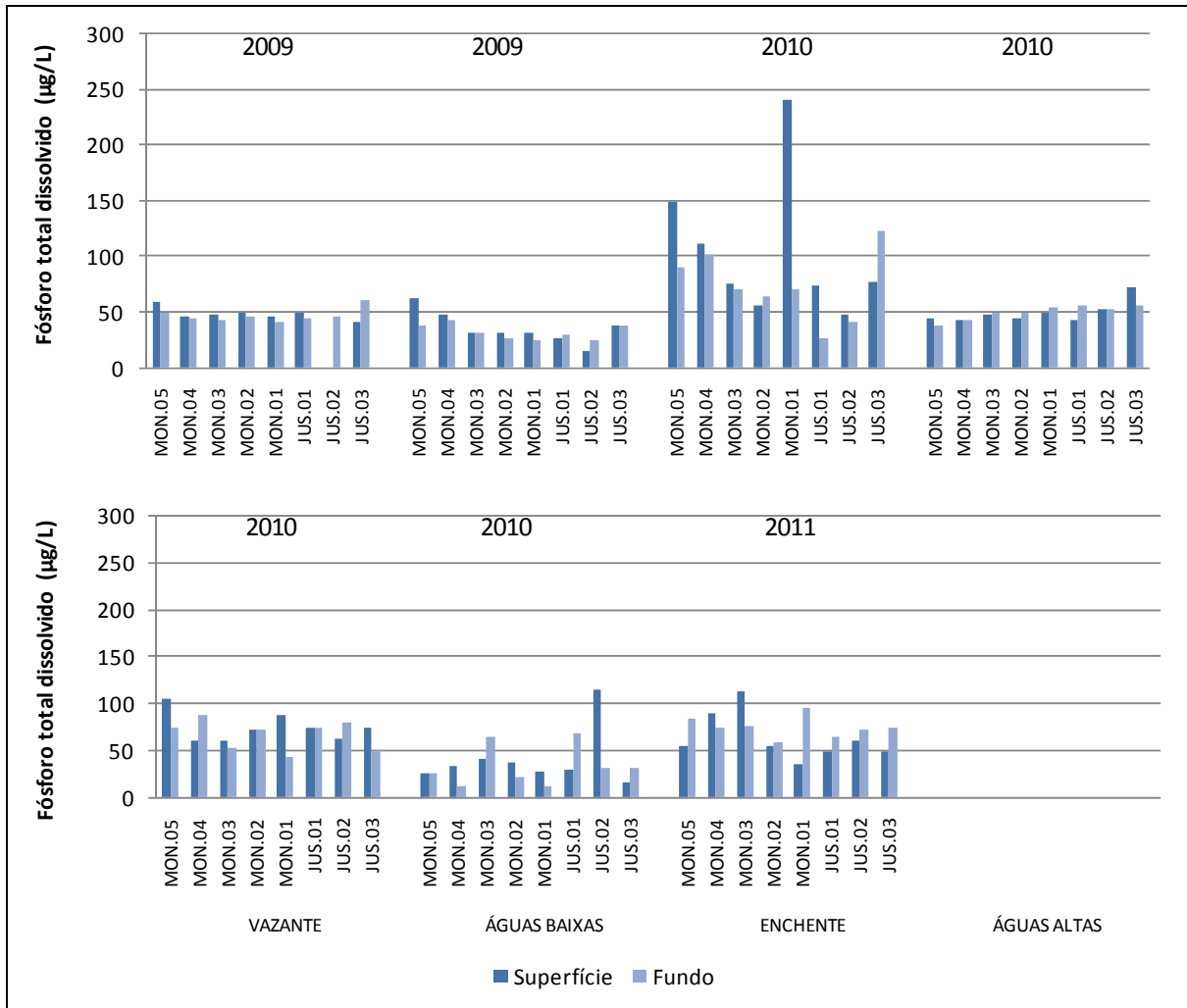


Figura 5.1-182 - Concentrações de fósforo total dissolvido (PTD) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

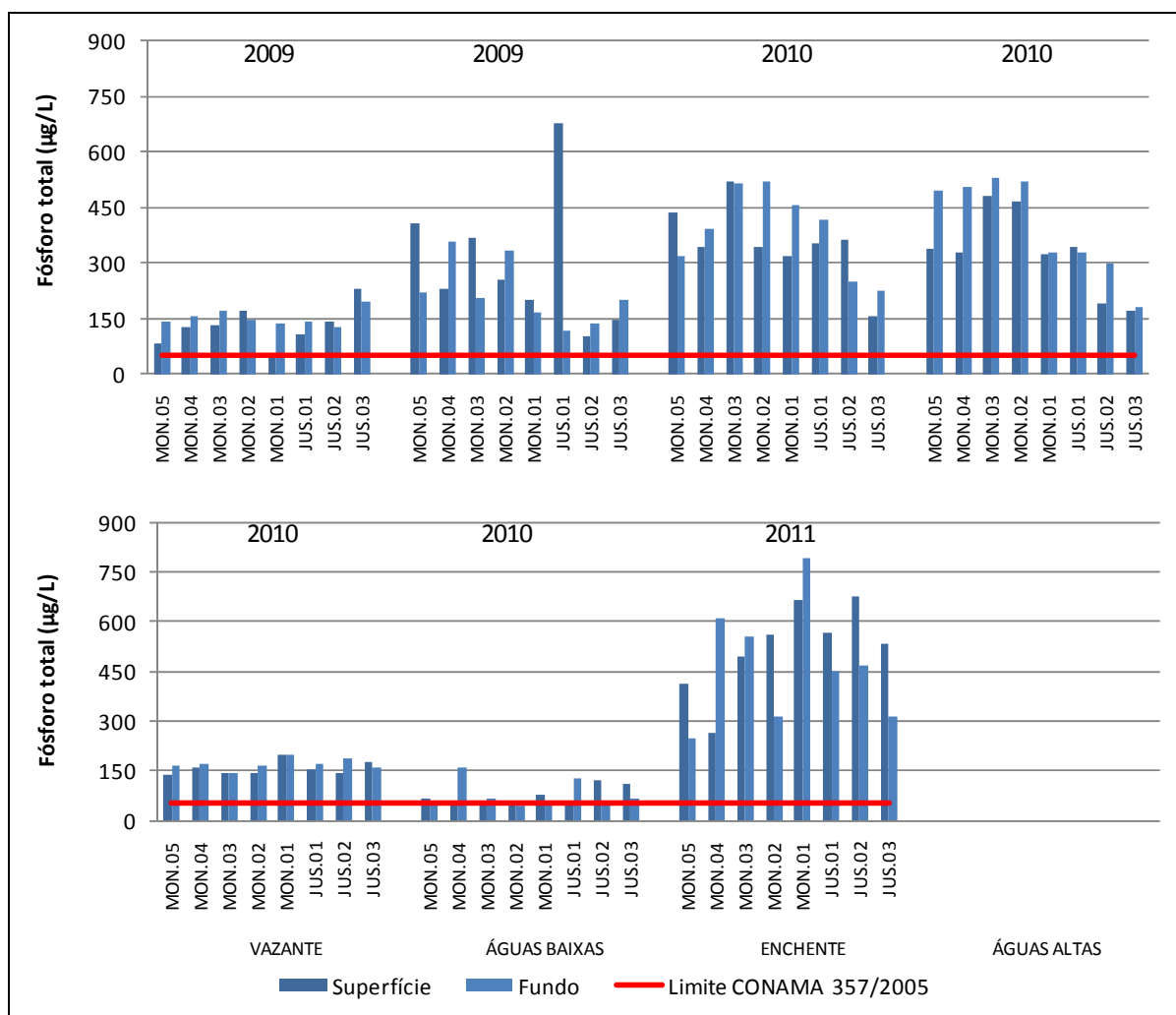


Figura 5.1-183 - Concentrações de fósforo total (PT) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

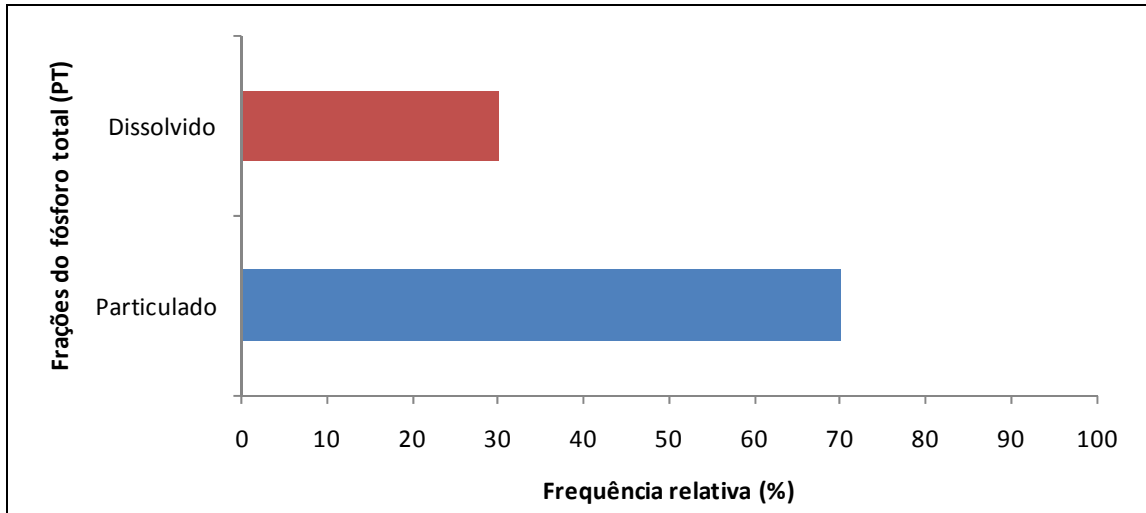


Figura 5.1-184 - Frequência relativa média das frações do fósforo total no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

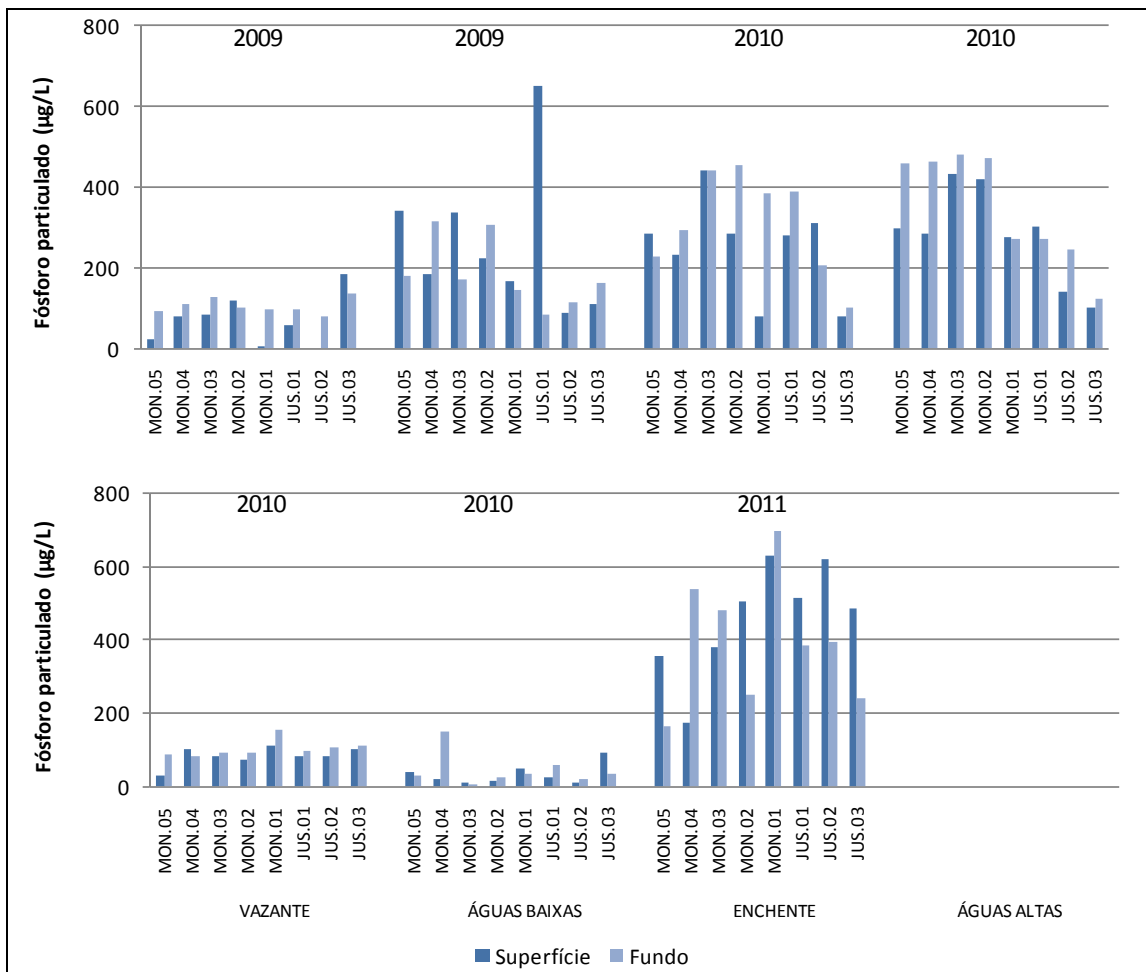


Figura 5.1-185 - Concentrações de fósforo particulado (PP) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

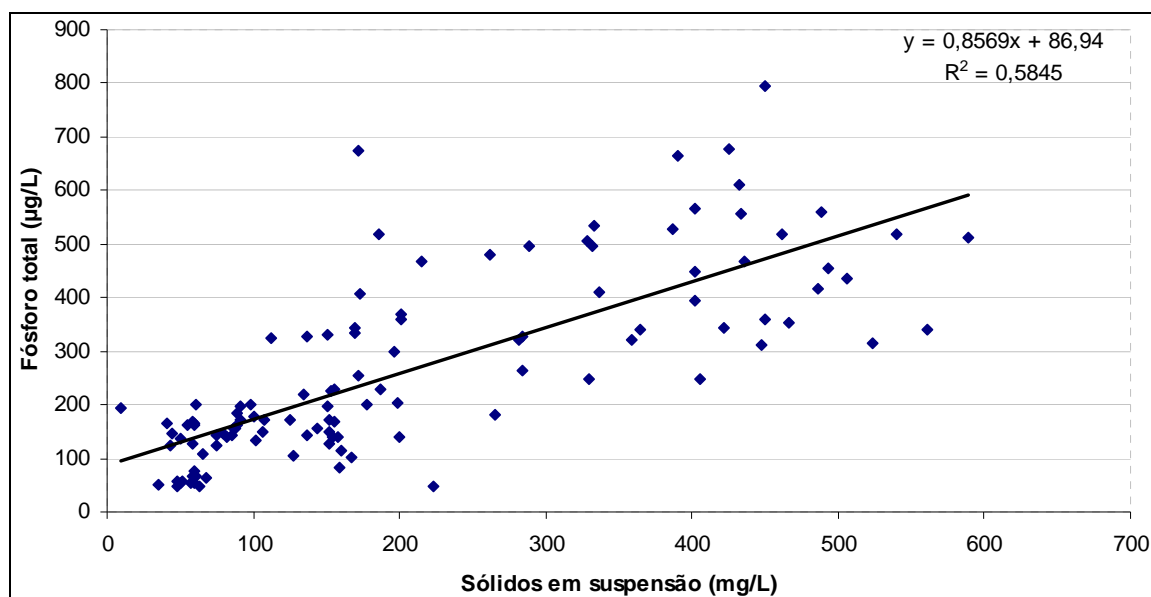


Figura 5.1-186 - Regressão linear do fósforo total com os sólidos em suspensão do rio Madeira.

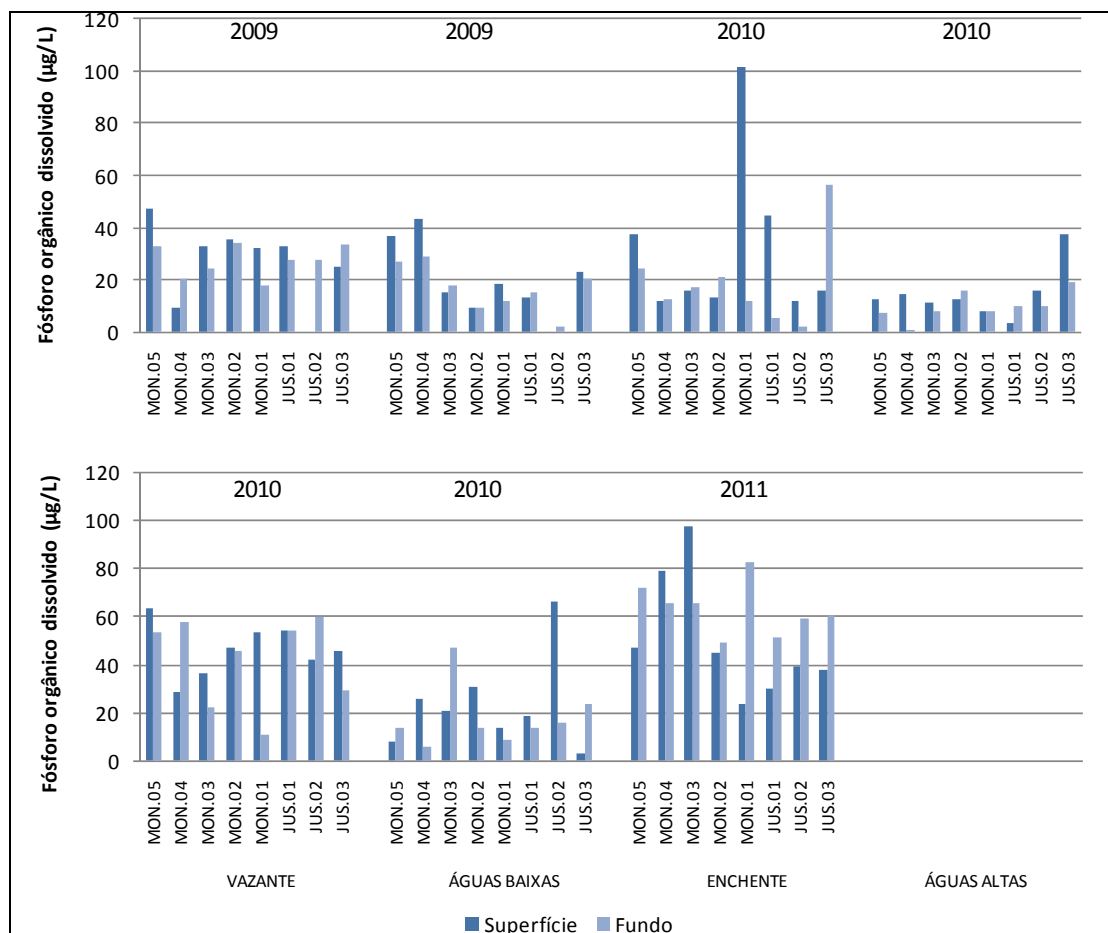


Figura 5.1-187 - Concentrações de fósforo orgânico dissolvido (POD) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

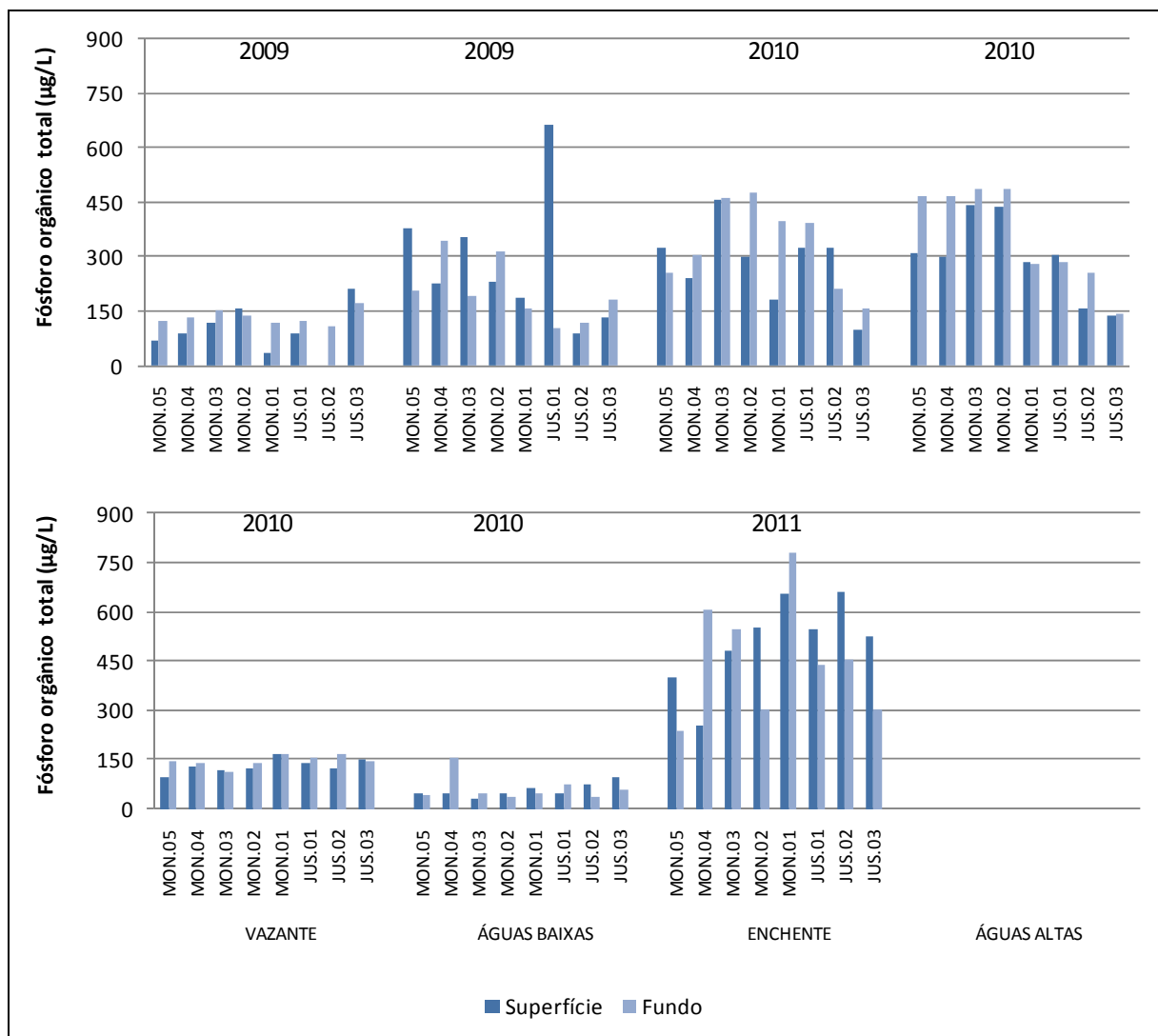


Figura 5.1-188 - Concentrações de fósforo orgânico total (POT) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos rios tributários, o ortofosfato variou de  $3 \pm 2 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 a  $24 \pm 13 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010, com média global de  $13 \pm 10 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-189). Isso indica que o rio Madeira pode ser uma das principais fontes de ortofosfato para os rios tributários, haja vista que os valores mínimos e os máximos desse nutriente foram registrados nas águas baixas e na enchente, respectivamente. O fósforo total dissolvido (PTD) não variou muito ao longo do período de estudo, com as médias variando entre  $27 \pm 22 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $36 \pm 10 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas altas do mesmo ano. O valor médio para o PTD foi de  $38 \pm 35 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-190). A estação CAR, no rio Caripuna, apresentou sempre valores mais baixos, ao passo que a estação BEL, no igarapé

Belmont, apresentou sempre valores mais altos. O maior valor foi encontrado para a estação JAT I nas águas baixas de 2009. Ao contrário do que foi observado no rio Madeira, a maior parte do fósforo total (PT) dos rios tributários esteve na forma dissolvida, que respondeu por 62% do fósforo total. Isso aconteceu porque o rio Madeira é um rio de águas brancas, que carrega uma grande quantidade de sedimentos em suspensão. O PT nos rios tributários apresentou média de  $80 \pm 126 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) superfície, variando de  $18 \pm 19 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 a  $235 \pm 265 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010 (**Figura 5.1-191**). O alto valor médio, acompanhado de alto desvio padrão da média na vazante, é oriundo das altas concentrações encontradas nas estações JAT I e BEL, que apresentaram características da água semelhantes às do rio Madeira, que é rico em fósforo. O fósforo particulado (PP) apresentou seu limite mínimo na enchente de 2011, com média de  $7 \pm 6 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) e limite máximo na vazante de 2010, com média de  $190 \pm 258 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP). A média global dessa fração foi de  $50 \pm 118 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $8 \pm 13 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para o fundo (**Figura 5.1-192**). O fósforo orgânico dissolvido (POD) variou de  $9 \pm 7 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010 a  $50 \pm 90 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009, com média de  $23 \pm 35 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-193**). Já o fósforo orgânico total (POT) oscilou entre  $29 \pm 12 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 e  $218 \pm 261 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010, exibindo média global de  $73 \pm 124 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-194**). No rio Madeira, o POT esteve formado predominantemente por compostos particulados, ao passo que nos rios tributários, a fração dissolvida foi a mais comum.



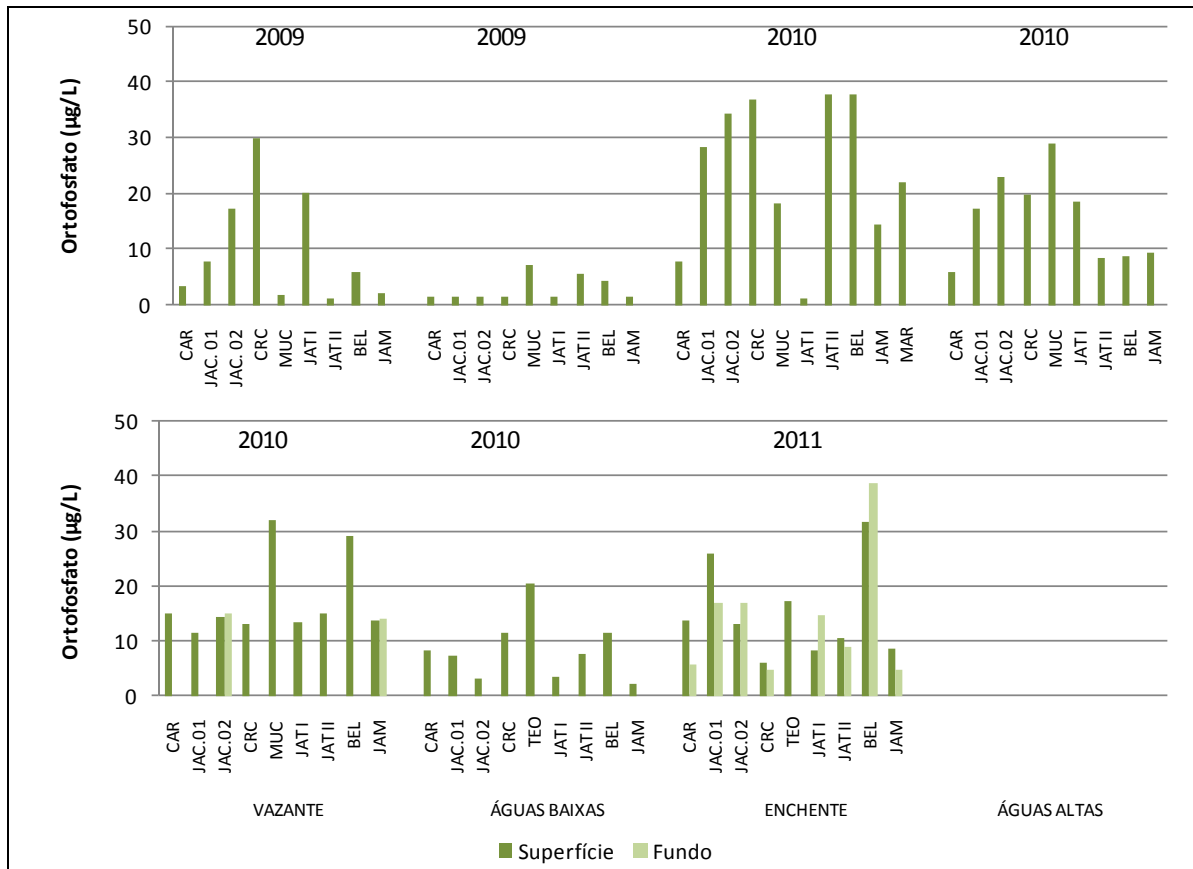


Figura 5.1-189 - Concentrações de ortofosfato nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

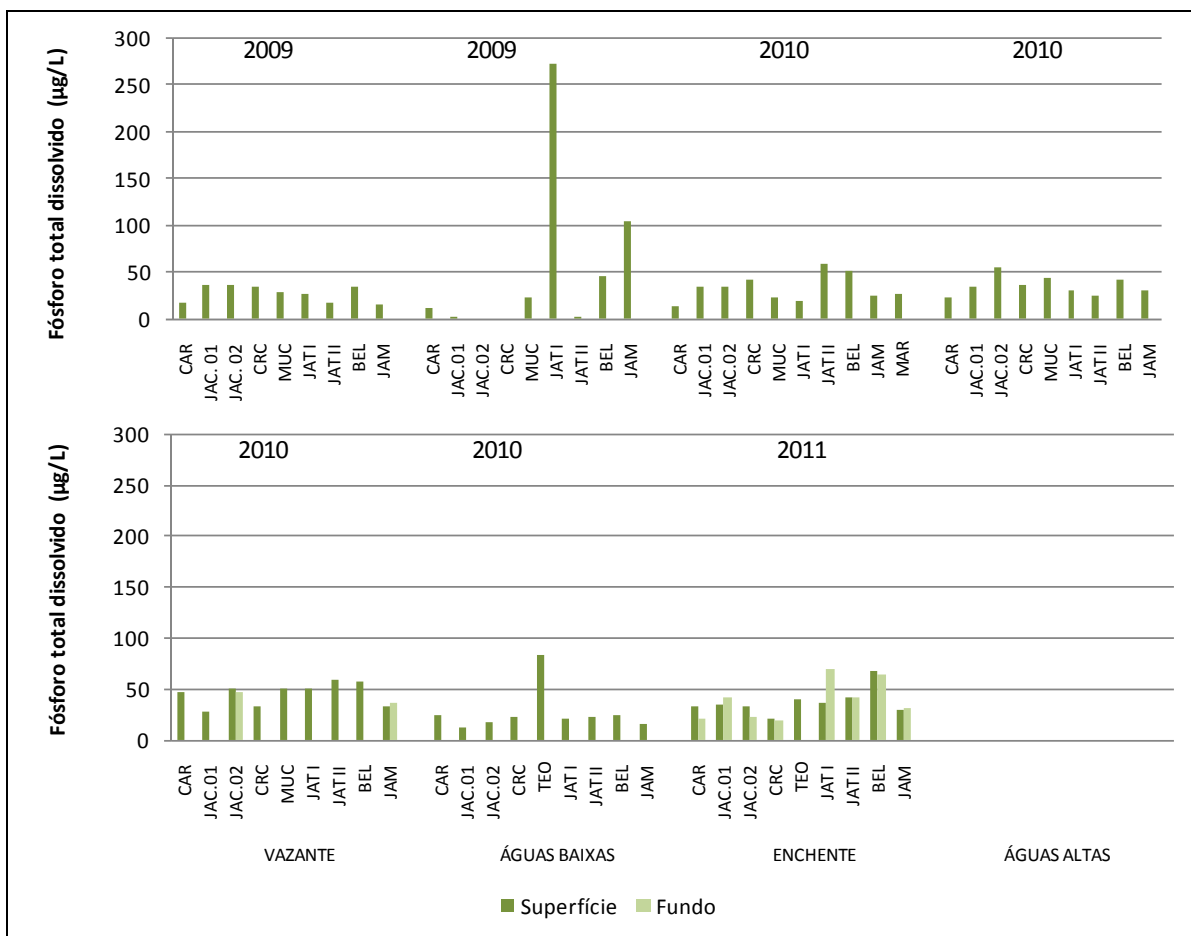


Figura 5.1-190 - Concentrações de fósforo total dissolvido (PTD) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

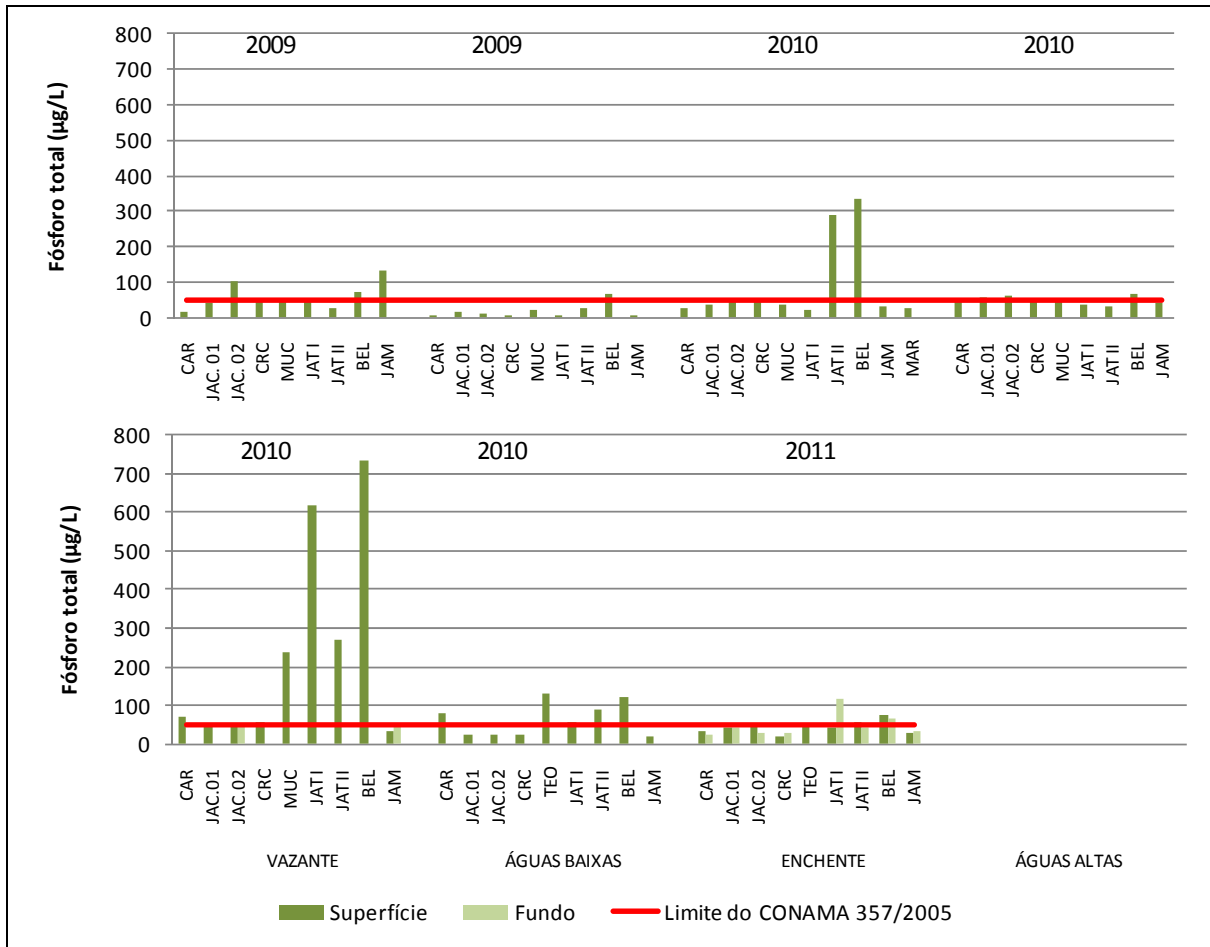


Figura 5.1-191 - Concentrações de fósforo total (PT) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

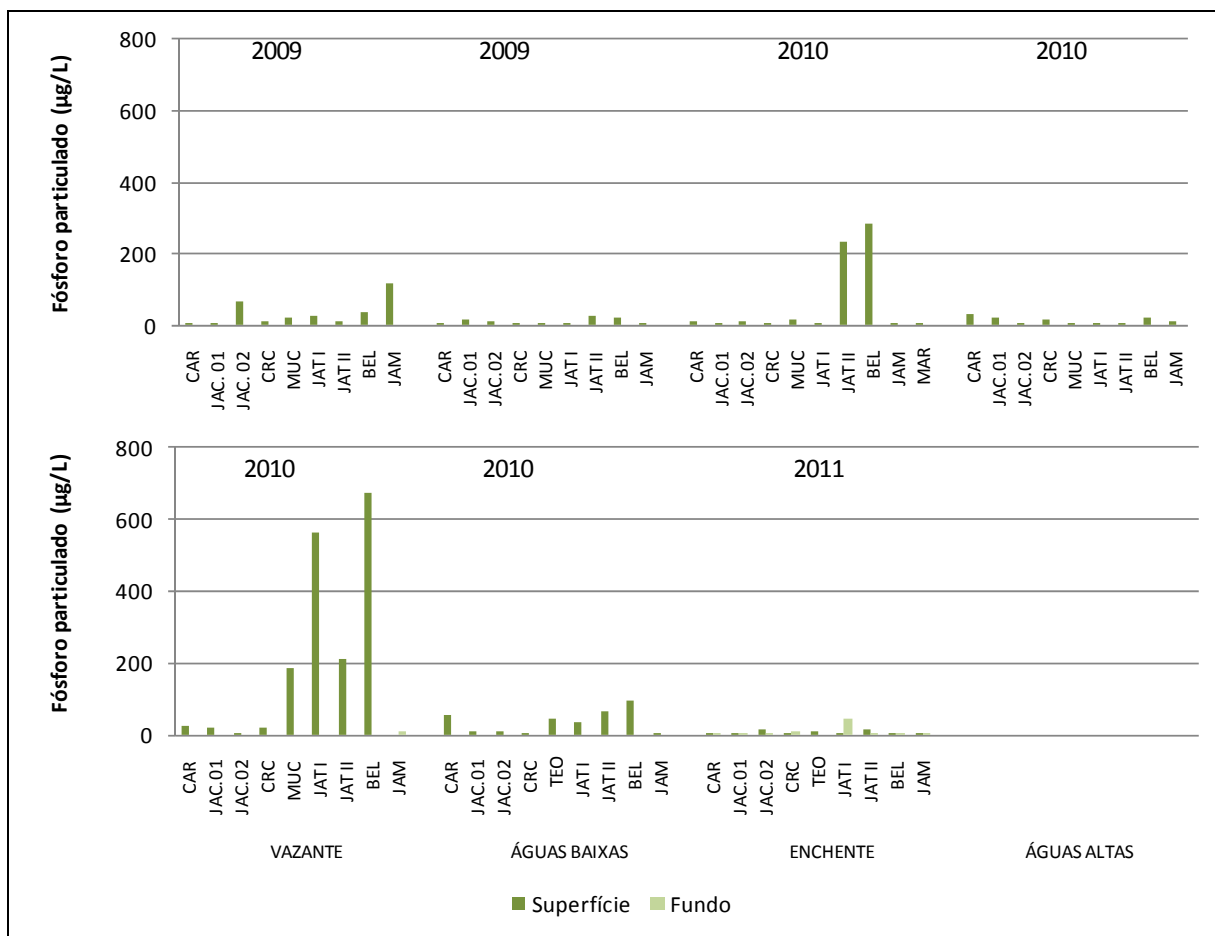


Figura 5.1-192 - Concentrações de fósforo particulado (PP) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

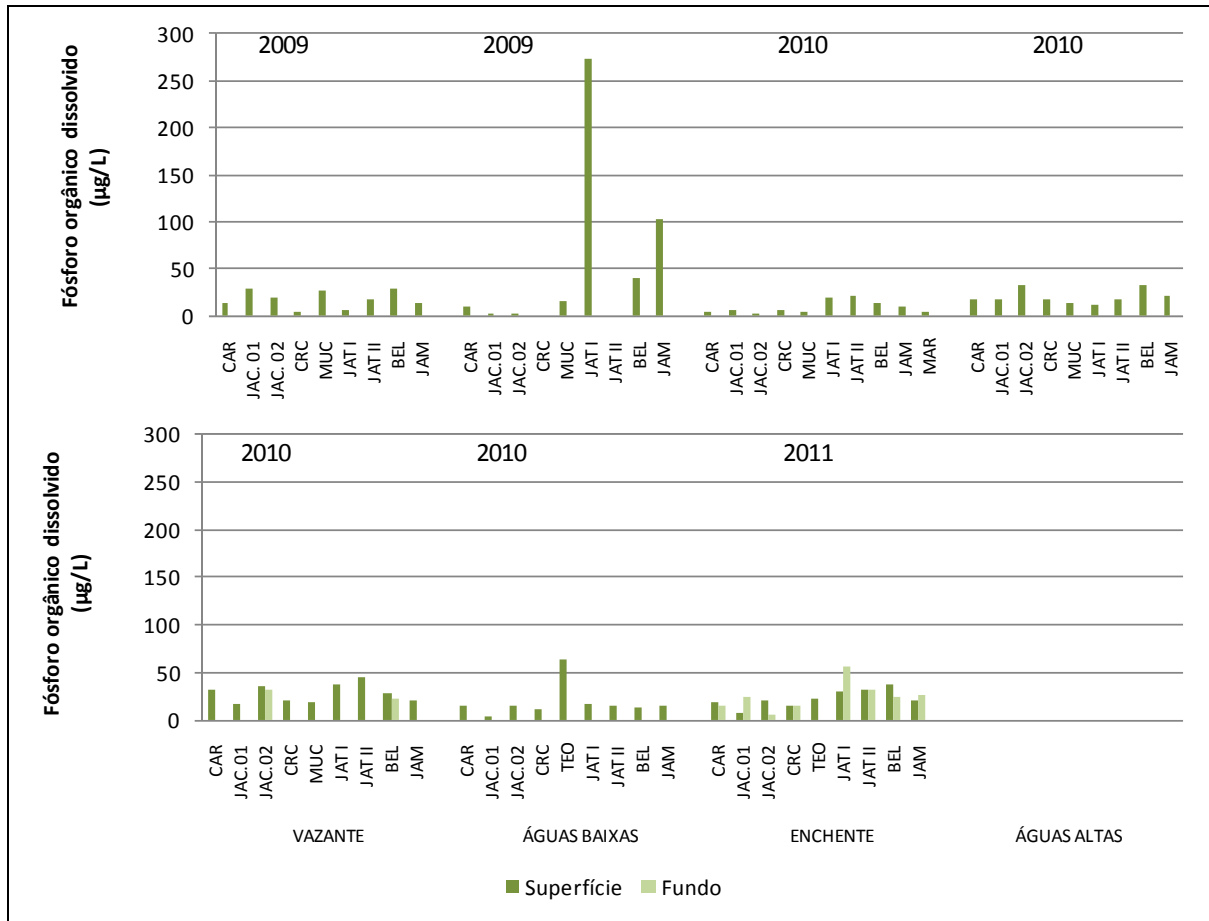


Figura 5.1-193 - Concentrações de fósforo orgânico dissolvido (POD) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

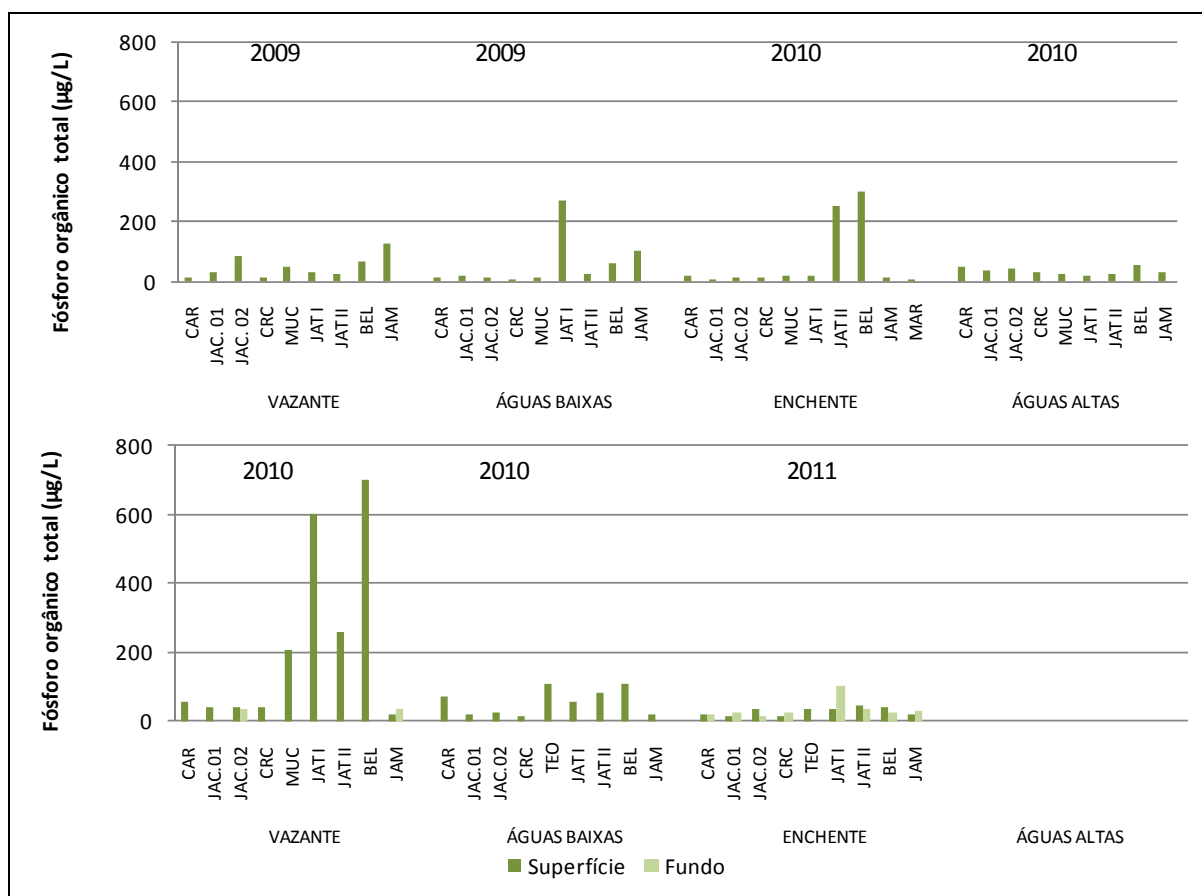


Figura 5.1-194 - Concentrações de fósforo orgânico total (POT) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos lagos e canais, o ortofosfato variou entre  $2 \pm 2 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009 e  $208 \pm 128 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011, sendo que a média global foi de  $44 \pm 84 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-195). O alto valor médio na enchente deve-se às altas concentrações das estações CUJ. O fósforo total dissolvido (PTD) variou pouco ao longo do período de estudo, tendo apresentado seu valor máximo na vazante de 2010, com média de  $75 \pm 36 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP). A média global dessa fração foi de  $44 \pm 32 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-196). Da mesma forma que nos rios tributários, a fração dissolvida foi a forma predominante do fósforo total (PT) nos lagos e canais (59%). O PT variou de  $48 \pm 21 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 a  $134 \pm 165 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010, com média global de  $94 \pm 96 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-197). O alto valor médio encontrado nas águas baixas de 2010 deveu-se à alta concentração encontrada na estação LC.02 nesse período. O fósforo particulado (PP) nos lagos e canais apresentou média global de  $50 \pm 82 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP). As concentrações variaram entre

21 ± 18 µg/L (média ± DP) nas águas altas de 2010 e 97 ± 160 µg/L (média ± DP) nas águas baixas de 2009 (Figura 5.1-198). Em relação à parcela orgânica, o fósforo orgânico dissolvido (POD) foi menor na enchente de 2009, com média de 7 ± 6 µg/L (média ± DP) (Figura 5.1-199). A média global dessa fração foi de 28 ± 23 µg/L (média ± DP) para a superfície e 12 ± 9 µg/L (média ± DP) para o fundo. Já o fósforo orgânico total (POT) variou de 39 ± 18 µg/L (média ± DP) nas águas altas de 2010 a 120 ± 157 µg/L (média ± DP) nas águas baixas de 2009, produzindo uma média global de 78 ± 87 µg/L (média ± DP) (Figura 5.1-200). As altas concentrações em LC.02 nas águas baixas foram responsáveis por elevar a média nesse período.

Os valores de PT encontrados no atual estudo foram, geralmente, maiores do que os relatados no EIA. A média global do presente estudo foi de 283 ± 143 µg/L (média ± DP), enquanto que no EIA foi de 52 ± 22 µg/L (média ± DP). Contudo, rios de águas brancas e de origem andina, como é o caso do rio Madeira, carregam elevada carga de fósforo, que é formado devido à alta tendência de alguns compostos fosfatados aderirem a metais como ferro e alumínio (McClain & Naiman, 2008). Grande parte desses compostos estão na forma particulada, sendo carregada para os rios formadores do rio Madeira a partir dos flancos altamente erosíveis da região andina. Isso é evidenciado, também, pelo fato de 70% do fósforo total do rio Madeira ter sido encontrado na forma particulada (Figura 5.1-184). Desta forma, apesar de o rio Madeira não ter atendido ao Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 no que diz respeito ao fósforo total, trata-se de uma característica natural desse rio. Os rios tributários atenderam esta Resolução na maior parte dos casos. Somente JAC.02, BEL e JAM (vazante de 2009), BEL (águas baixas de 2009) e JAT II e BEL (enchente de 2010), CAR, MUC, JAT I, JAT II e BEL (vazante de 2010), CAR, TEO, JAT II e BEL (águas baixas de 2010) e JAT I e BEL (enchente 2011) ultrapassaram o limite permitido de 50 µg/L de fósforo total. A maior parte das estações amostradas nos lagos e canais não foram compatíveis ao limite de 50 µg/L de fósforo total previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de Classe 2.

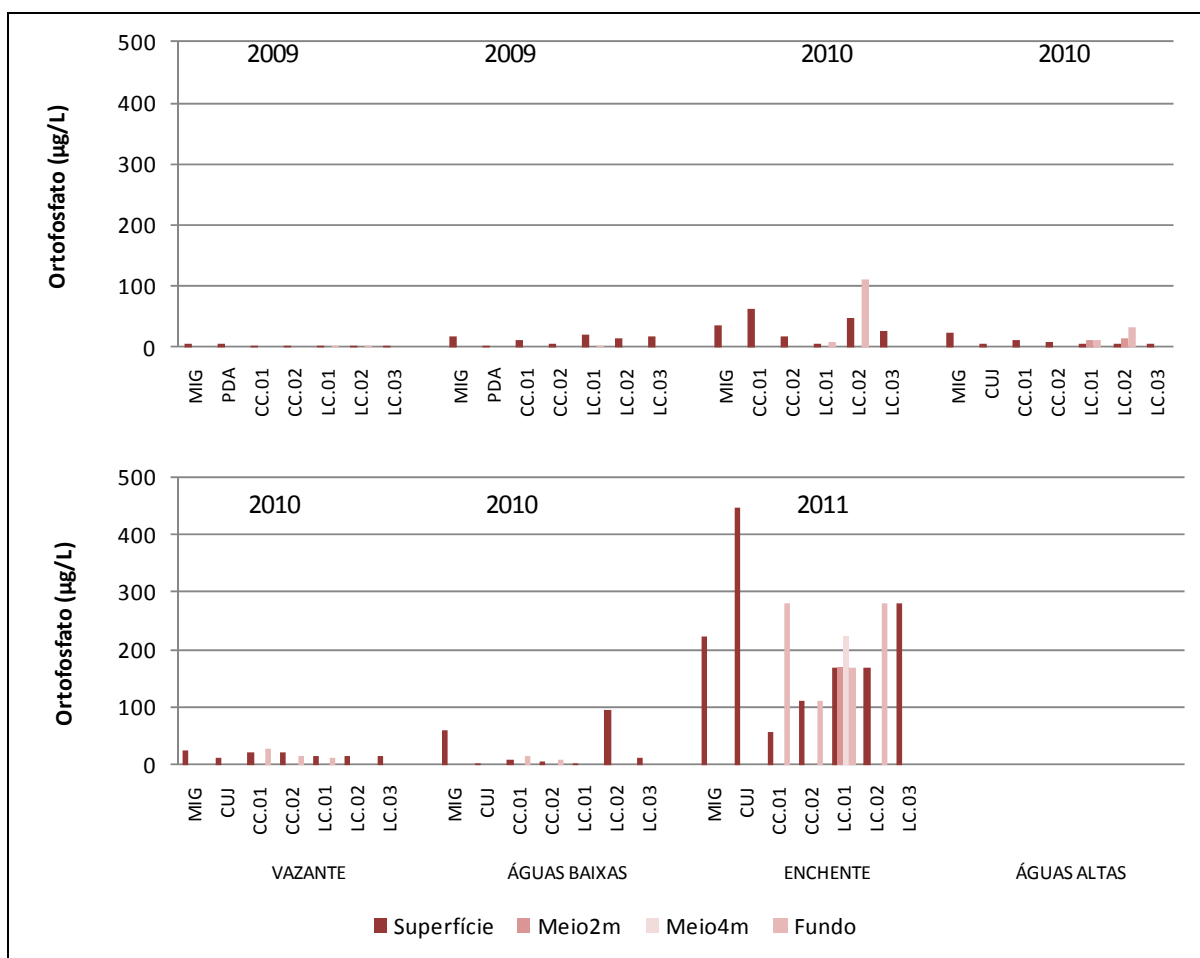


Figura 5.1-195 - Concentrações de ortofosfato nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



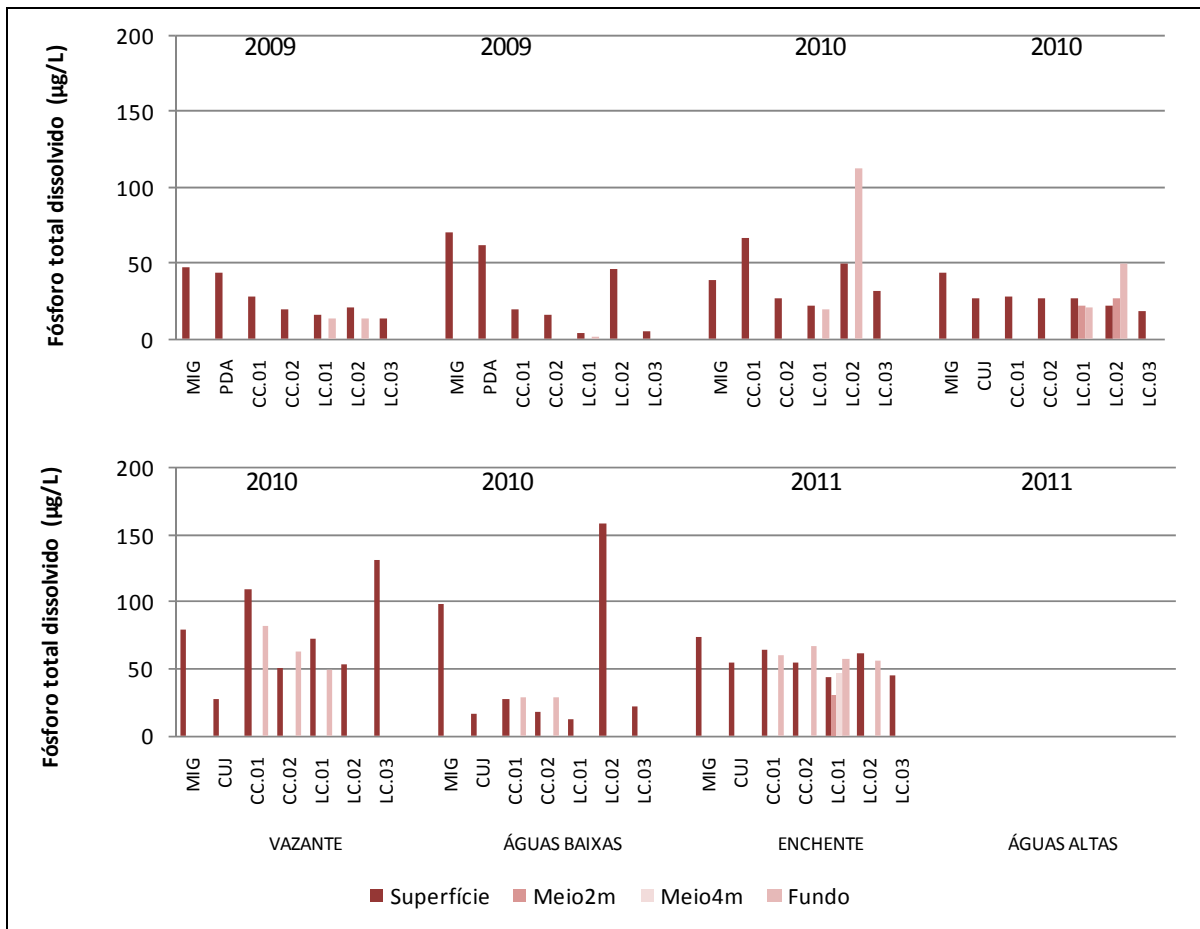


Figura 5.1-196 - Concentrações de fósforo total dissolvido (PTD) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

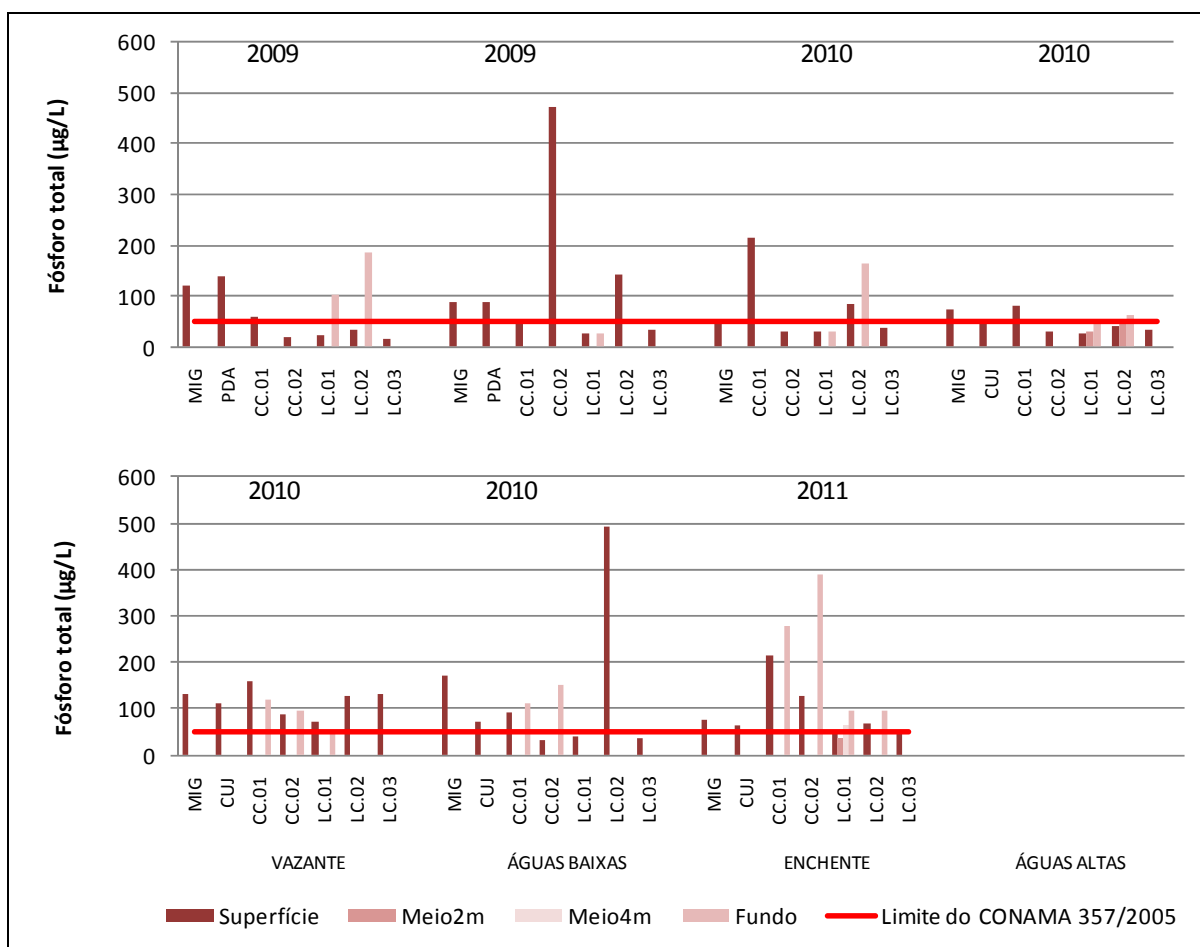


Figura 5.1-197 - Concentrações de fósforo total (PT) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

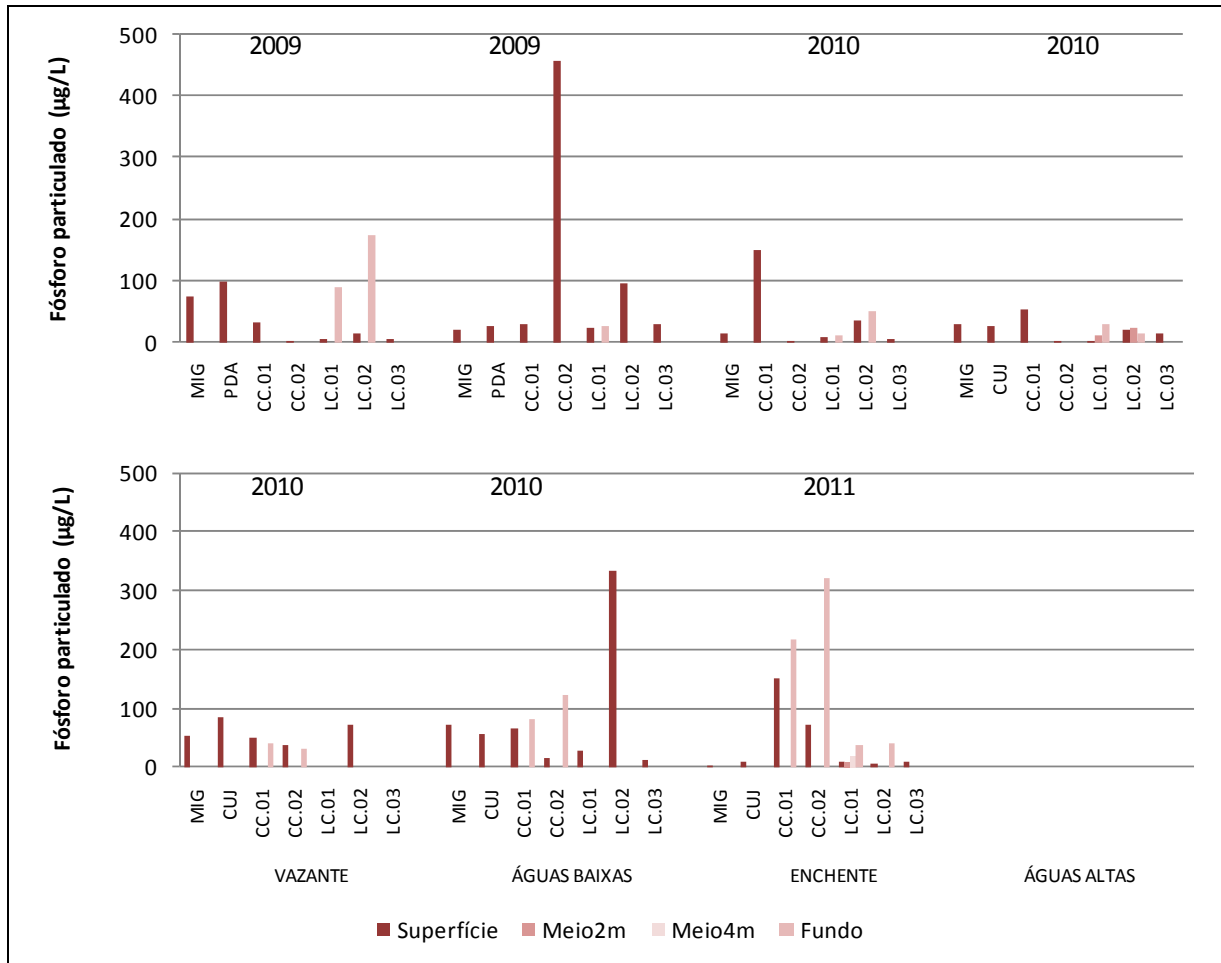


Figura 5.1-198 - Concentrações de fósforo particulado (PP) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

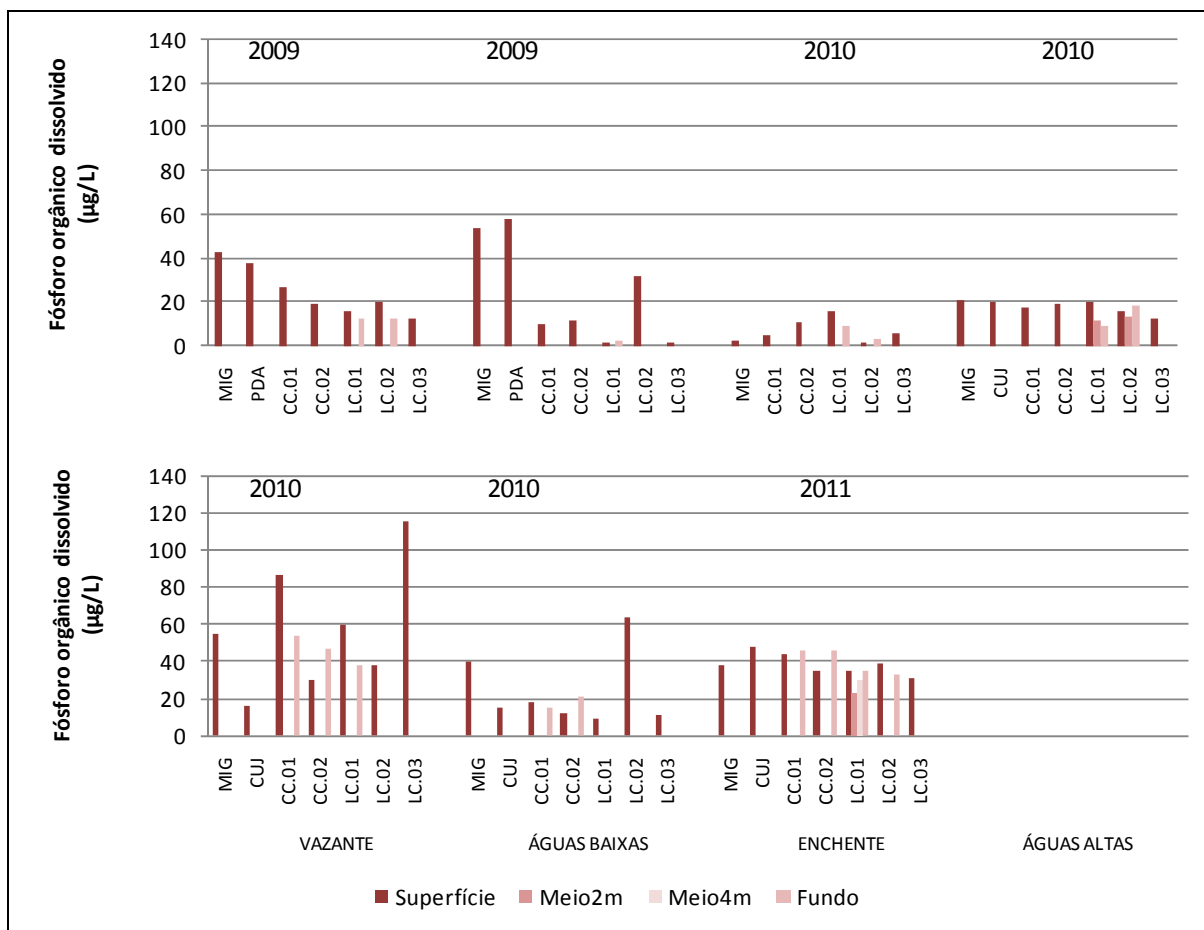


Figura 5.1-199 - Concentrações de fósforo orgânico dissolvido (POD) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

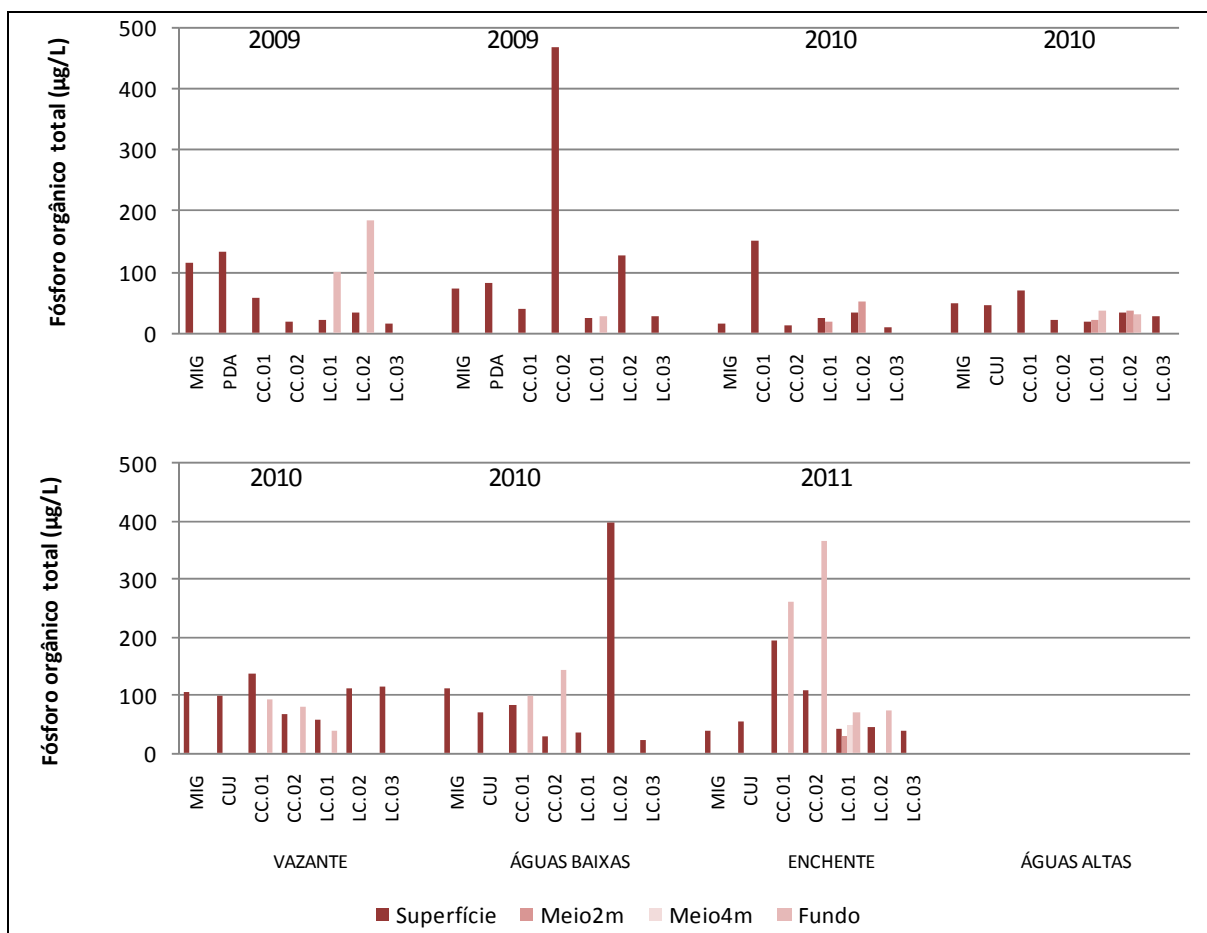


Figura 5.1-200 - Concentrações de fósforo orgânico total (POT) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

### 5.1.1.10.3 - 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 não variou muito entre os períodos amostrados, com exceção dos dados relativos ao período de vazante de 2010 (Figura 5.1-201). A variação espacial das concentrações de silicatos também foi baixa. As concentrações de silicatos variaram entre  $6,0 \pm 0,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 e águas altas de 2010 e  $98,3 \pm 2,7$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010. Os resultados de silicatos encontrados no presente estudo, com exceção da campanha de vazante de 2010, foram bastante semelhantes aos apresentados no EIA, que relata variação entre 3,6 e 7,4 mg/L.

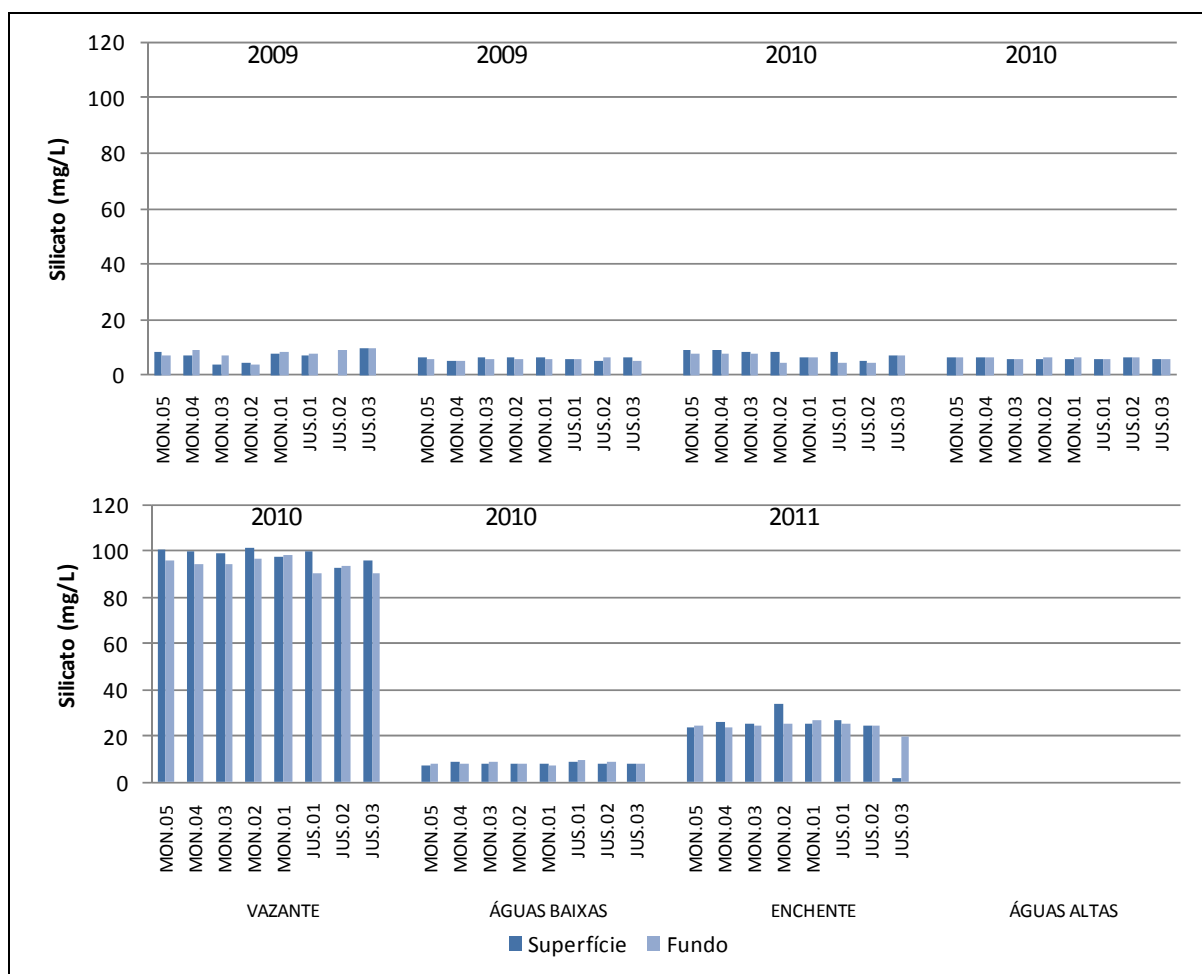


Figura 5.1-201 - Concentrações de silicatos reativos no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos rios tributários, os silicatos reativos foram geralmente baixos ao longo de todo o período estudado, variando de < 0,001 (limite de detecção) a 69,6 mg/L (JAC.02 na vazante) (Figura 5.1-202). A estação CAR, no rio Caripuna, apresentou sempre concentrações baixas, ao passo que a estação JAT I apresentou concentrações altas na vazante de 2009 e na enchente de 2010, semelhantes às encontradas no rio Madeira. As concentrações médias de silicatos reativos variaram entre  $0,7 \pm 0,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 e  $27 \pm 20$  mg/L (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010, com média global de  $5,8 \pm 11,6$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $6,6 \pm 7,5$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo.

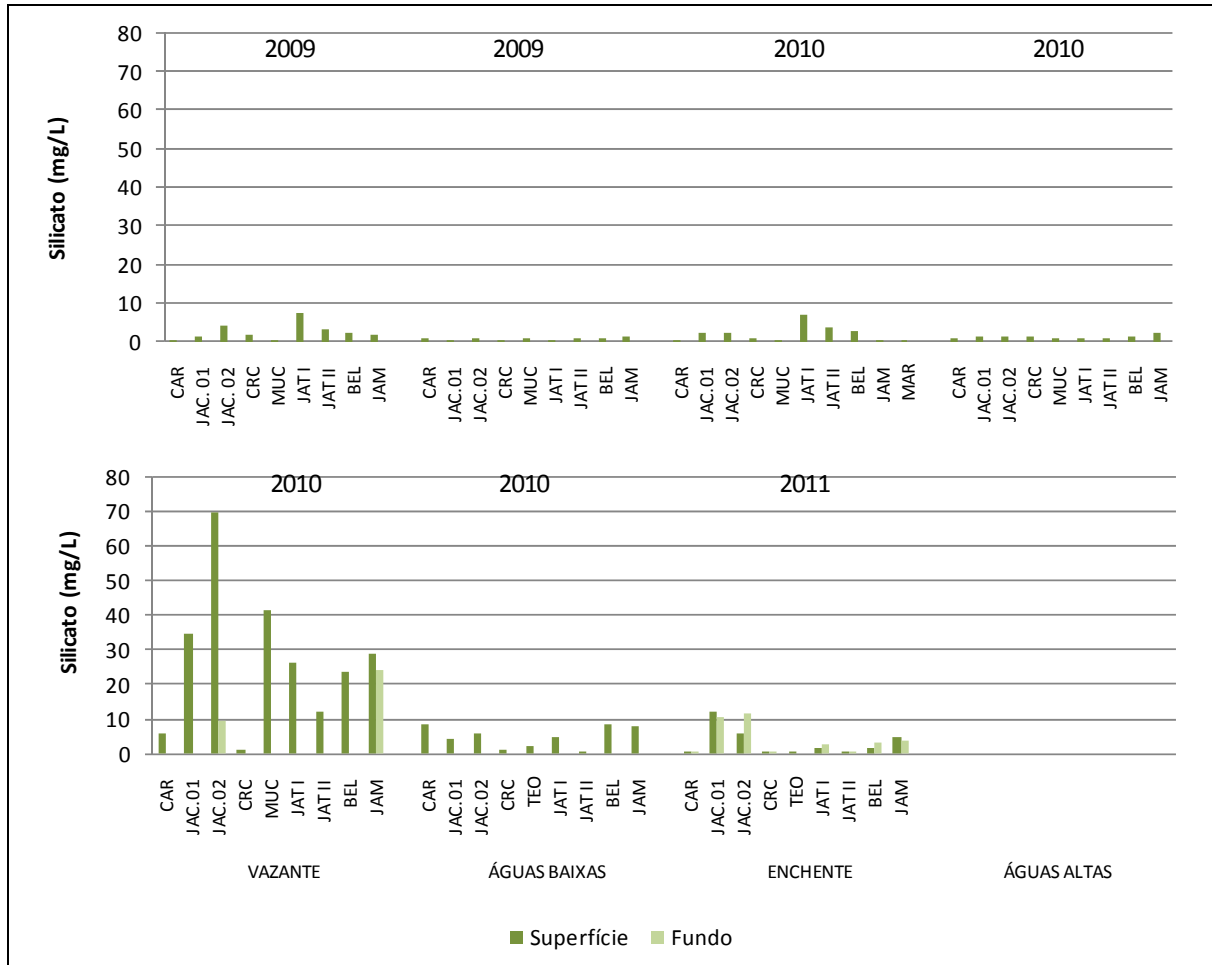


Figura 5.1-202 - Concentrações de silicatos reativos nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Da mesma forma que no rio Madeira e nos rios tributários, os maiores valores de silicatos reativos nos lagos e canais foram encontrados na vazante de 2010 ( $0,4 \pm 0,2$  mg/L, média  $\pm$  DP) e os menores, nas águas baixas de 2009 ( $27,6 \pm 41,2$  mg/L média  $\pm$  DP). As concentrações oscilaram entre  $0,012$  mg/L e  $120$  mg/L, com média global de  $8,5 \pm 17,8$  mg/L (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $3,7 \pm 4,3$  mg/L (média  $\pm$  DP) para o fundo (Figura 5.1-203).

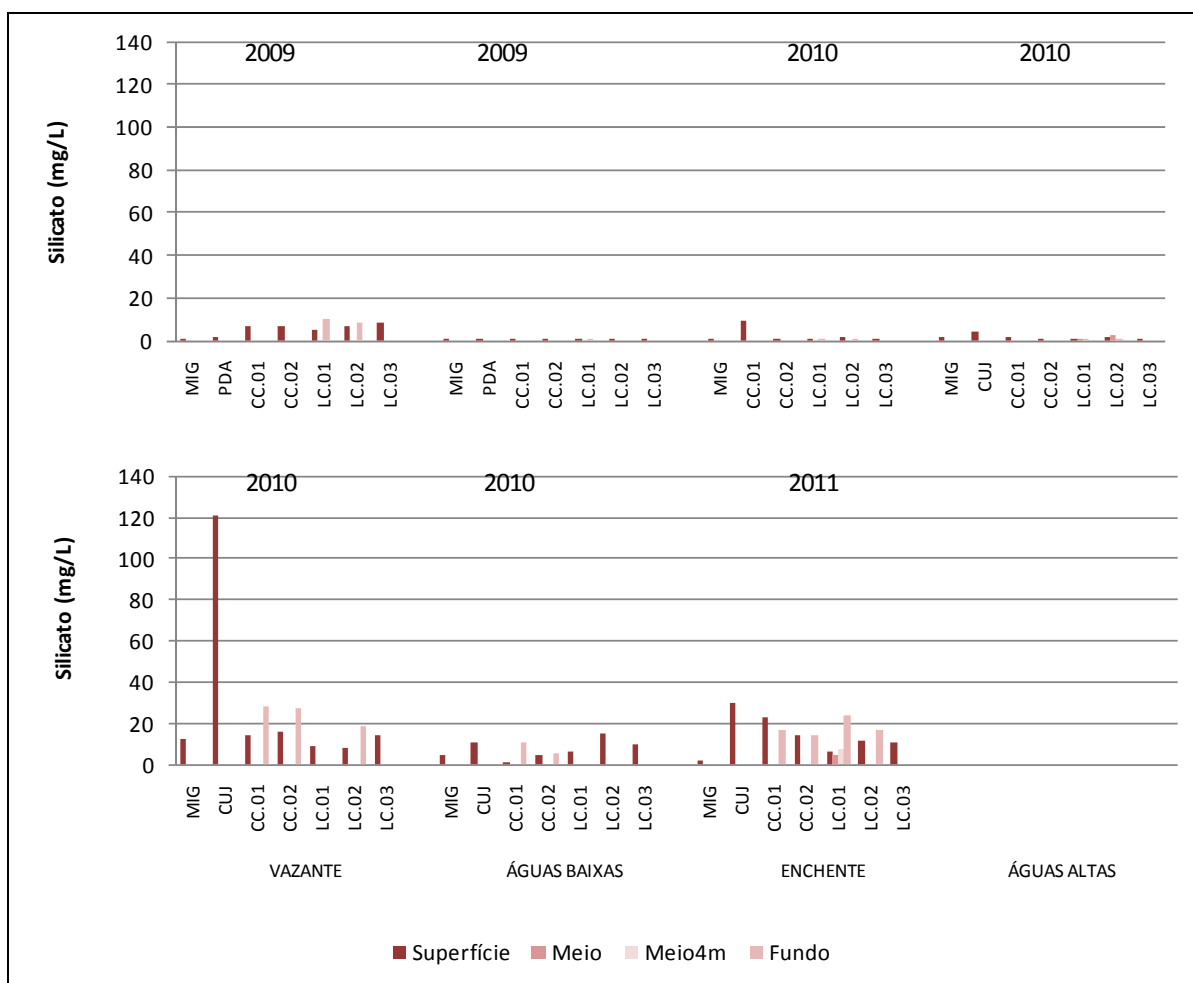


Figura 5.1-203 - Concentrações de silicatos reativos nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



## 5.1.1.11 - Químicas V

### 5.1.1.11.1 - 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) na maioria das estações amostradas em todos os períodos. Apenas as estações MON.04 na vazante de 2009 e JUS.03, CAR, JAT II, JAM, LC.01, e LC.02 nas águas baixas de 2010 apresentaram valores superiores ao limite de detecção do método, com 12, 3, 3, 3, 4, 6 e 6 mg/L respectivamente. Óleos e graxas não são comumente encontrados na natureza. Estes compostos são oriundos de despejos de resíduos domésticos e industriais, podendo ser encontrados também em locais com alto trânsito de embarcações.

### 5.1.1.11.2 - Ferro

No rio Madeira o ferro total apresentou média global de  $5124 \pm 5773 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP), com as concentrações médias dos períodos oscilando entre  $1310 \pm 202 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $17943 \pm 4208 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 (**Figura 5.1-204**). A média dessa fração descrita no EIA é de  $2000 \pm 1450 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP), valor um pouco abaixo dos valores atuais. Porém, essa diferença é devida principalmente ao pico encontrado na enchente do atual monitoramento que foi responsável por elevar a média global. A maneira como o pulso de inundação atinge o rio Madeira a cada ano pode variar, o que faz com que alguns períodos tenham picos maiores do que outros. Em relação à fração dissolvida, os valores médios dos períodos variaram entre  $80 \pm 20 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $990 \pm 416 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010, com média global de  $456 \pm 370 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para a superfície e  $422 \pm 274 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) para o fundo (**Figura 5.1-205**). 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).

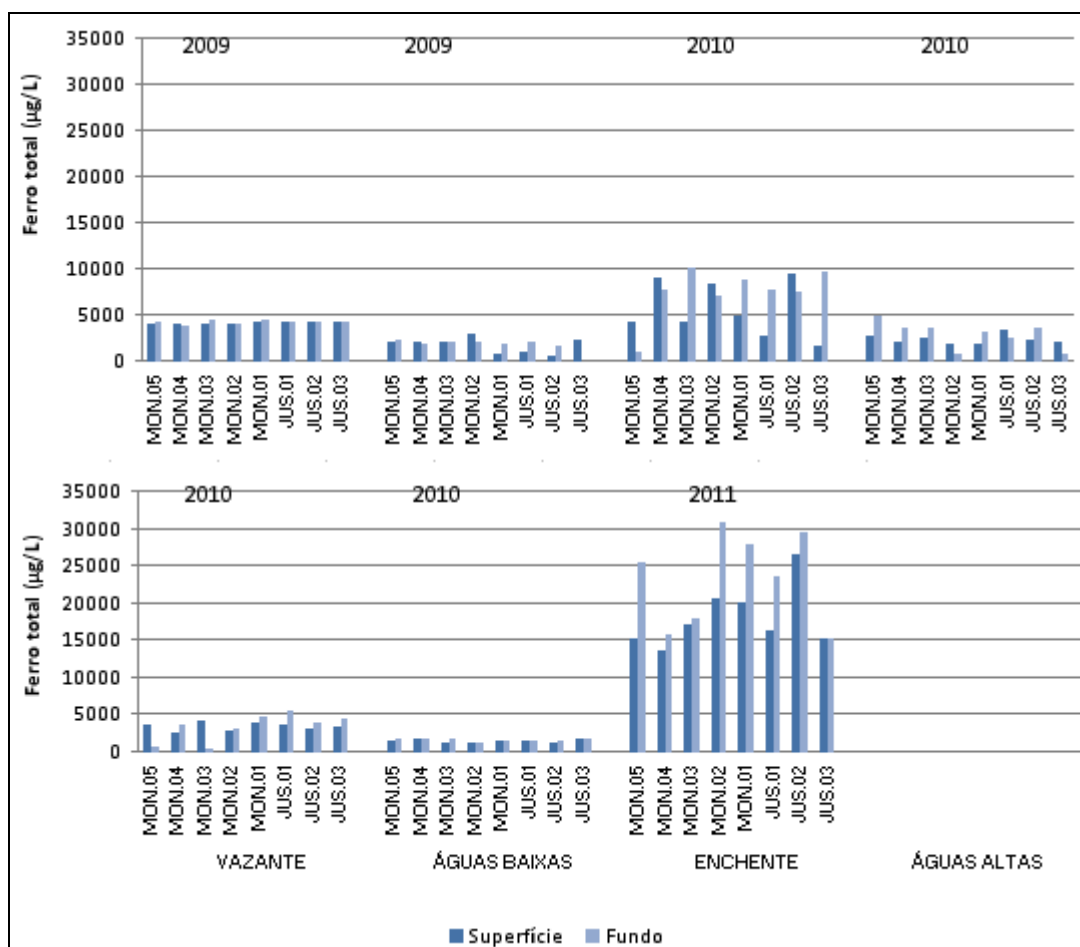


Figura 5.1-204 - Concentrações de ferro total no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

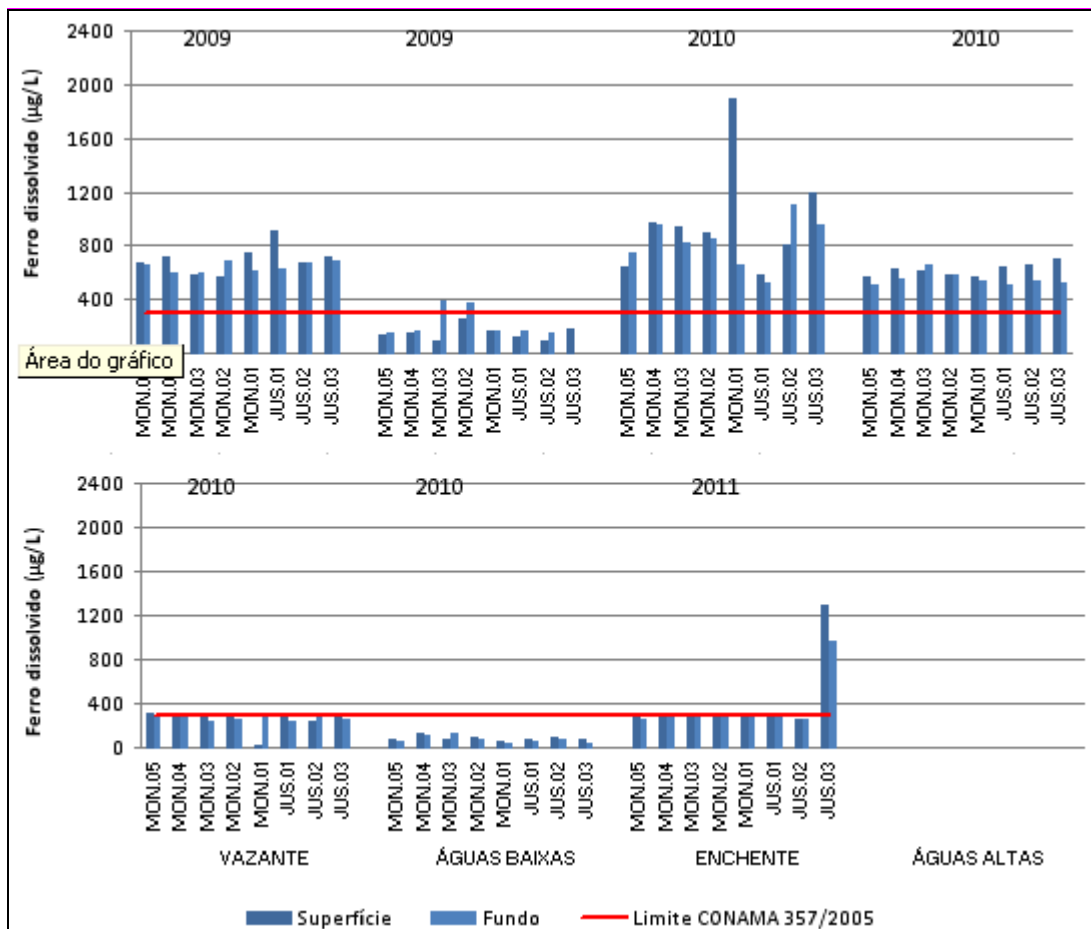


Figura 5.1-205 - Concentrações de ferro dissolvido no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

O ferro total foi mais baixo nos tributários, que tiveram média global de  $2489 \pm 4207 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP). As concentrações médias dessa fração variaram de  $744 \pm 395 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 a  $7299 \pm 9230 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010 (Figura 5.1-206). A estação CAR apresentou geralmente os valores mais baixos, ao passo que a estação BEL foi, normalmente, a responsável pelos maiores teores. A variação sazonal não foi alta, com exceção da enchente, que apresentou valores mais altos, mas, por outro lado, a variação espacial foi elevada. O ferro dissolvido apresentou valores constantes, com exceção da enchente, que apresentou valores mais altos. As concentrações médias oscilaram entre  $291 \pm 151 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010 e  $793 \pm 349 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010, com valor médio global de  $495 \pm 319 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-207).

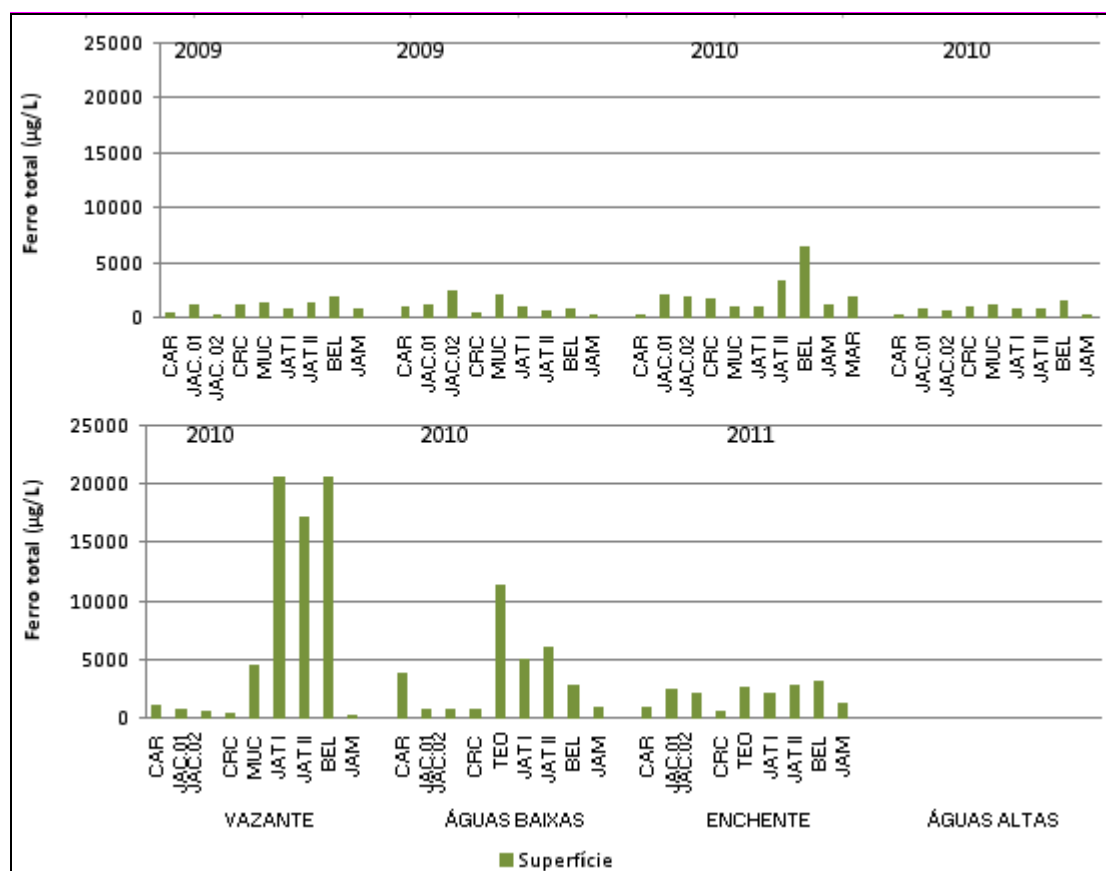


Figura 5.1-206 - Concentrações de ferro total nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

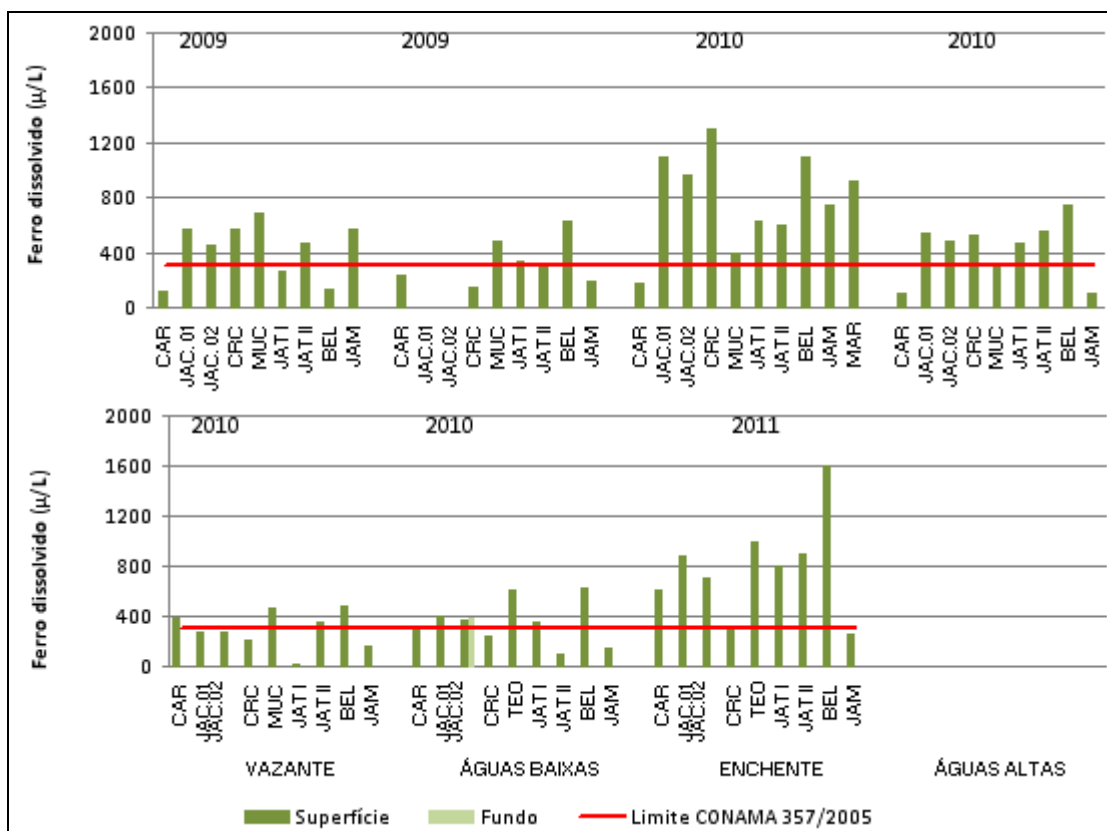


Figura 5.1-207 - Concentrações de ferro dissolvido nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos lagos e canais, as concentrações médias de ferro total variaram entre  $572 \pm 581 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 e  $3720 \pm 5034 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010, com média global de  $2169 \pm 2696 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-208). A variação espaço-temporal foi elevada, de modo que nenhum padrão de distribuição do ferro pode ser traçado. Em relação ao ferro dissolvido, a variação sazonal foi menor, apesar de a variação espacial ter sido considerável. As concentrações médias dos períodos oscilaram entre  $346 \pm 287 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 e  $825 \pm 1798 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010, com valor médio global de  $585 \pm 773 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-209).

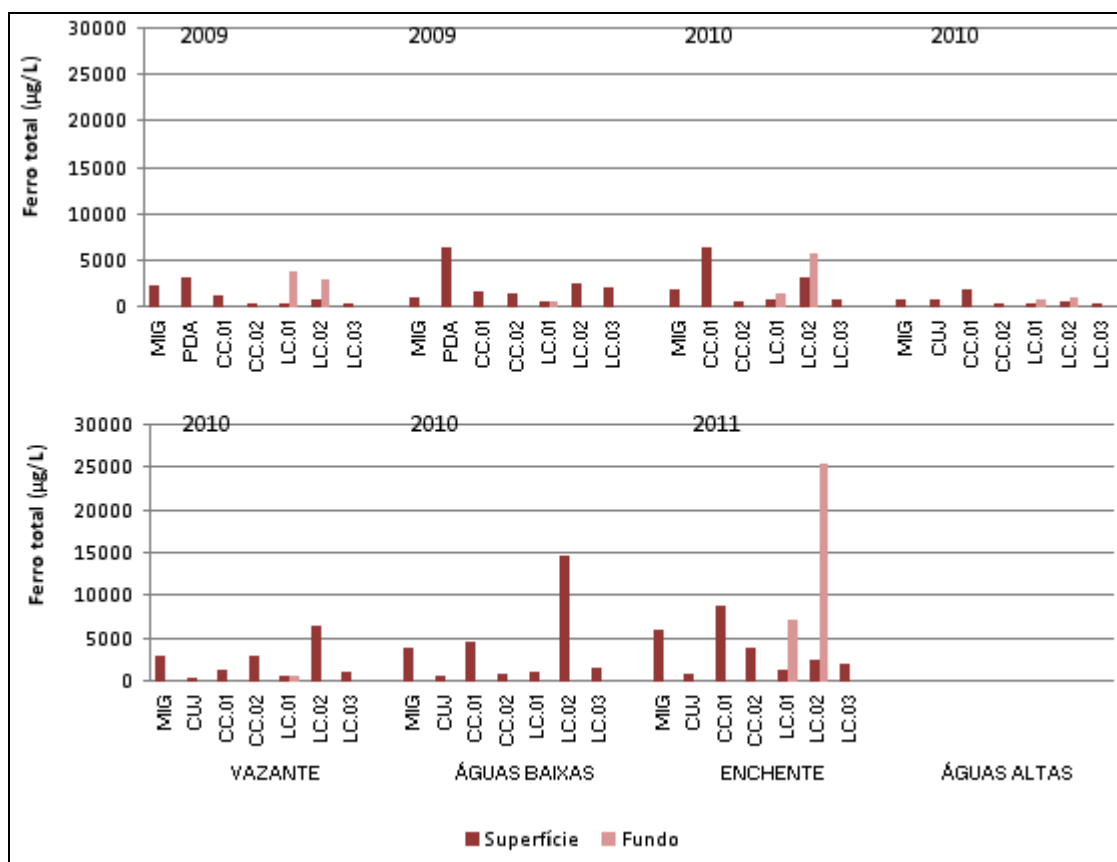


Figura 5.1-208 - Concentrações de ferro total nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

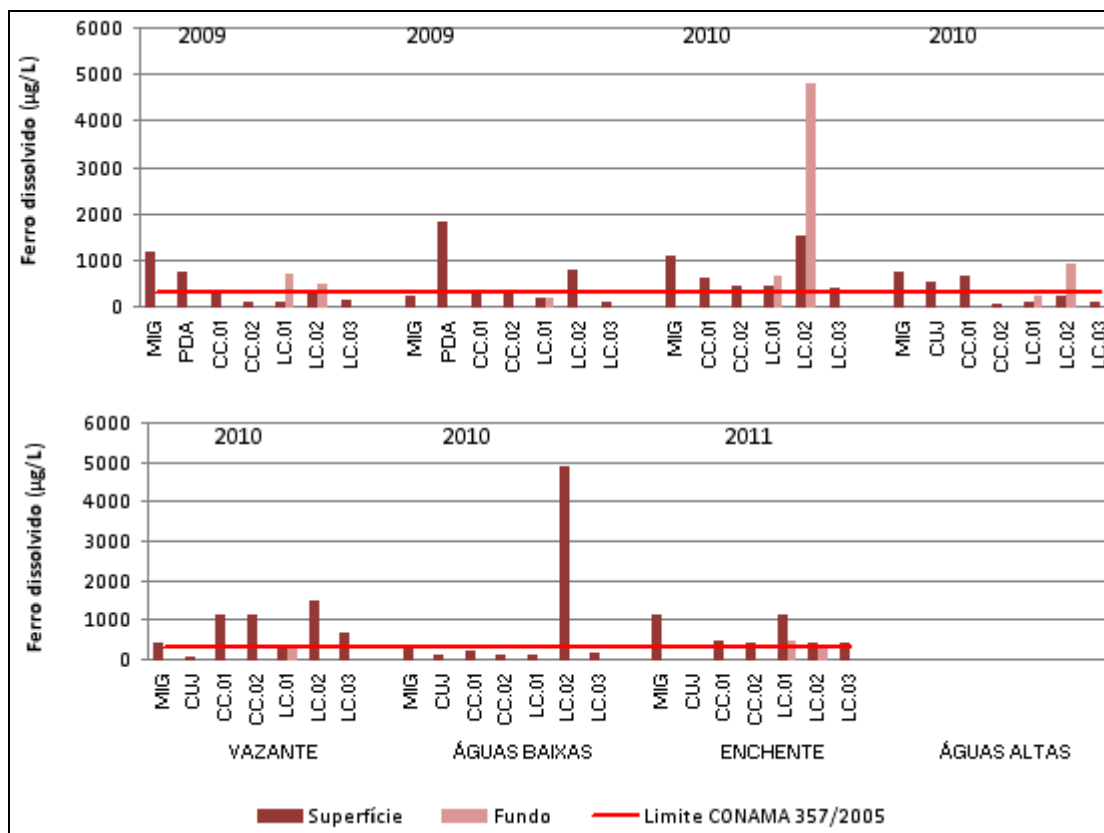


Figura 5.1-209 - Concentrações de ferro dissolvido nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Os valores de ferro dissolvido não foram compatíveis, em geral, ao limite de 300 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05. Somente nas águas baixas é que as concentrações foram inferiores a esse limite, com exceção das estações MON.03 e MON.02 fundo. Também nos tributários, lagos e canais, a maior parte dos valores de ferro dissolvido esteve acima do limite previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05. Contudo, trata-se de uma condição natural desses ambientes.

## 5.1.1.12 - Químicas VI

### 5.1.1.12.1 - 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, entretanto são tóxicos a uma vasta gama de organismos (Esteves, 1998). Apesar disso, mesmo os elementos-traço importantes para processos metabólicos podem ser tóxicos se encontrados em altas concentrações. Boa parte dos elementos-traço estiveram abaixo do limite de quantificação do método analítico e, para efeito de discussão, esses valores serão tomados como o valor medido. Na vazante de 2009 e nas águas baixas de 2009, a análise do teor de elementos-traço só foi realizada nas estações à jusante da futura barragem do empreendimento, ao passo que nas outras campanhas realizadas todas as estações foram amostradas. 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 global de  $1255 \pm 1373 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP), com as concentrações médias dos períodos oscilando entre  $401 \pm 56 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009 e  $2616 \pm 2808 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 (**Figura 5.1-210**). As concentrações de Al estiveram acima do limite de  $100 \mu\text{g/L}$  previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2. As concentrações médias de bário (Ba) variaram de  $5 \pm 1 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 a  $123 \pm 19 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010, com média global de  $57 \pm 45 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-211**). Todas as estações amostradas foram compatíveis com o Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2 nos quatro período estudados. O cobalto (Co) apresentou concentrações abaixo do limite de detecção na maior parte do período estudado ( $<0,1 \mu\text{g/L}$ ), com exceção das coletas de enchente de 2010 e 2011 onde foram registrados valores acima do limite de detecção (**Figura 5.1-212**). As concentrações de cromo (Cr) também estiveram abaixo do limite de detecção do método analítico na maior parte do período estudado. Concentrações deste metal foram detectadas em poucas estações, apenas na vazante de 2009, enchente de 2010, vazante de 2010, águas baixas de 2010 e enchente de 2011 (**Figura 5.1-213**). Todos os valores foram compatíveis com o Art. 15



da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2 que estabelece um limite de 50 µg/L tanto para o Co, como para o Cr. As concentrações de cobre (Cu) variaram de <0,1 µg/L na vazante de 2009 e águas baixas de 2009 a  $17 \pm 10$  µg/L (média ± DP) na vazante de 2010, com valor médio global de  $11 \pm 7$  µg/L (média ± DP) (Figura 5.1-214). Concentrações de cobre acima do limite de 9 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2 foram verificados na enchente, vazante e águas baixas de 2010 e enchente de 2011. As concentrações de níquel (Ni) foram detectáveis em algumas estações na enchente, vazante e águas baixas de 2010 e enchente de 2011, para estes períodos a média foi de  $4,9 \pm 4,9$  µg/L (média ± DP) (Figura 5.1-215). O mesmo aconteceu com os valores de chumbo (Pb), que teve concentração média de  $4 \pm 5$  µg/L (média ± DP) para os períodos onde a concentração esteve acima do limite de detecção (Figura 5.1-216). Todos os valores de Ni foram compatíveis com o Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2. Já em relação ao chumbo, as estações JUS.01 (fundo - vazante de 2010) e MON.02 (fundo - enchente de 2011) não foram compatíveis com o limite estabelecido no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2. As concentrações médias de silício (Si) oscilaram entre  $4001 \pm 167$  µg/L (média ± DP) nas águas baixas de 2010 e  $7920 \pm 1386$  µg/L (média ± DP) na vazante de 2009, com média global de  $5030 \pm 2122$  µg/L (média ± DP) (Figura 5.1-217). O zinco (Zn) apresentou média global de  $40 \pm 34$  µg/L (média ± DP), com os valores médios oscilando entre  $14 \pm 7$  µg/L (média ± DP) nas águas baixas de 2010 e  $84 \pm 39$  µg/L (média ± DP) na enchente de 2010 (Figura 5.1-218). Todos os valores foram compatíveis com o limite de 180 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2. As concentrações médias de manganês (Mn) oscilaram entre  $7,9 \pm 3,7$  µg/L (média ± DP) nas águas baixas de 2009 e  $271 \pm 81$  µg/L (média ± DP) na enchente de 2010, com média global de  $124 \pm 110$  µg/L (média ± DP) (Figura 5.1-219). A maior parte dos valores de Manganês não foram compatíveis com o limite de 100 µg/L previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2. As concentrações de Estanho foram detectáveis em algumas estações nas águas altas e vazante de 2010 e na enchente de 2011 (Figura 5.1-220). O cádmio e o mercúrio tiveram concentrações abaixo do limite de detecção do método analítico em todos os períodos estudados. Apesar da maioria dos resultados estarem dentro do limite permitido, as concentrações obtidas sugeriram que os elementos-traço no rio Madeira sofrem tanto influência antrópica como da bacia de drenagem. Em alguns casos, houve variabilidade espacial, de modo que as mais altas concentrações foram encontradas, geralmente, na estação JUS.02, primeira estação à jusante da cidade de Porto Velho.

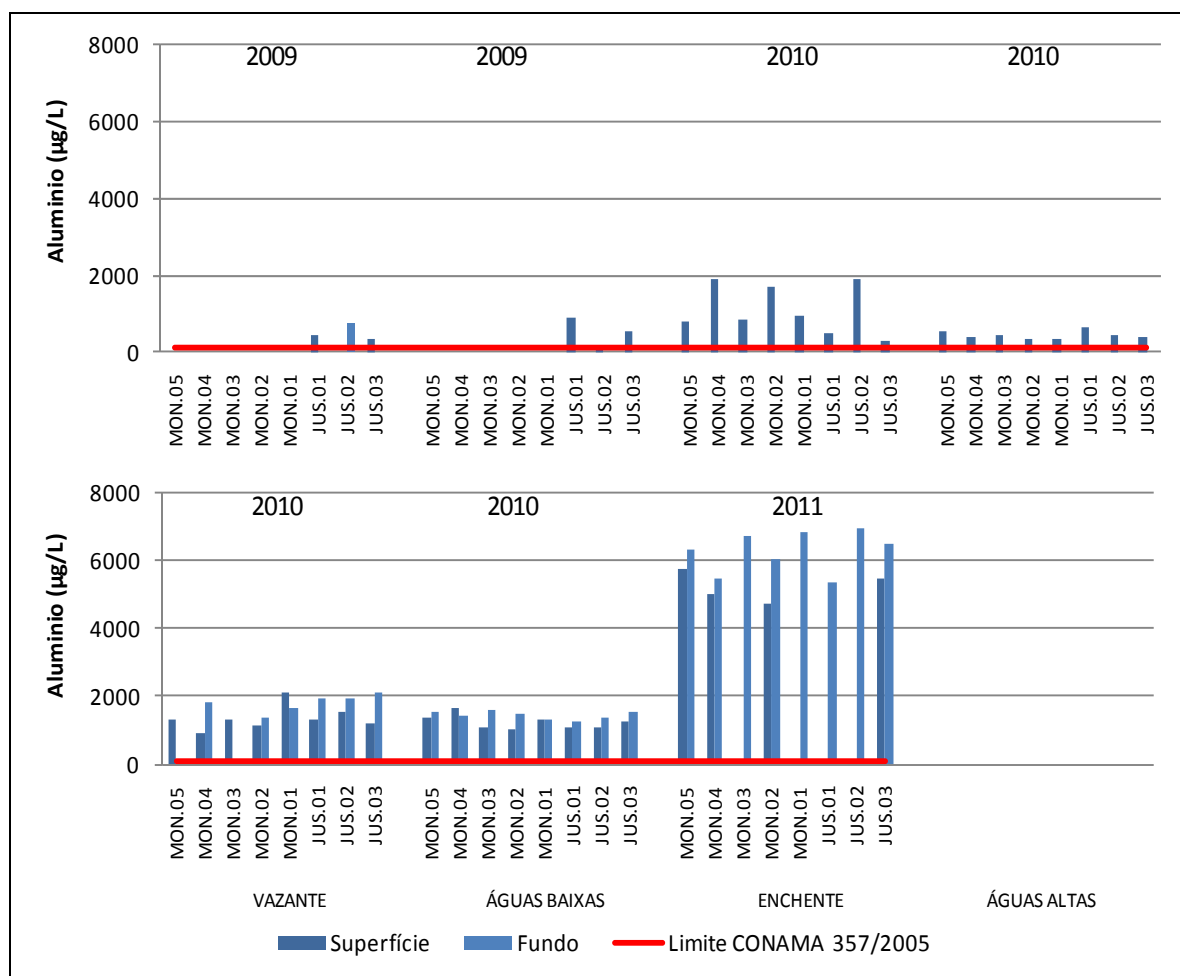


Figura 5.1-210 - Concentrações de alumínio (Al) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

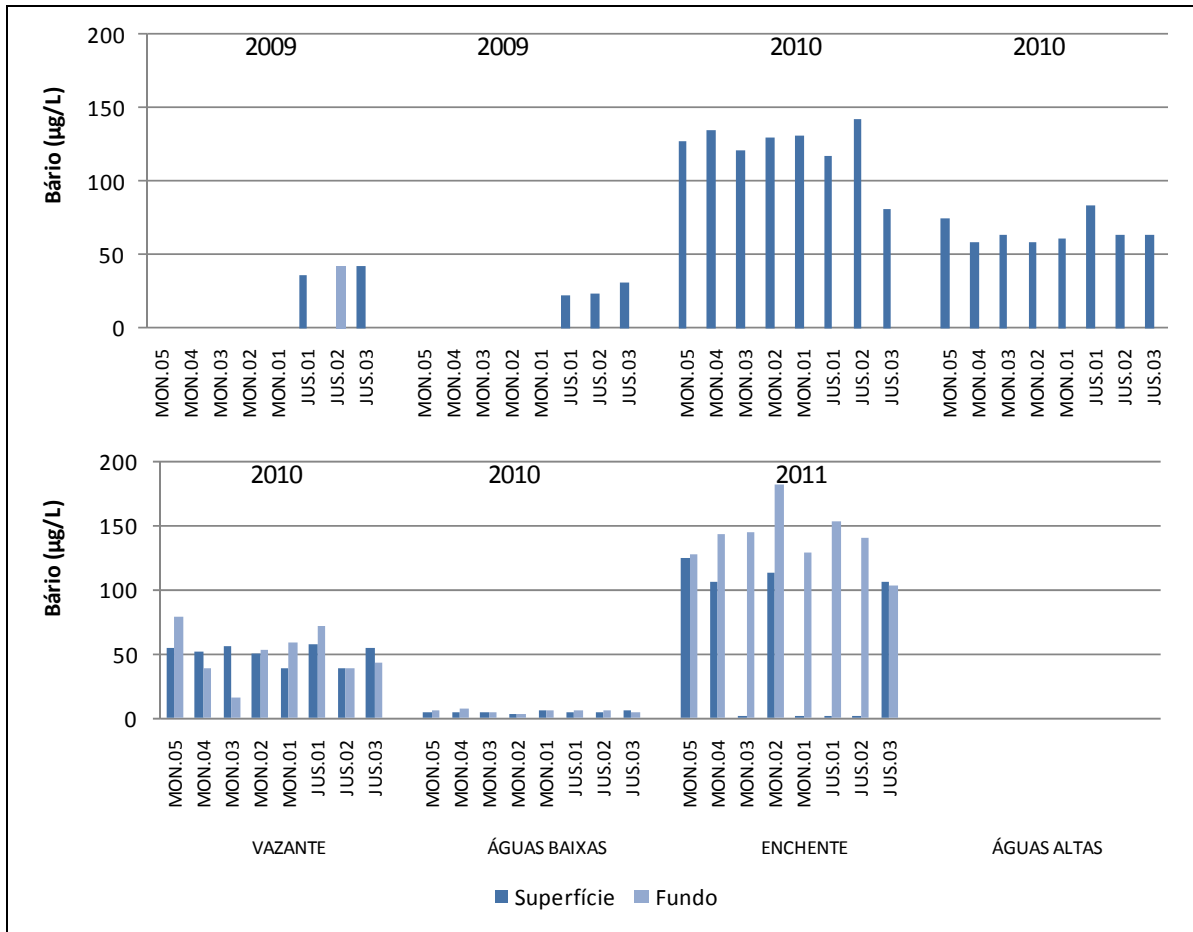


Figura 5.1-211 - Concentrações de bários (Ba) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

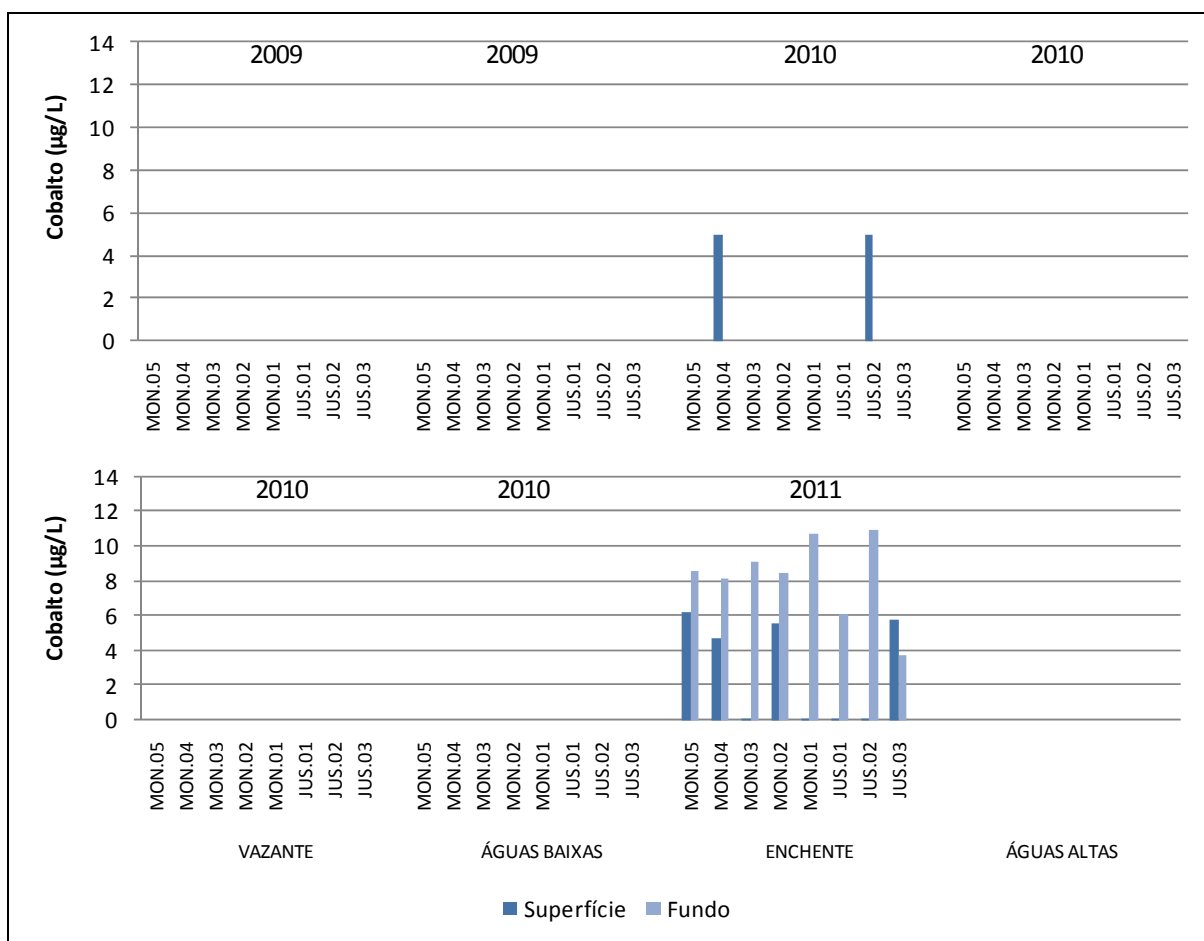


Figura 5.1-212 - Concentrações de cobalto (Co) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

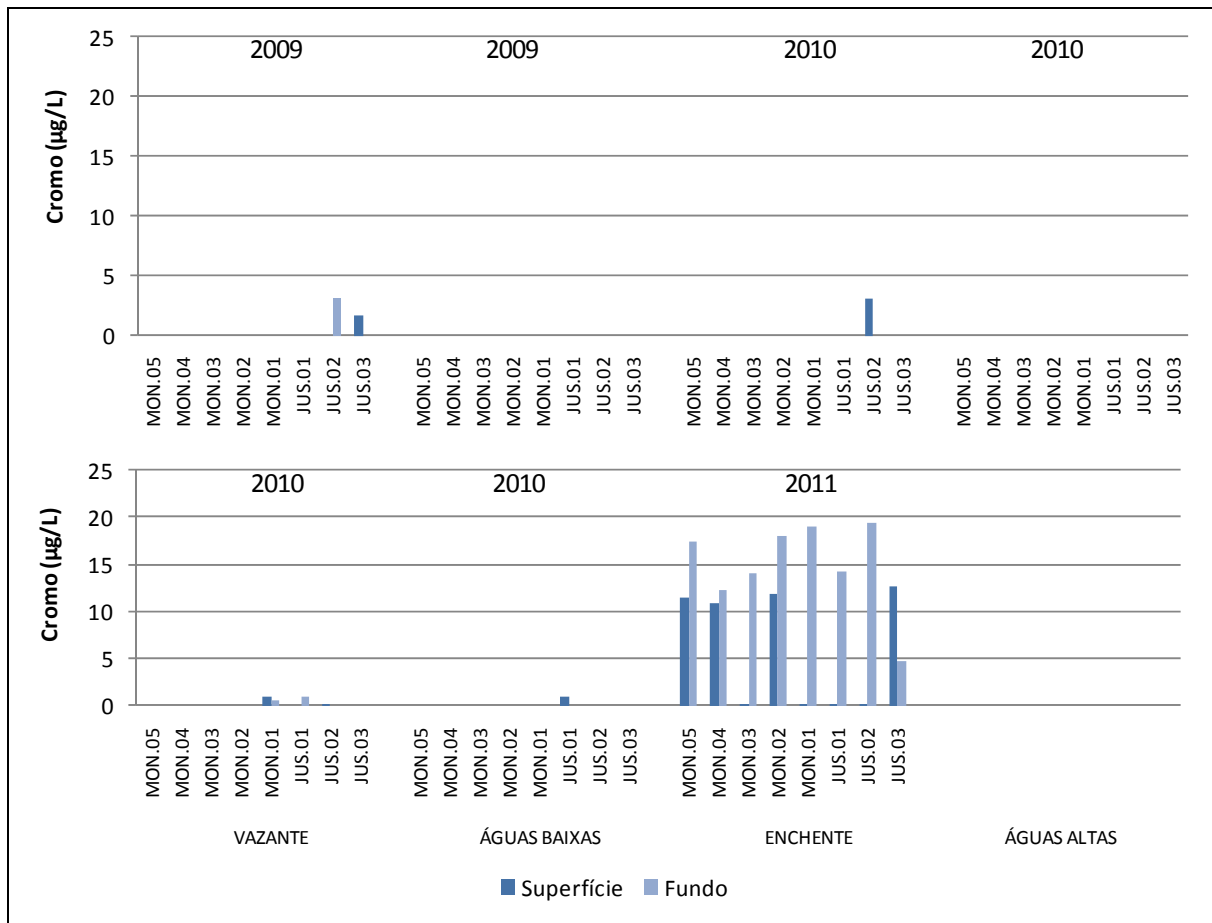


Figura 5.1-213 - Concentrações de cromo (Cr) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

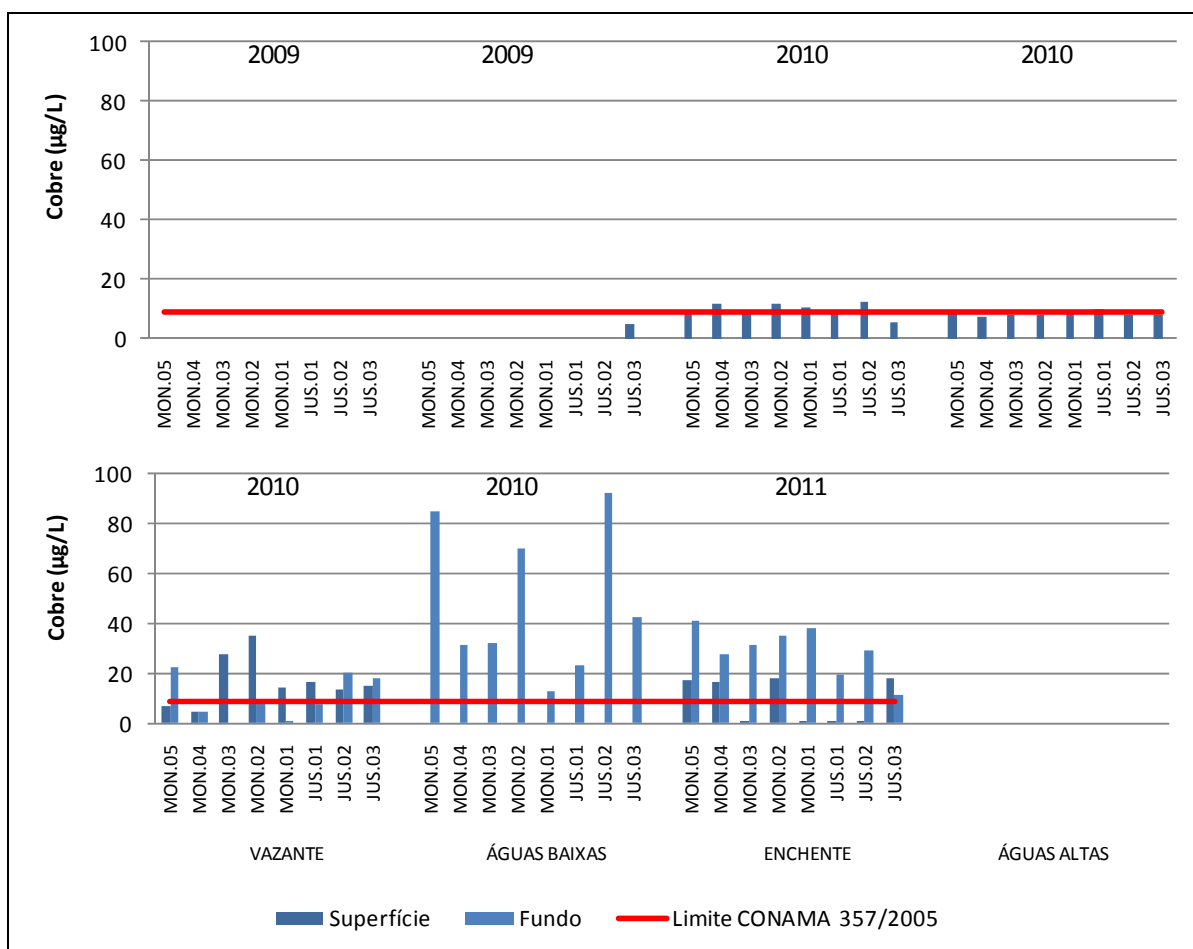


Figura 5.1-214 - Concentrações de cobre (Cu) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

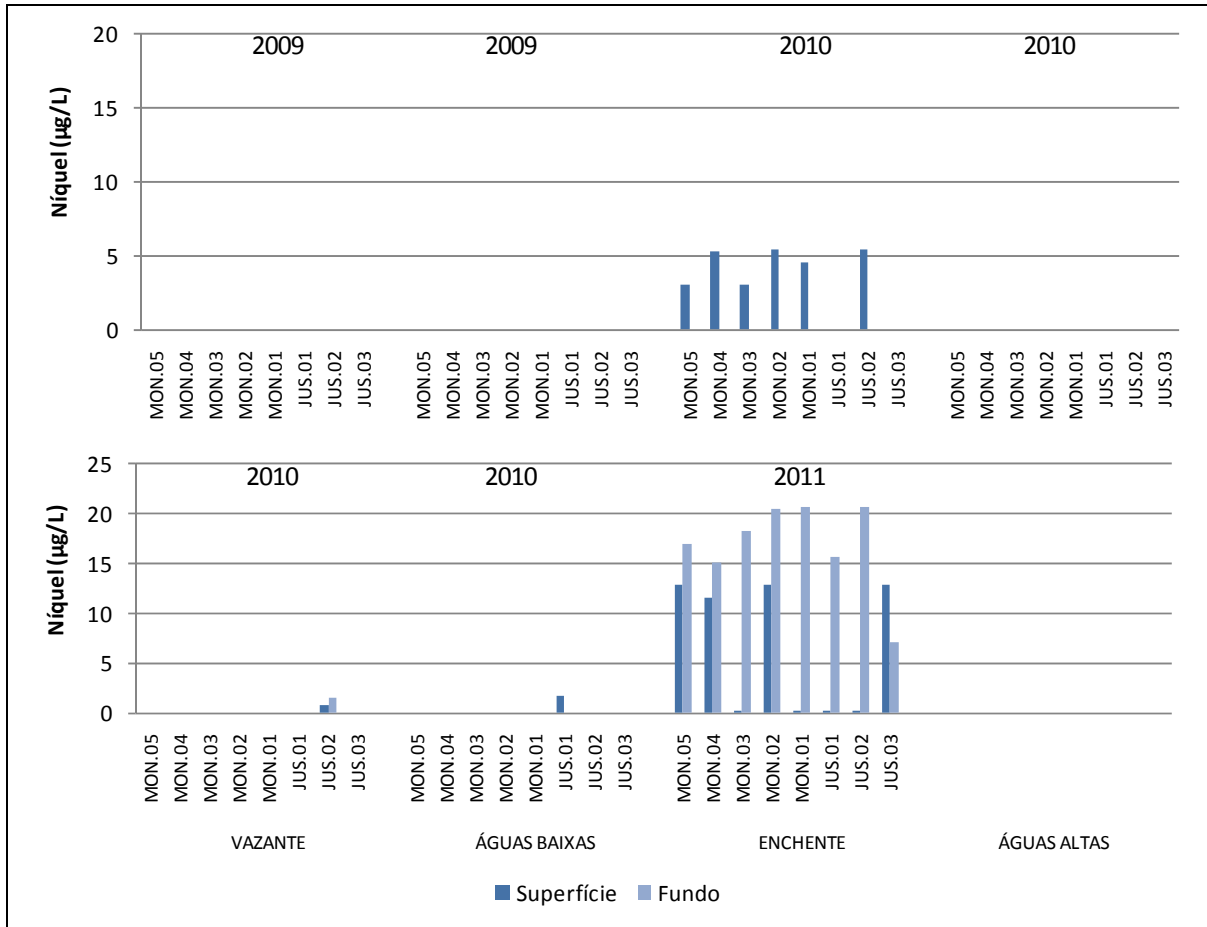


Figura 5.1-215 - Concentrações de níquel (Ni) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

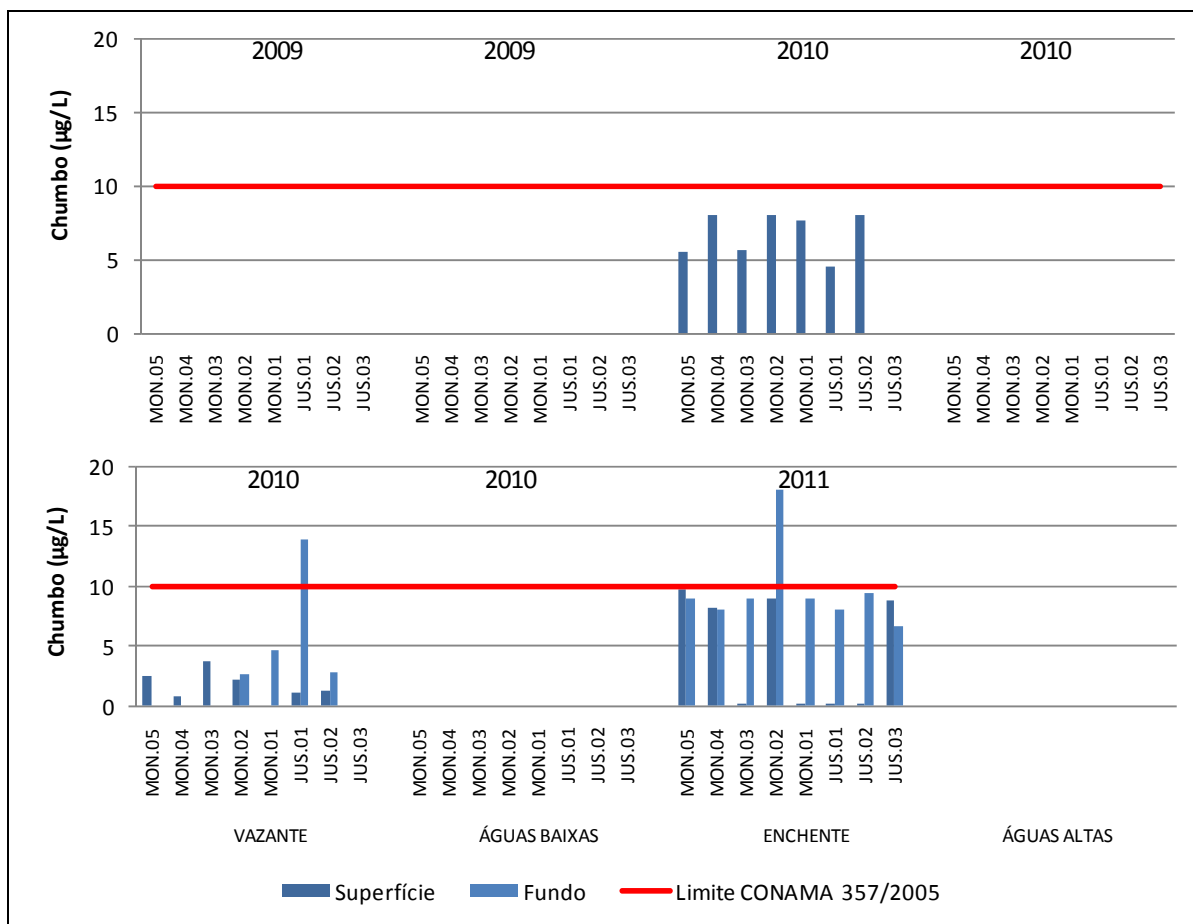


Figura 5.1-216 - Concentrações de chumbo (Pb) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



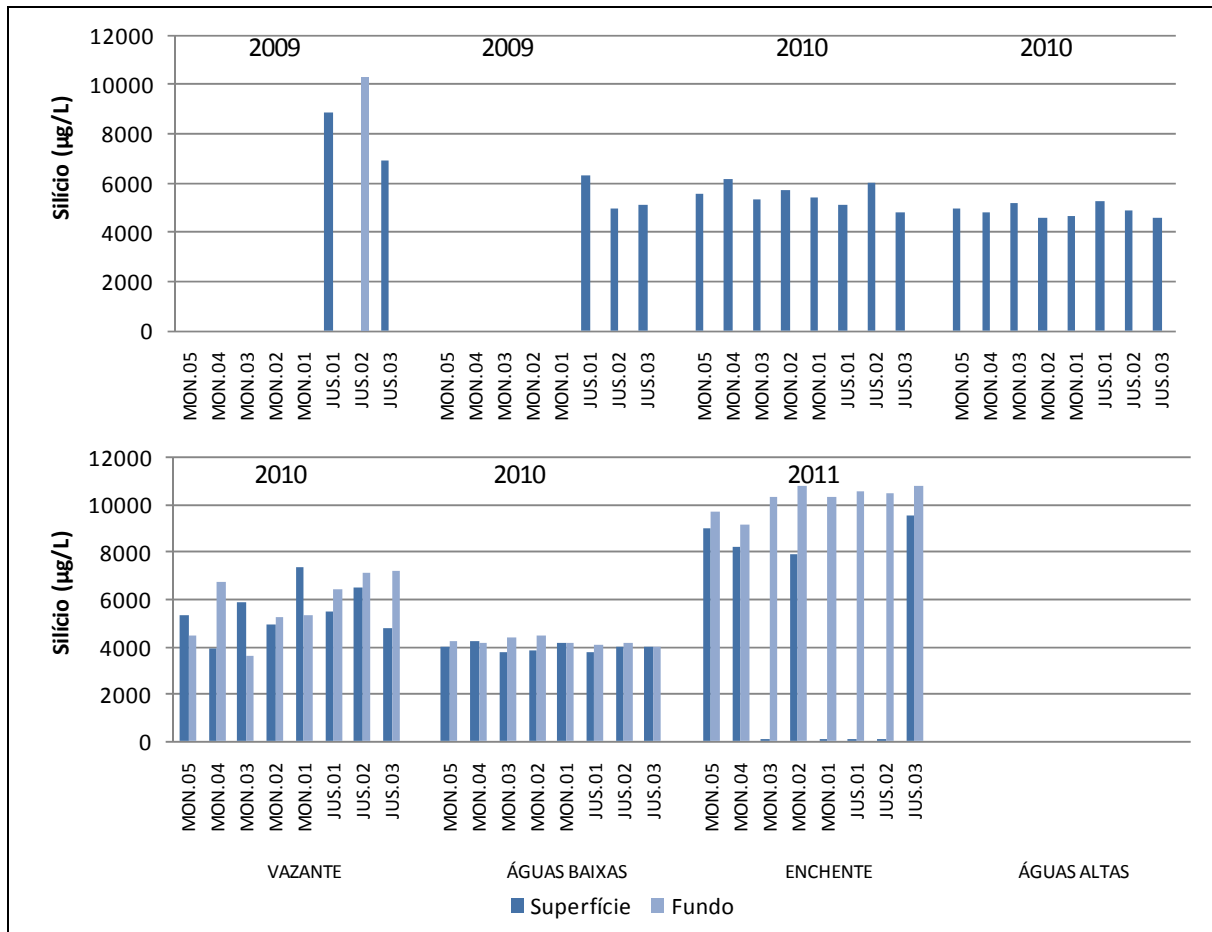


Figura 5.1-217 - Concentrações de silício (Si) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

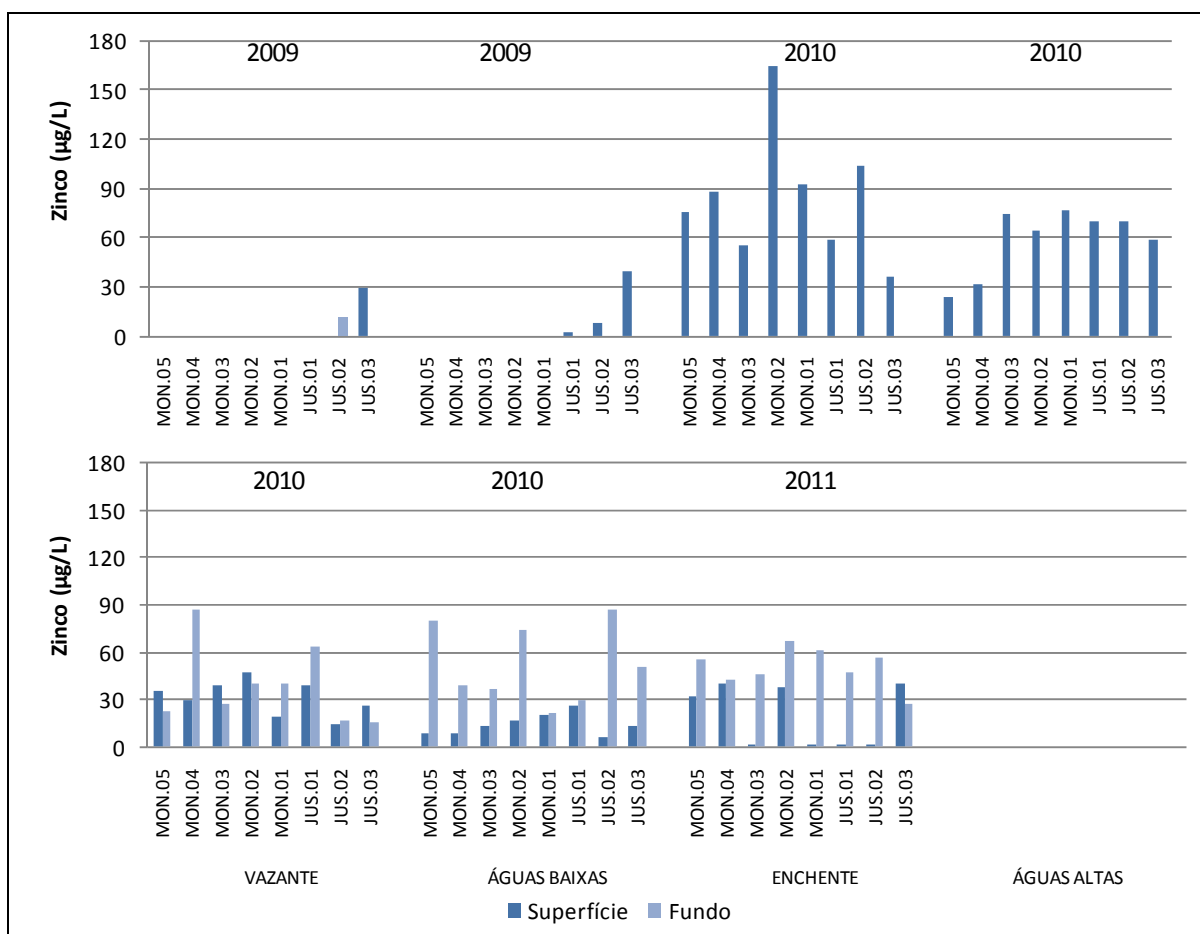


Figura 5.1-218 - Concentrações de zinco (Zn) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

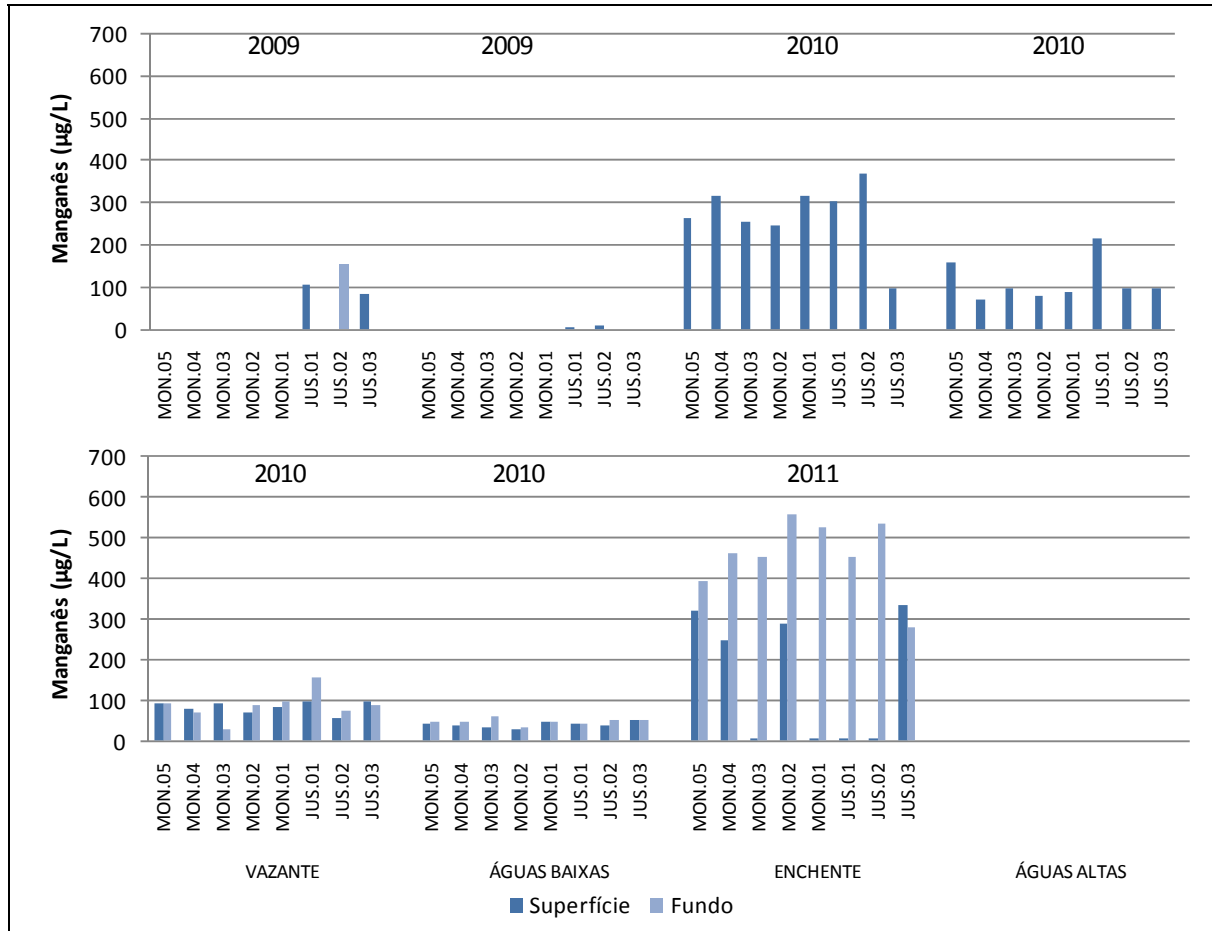


Figura 5.1-219 - Concentrações de manganês (Mn) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

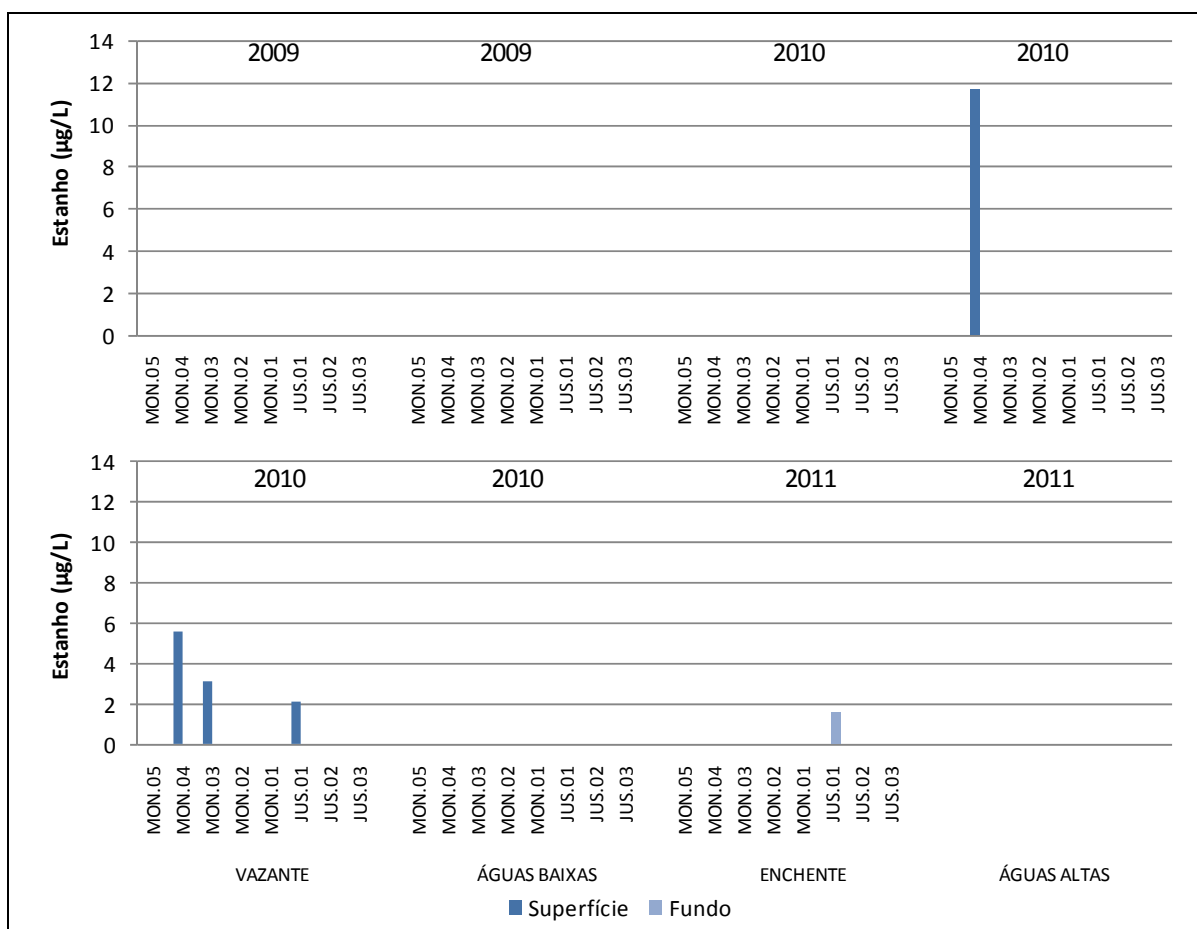


Figura 5.1-220 - Concentrações de estanho no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

As concentrações de alumínio (Al) nos rios tributários oscilaram entre  $70 \pm 27 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 e  $2785 \pm 3587 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010, com média global de  $940 \pm 2055 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-221). Já o bário (Ba) variou entre  $6 \pm 4 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $48 \pm 51 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010, com média global de  $22 \pm 30 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-222). As concentrações de cromo (Cr) estiveram abaixo do limite de detecção do método analítico na maior parte do período de estudo, com exceção da estação BEL nas águas baixas de 2009, que apresentou concentração de  $5,1 \mu\text{g/L}$ , e as estações JAT I, JAT II e BEL na vazante de 2010 ( $8,6$ ;  $8,7$  e  $8 \mu\text{g/L}$ , respectivamente) (Figura 5.1-223). O cobre (Cu) também apresentou a maior parte das concentrações abaixo do limite de detecção na vazante e águas baixas de 2009. Para os outros períodos a média global foi de  $7 \pm 8 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-224). Já o níquel (Ni) só apresentou concentração detectável na

estação BEL (4 µg/L) na enchente de 2010, nas estações MUC, JAT I, JAT II e BEL nas águas baixas de 2010 e TEO, JAT I e JAT II nas águas baixas de 2010 (Figura 5.1-225). O chumbo (Pb) apresentou concentrações detectáveis na enchente de 2010 e 2011 e na vazante de 2010 (Figura 5.1-226). As concentrações de silício (Si) oscilaram entre  $1064 \pm 1605$  µg/L (média ± DP) na enchente de 2011 e  $7567 \pm 756$  µg/L (média ± DP) na vazante de 2009, com média global de  $4294 \pm 2973$  µg/L (média ± DP) (Figura 5.1-227). O zinco (Zn) apresentou valor médio global de  $37 \pm 30$  µg/L (média ± DP), com as concentrações médias dos períodos oscilando entre  $7 \pm 7$  µg/L (média ± DP) na enchente de 2011 e  $65 \pm 24$  µg/L (média ± DP) na enchente de 2010. O manganês não foi amostrado no período de águas baixas. A média global para os outros períodos amostrados foi de  $68 \pm 120$  µg/L (média ± DP), com os valores médios oscilando entre  $18 \pm 23$  µg/L (média ± DP) na enchente de 2011 e  $188 \pm 238$  µg/L (média ± DP) na vazante de 2010 (Figura 5.1-228). As concentrações do cobalto também foram maiores que o limite de detecção do método apenas nas estações JAT I (8,1 µg/L), JAT II (6,9 µg/L) e BEL (8,3 µg/L) na vazante de 2010 (Figura 5.1-229). Já as concentrações de estanho estiveram sempre abaixo do limite de quantificação do método analítico empregado, a única exceção foi a estação CAR nas águas baixas de 2010 que apresentou 3,5 µg/L de estanho. As concentrações de cádmio e mercúrio estiveram abaixo do limite de detecção do método analítico em todos os períodos amostrados. A maior parte das estações não foram compatíveis com os limites do Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2. Os valores superiores aos limites ocorreram geralmente na enchente de 2010 e 2011, mais especificamente, nas estações BEL, JAT I e JAT II. Essas estações sofreram forte influência do pulso de inundação do rio Madeira, rico em elementos-traço, nesse período.

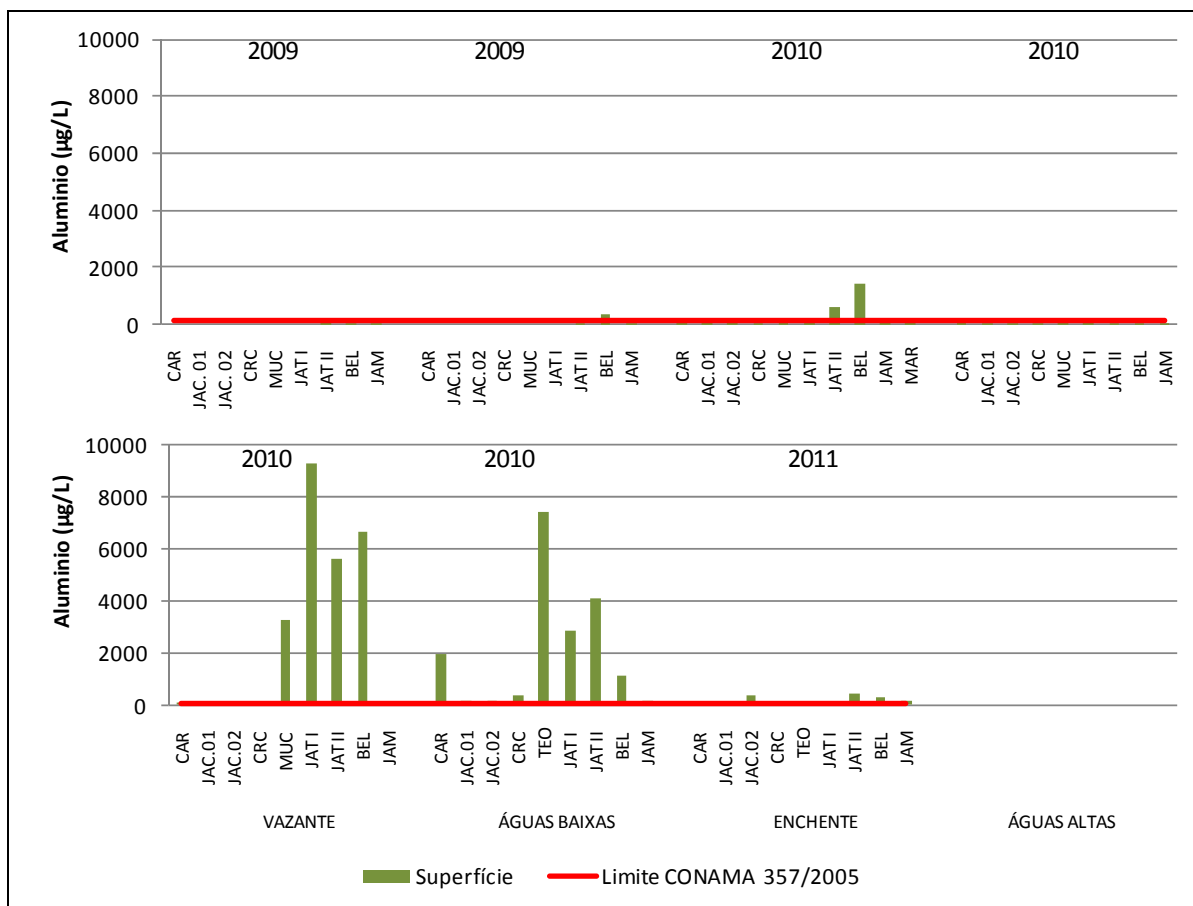


Figura 5.1-221 - Concentrações de alumínio (Al) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

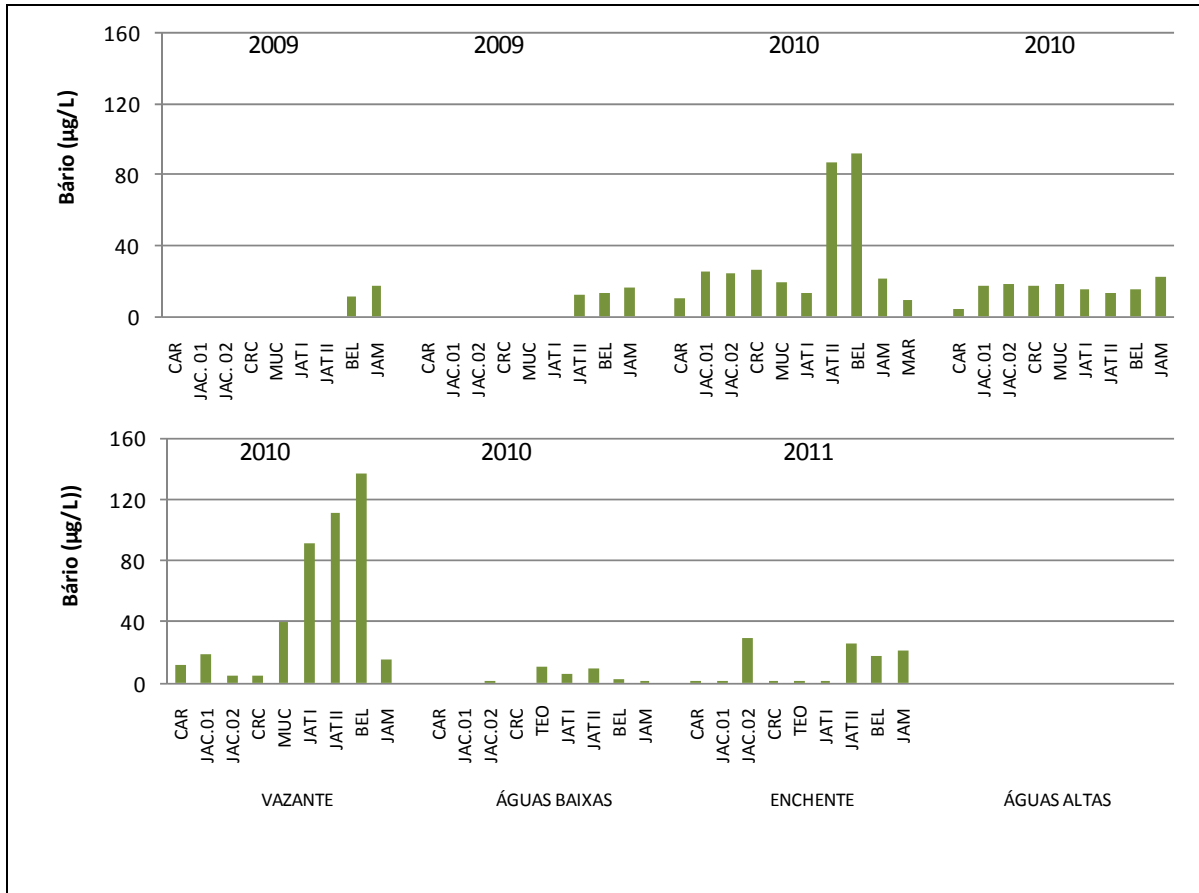


Figura 5.1-222 - Concentrações de bários (Ba) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

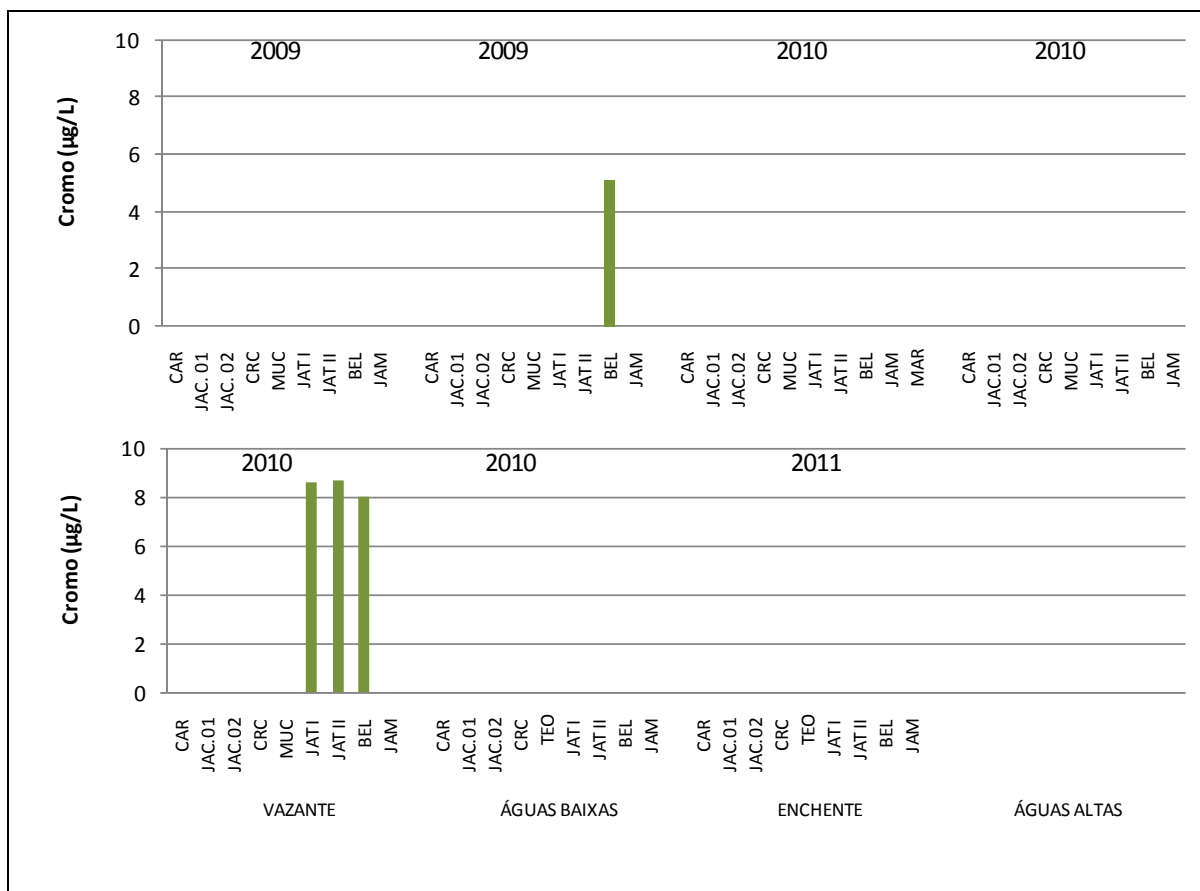


Figura 5.1-223 - Concentrações de cromo (Cr) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



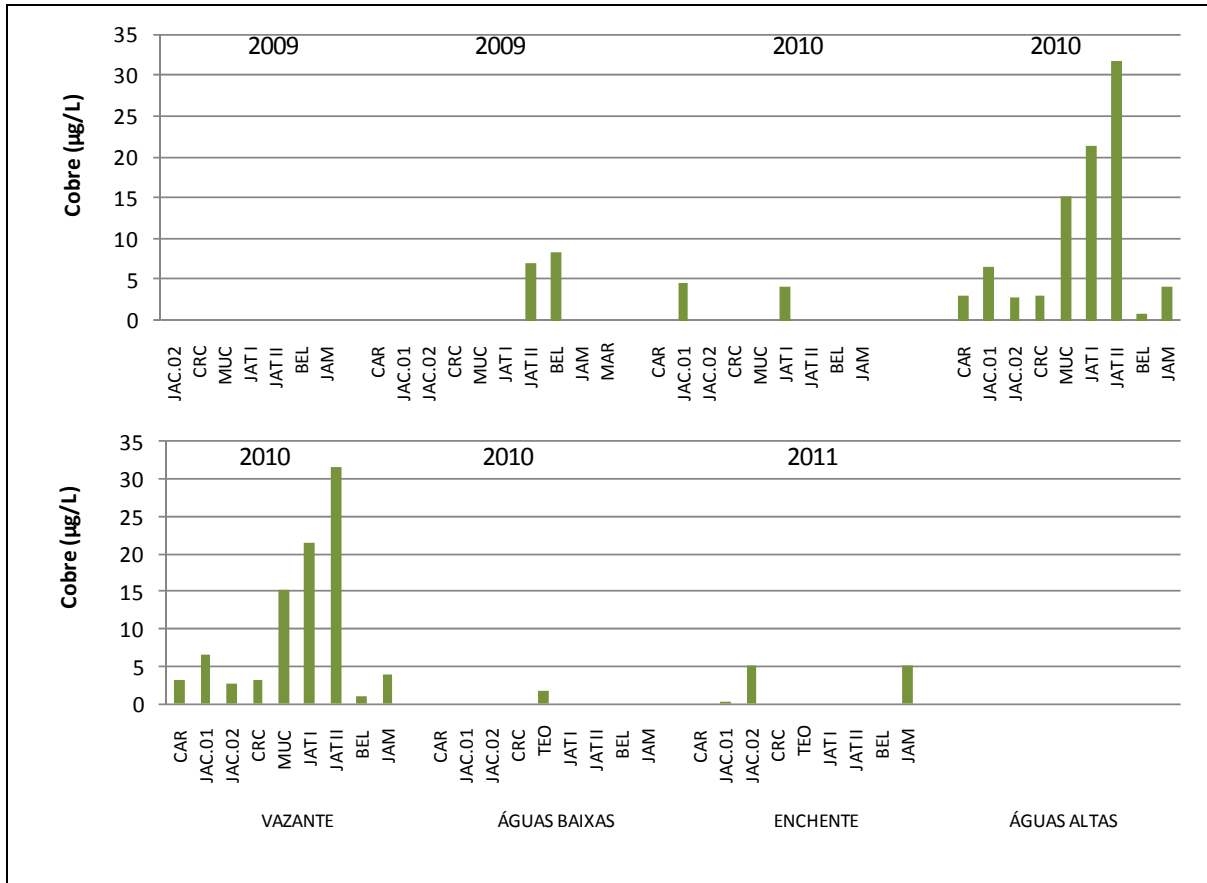


Figura 5.1-224 - Concentrações de cobre (Cu) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

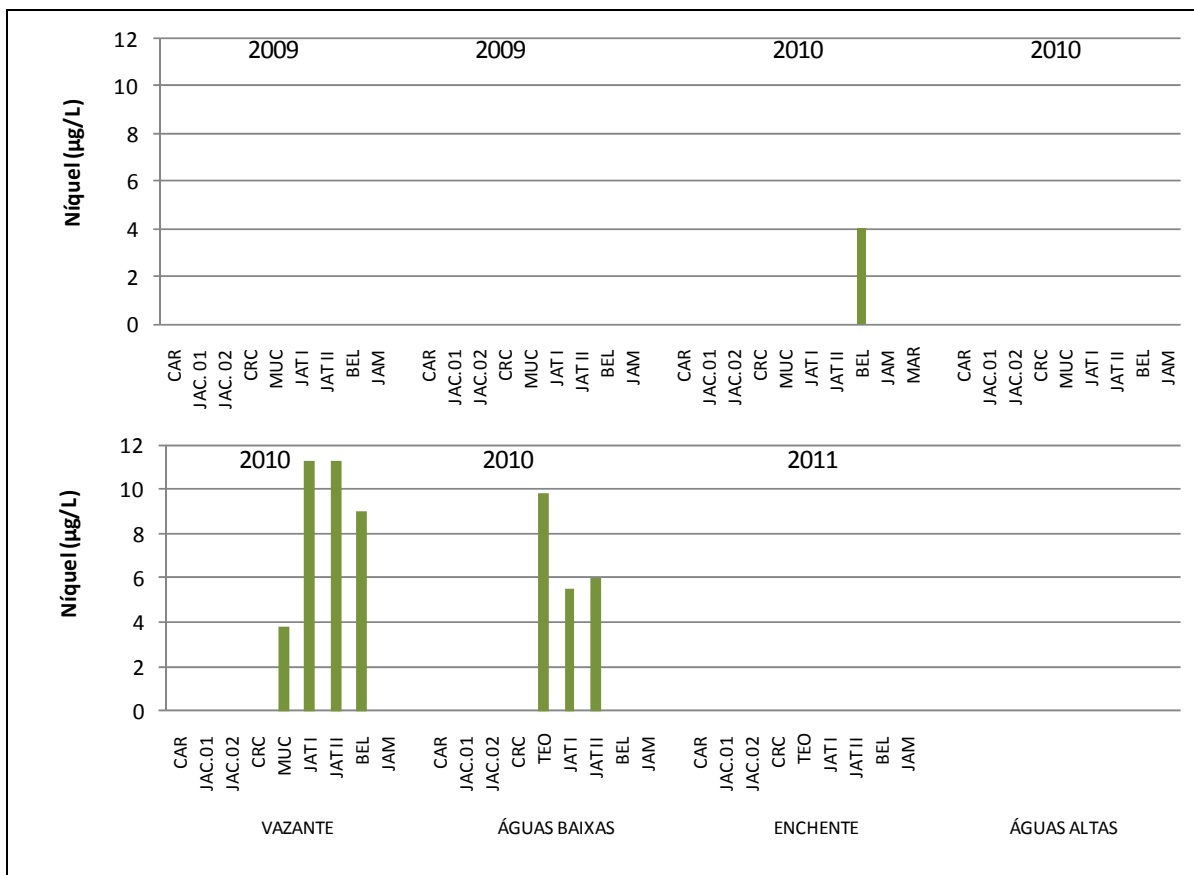


Figura 5.1-225 - Concentrações de níquel (Ni) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

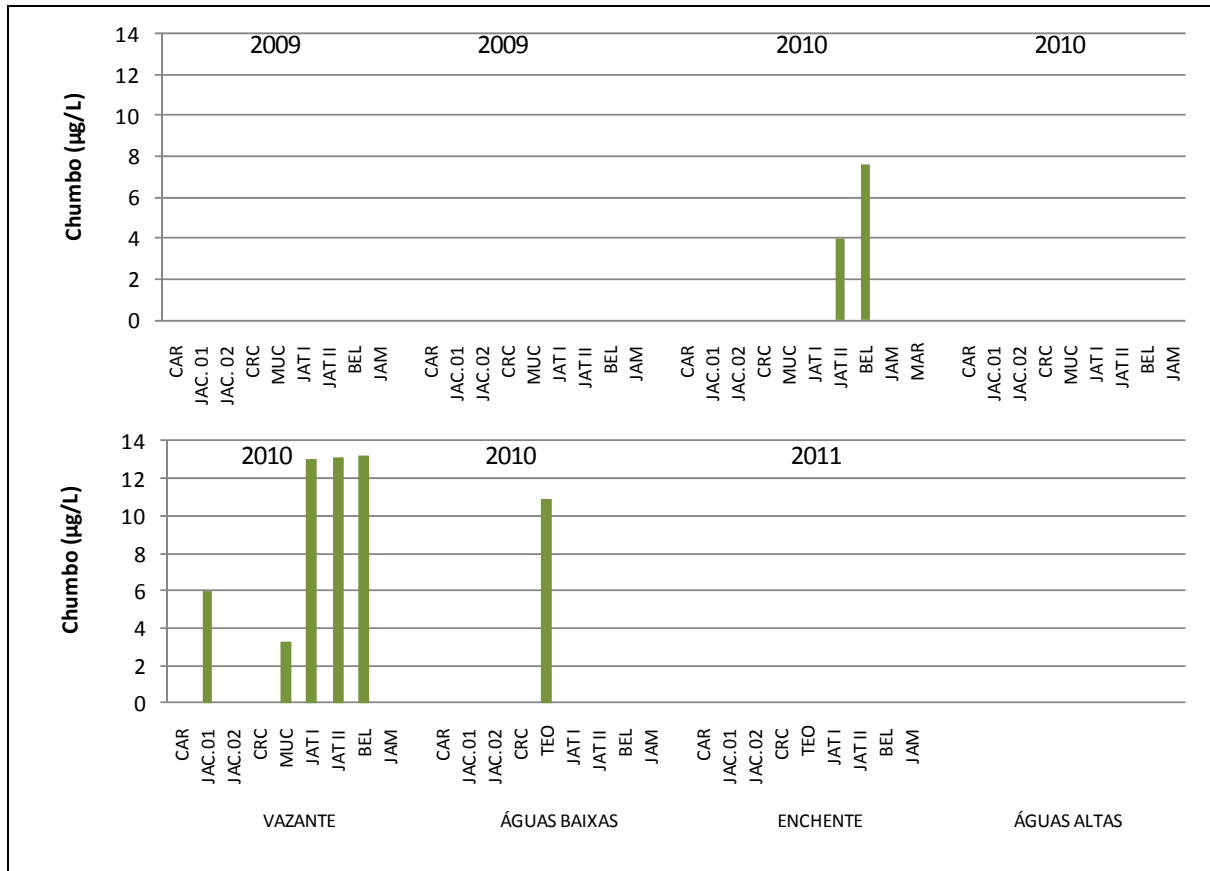


Figura 5.1-226 - Concentrações de chumbo (Pb) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

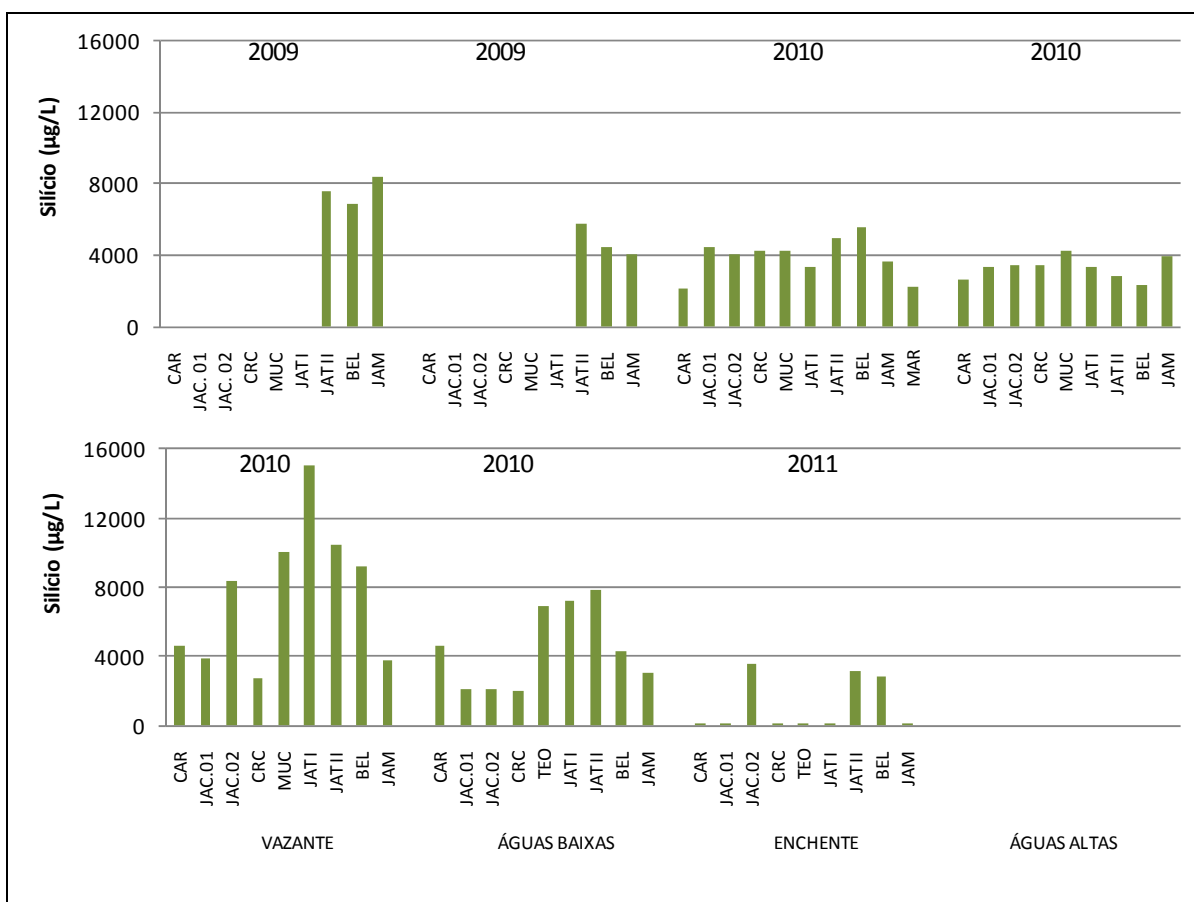


Figura 5.1-227 - Concentrações de silício (Si) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

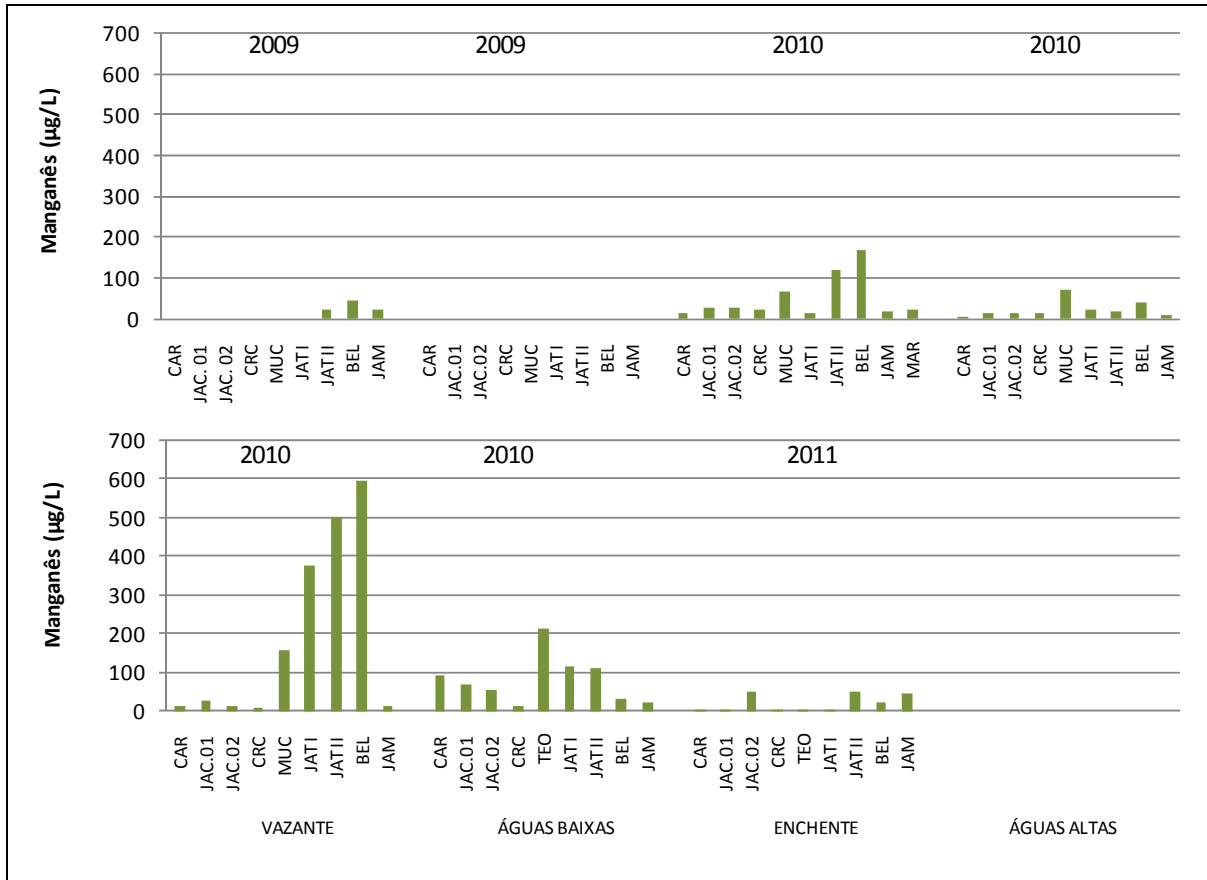


Figura 5.1-228 - Concentrações de manganês (Mn) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

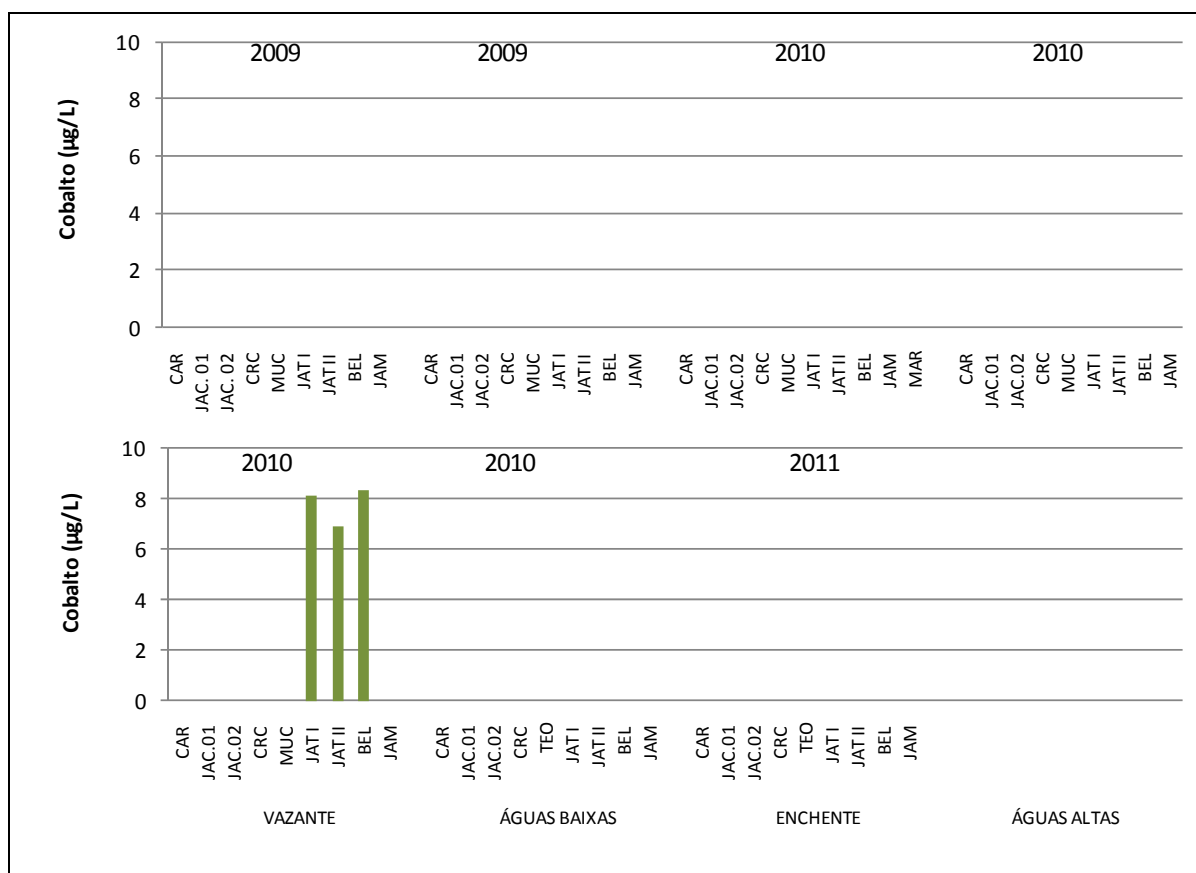


Figura 5.1-229 - Concentrações de cobalto nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

As concentrações médias de alumínio (Al) nos lagos e canais oscilaram entre  $45 \pm 20 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 e  $1253 \pm 1019 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010, com média global de  $442 \pm 678 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-230). Apesar da grande diferença entre as águas altas de 2009 e as águas baixas de 2010, os valores foram relativamente constantes. A concentração de  $6330 \mu\text{g/L}$  de Al no fundo da estação LC.02 no período de enchente de 2011 foi o fator responsável pela elevação da média. O bário (Ba) também apresentou valores relativamente constantes. As concentrações médias variaram entre  $6 \pm 5 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $40 \pm 28 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011, com média global de  $23 \pm 20 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-231). A estação CC.01, situada no canal de acesso ao lago Cuniã, foi fortemente influenciada pelo pulso de inundação do rio Madeira nos períodos de enchente, tendo apresentado características físico-químicas semelhantes a este. O cobre (Cu) e o chumbo (Pb) apresentaram geralmente concentrações abaixo do limite de detecção do método analítico. O Cu apresentou valores detectáveis apenas em algumas estações durante as águas

baixas de 2009, enchente, águas altas e vazante de 2010 e na enchente de 2011 (Figura 5.1-234), ao passo que somente na enchente de 2010 e 2011 e na vazante de 2010 foi possível detectar chumbo nas estações amostradas (Figura 5.1-233). O silício (Si) apresentou média global de  $5419 \pm 2192 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP), com os valores médios dos períodos oscilando entre  $3426 \pm 532 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 e  $7535 \pm 1973 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009 (Figura 5.1-235). Em relação ao zinco (Zn), os valores médios oscilaram entre  $16 \pm 8 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 e  $89 \pm 16 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010, com média global de  $42 \pm 35 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-236). O manganês (Mn) não foi amostrado nas águas baixas. Nos períodos em que foi amostrado, as concentrações oscilaram entre  $41 \pm 40 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 e  $90 \pm 89 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na vazante de 2009, com média global de  $63 \pm 51 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-237). As concentrações de cádmio, cobalto, cromo, mercúrio e níquel não foram detectáveis em nenhum período amostrado. Tanto nos lagos e canais, assim como no rio Madeira e nos rios tributários, os menores teores de elementos-traço foram encontrados, geralmente, nas águas baixas e os maiores na enchente. Os lagos e canais apresentaram valores compatíveis, na maior parte do período, com os limites do Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de classe 2.

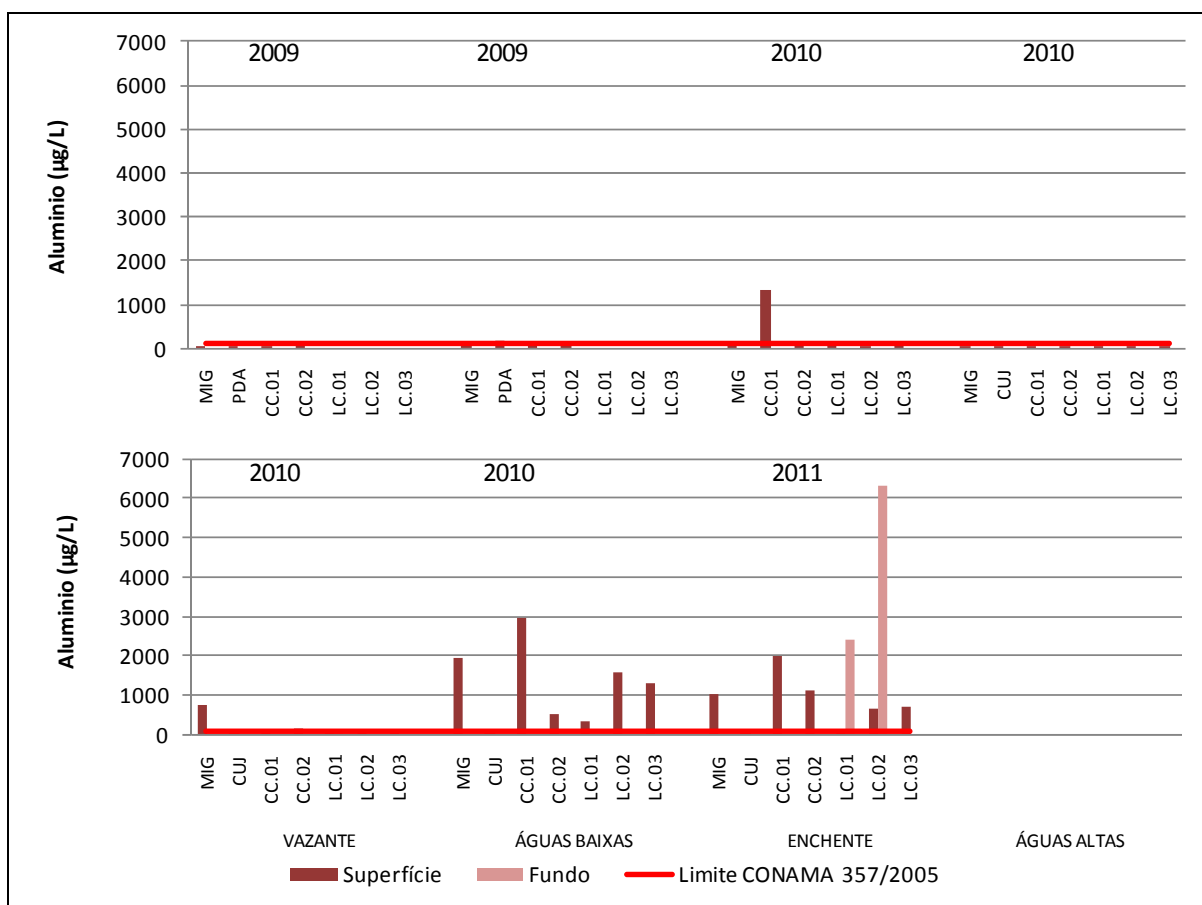


Figura 5.1-230 - Concentrações de alumínio (Al) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.



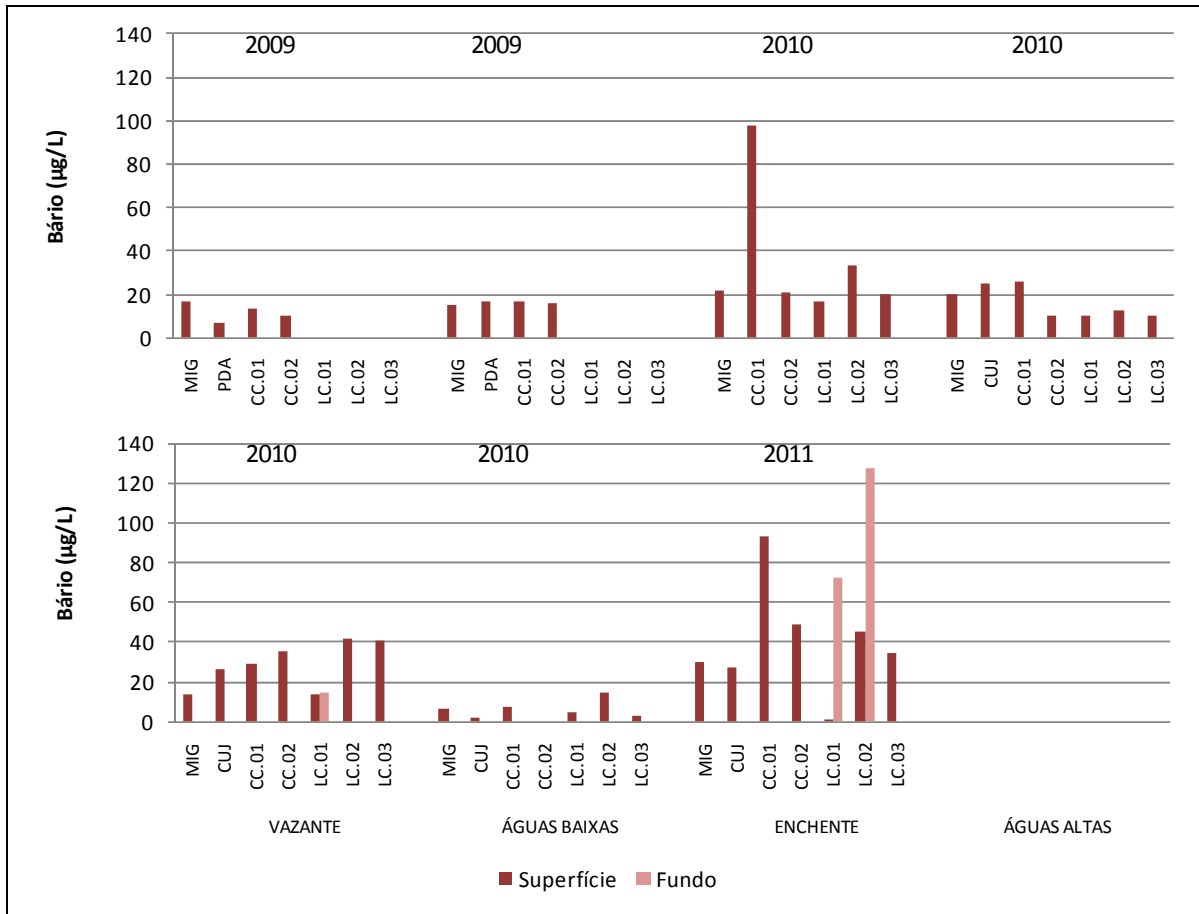


Figura 5.1-231 - Concentrações de bário (Ba) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

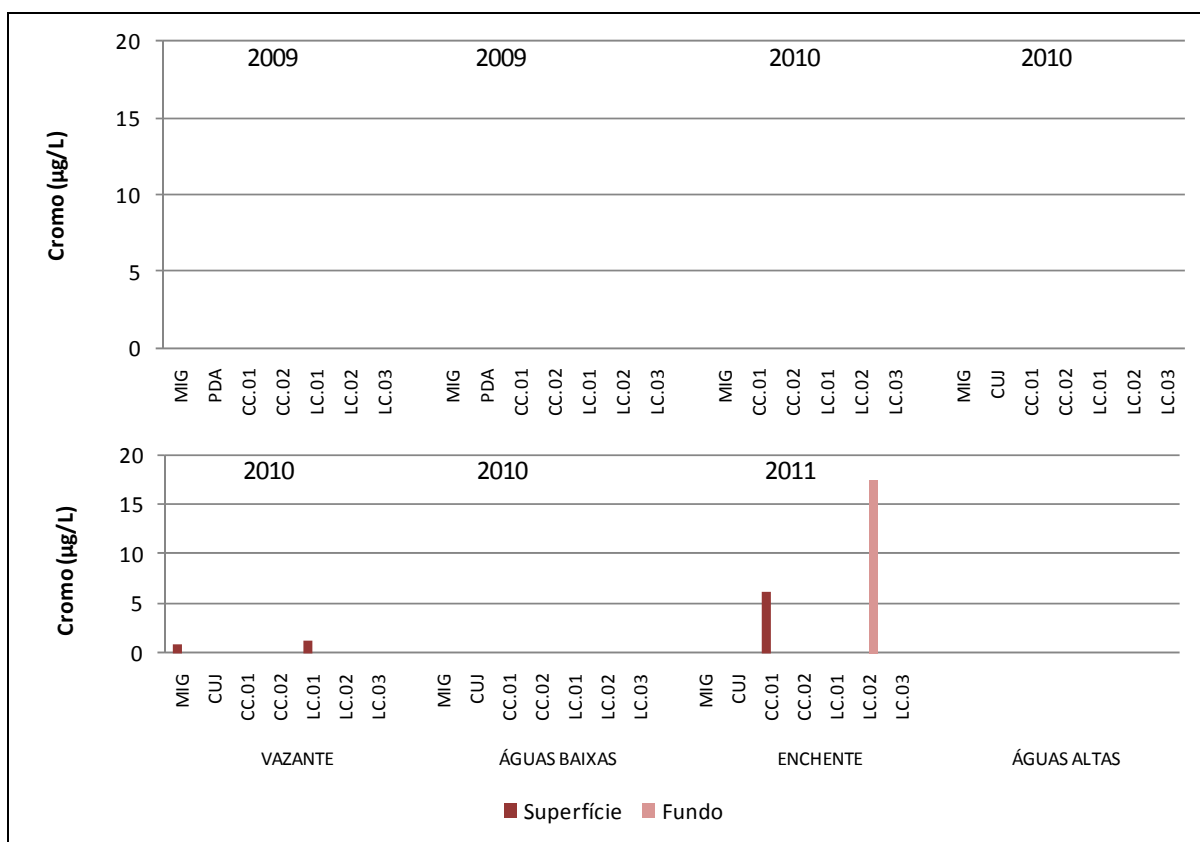


Figura 5.1-232 - Concentrações de cromo (Cr) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

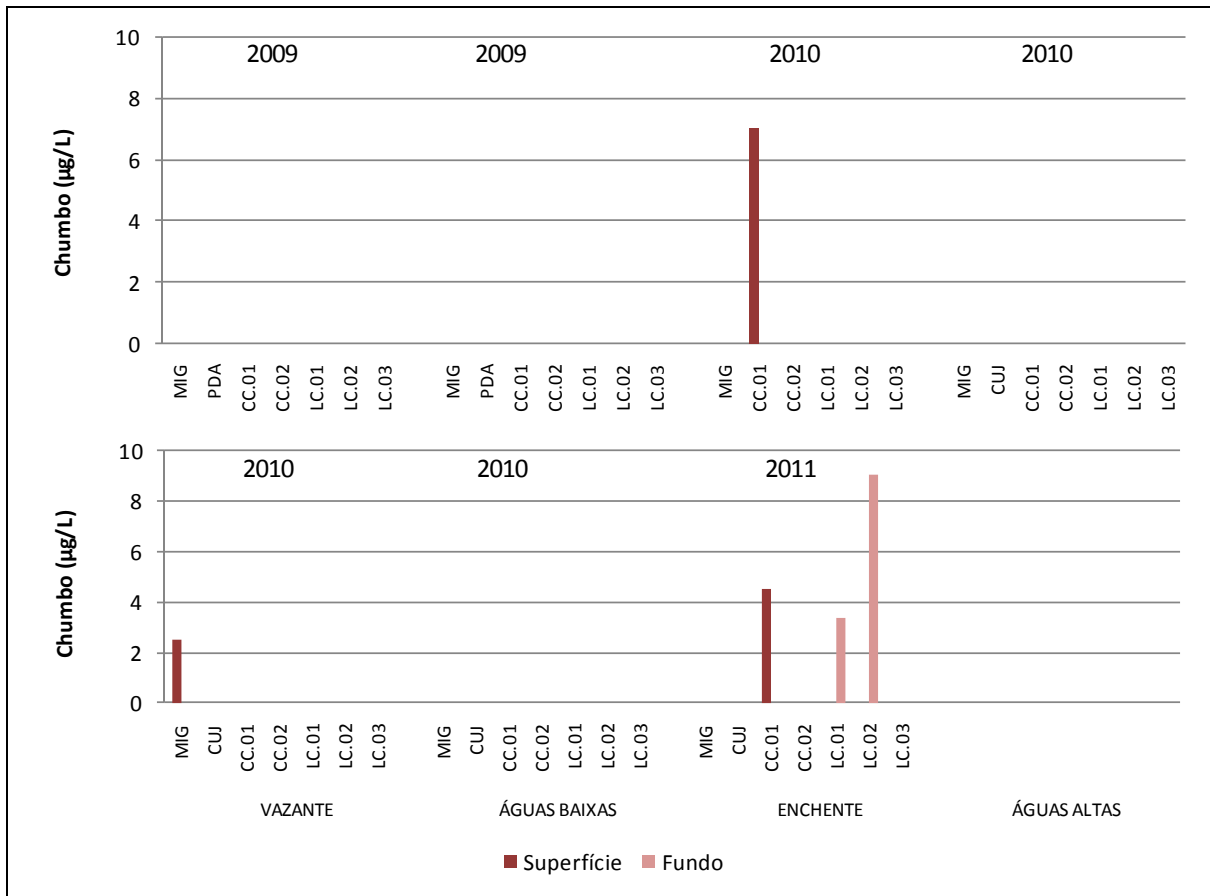


Figura 5.1-233 - Concentrações de chumbo (Pb) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

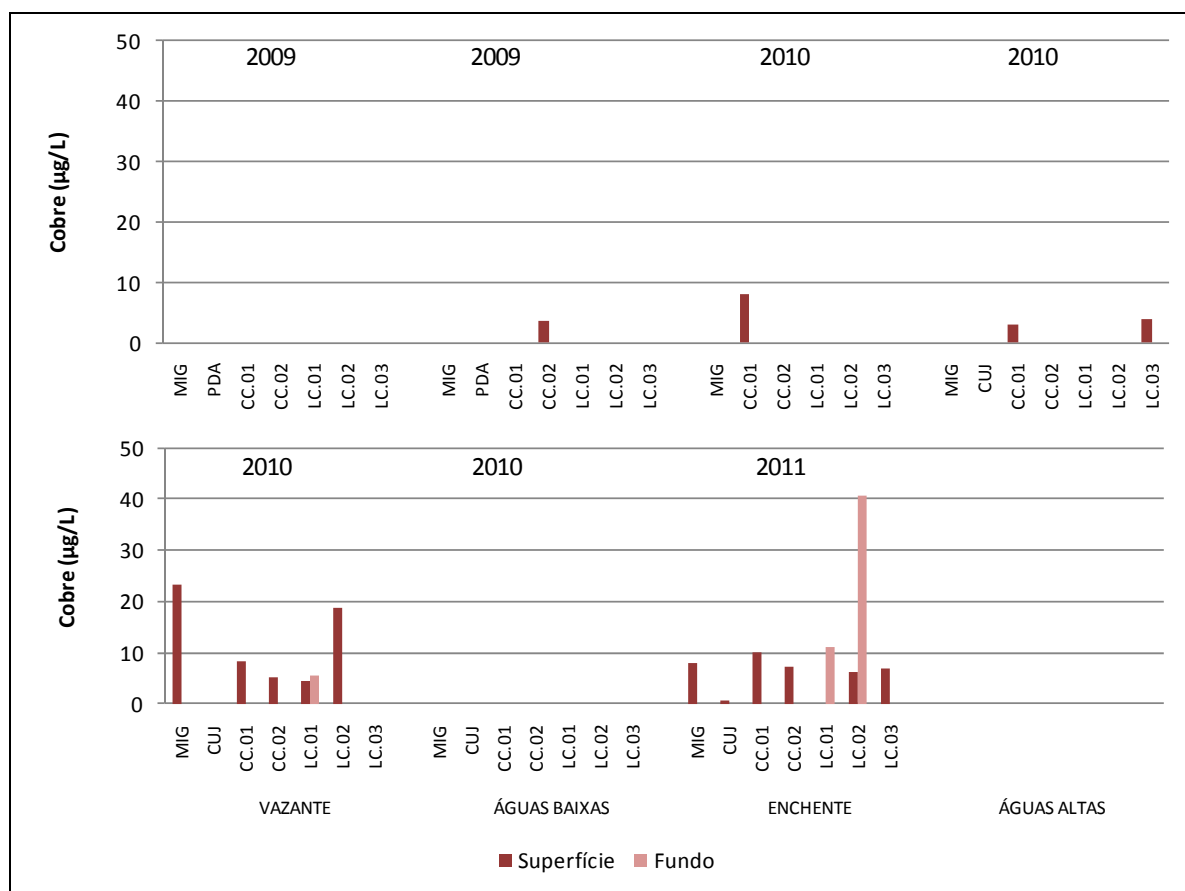


Figura 5.1-234 - Concentrações de cobre (Cu) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

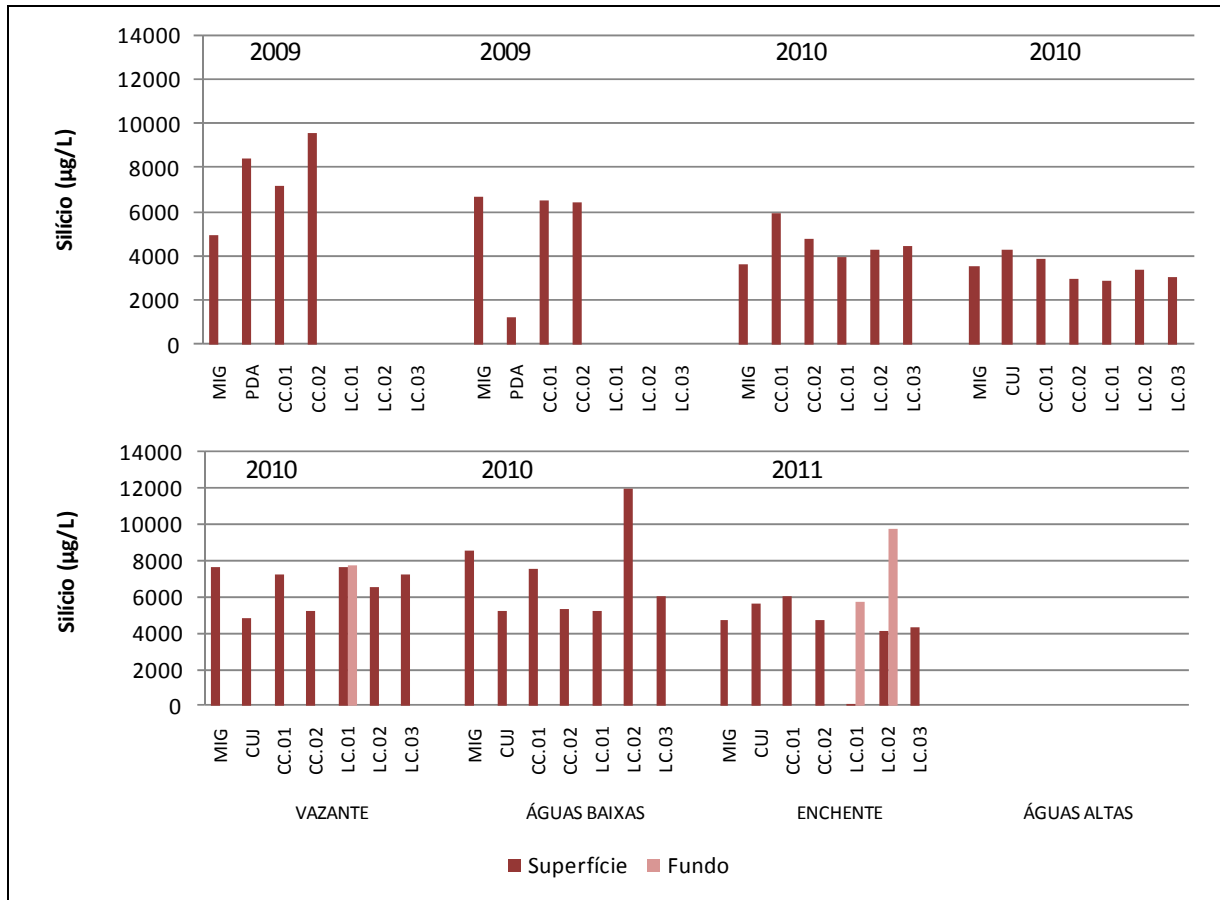


Figura 5.1-235 - Concentrações de silício (Si) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

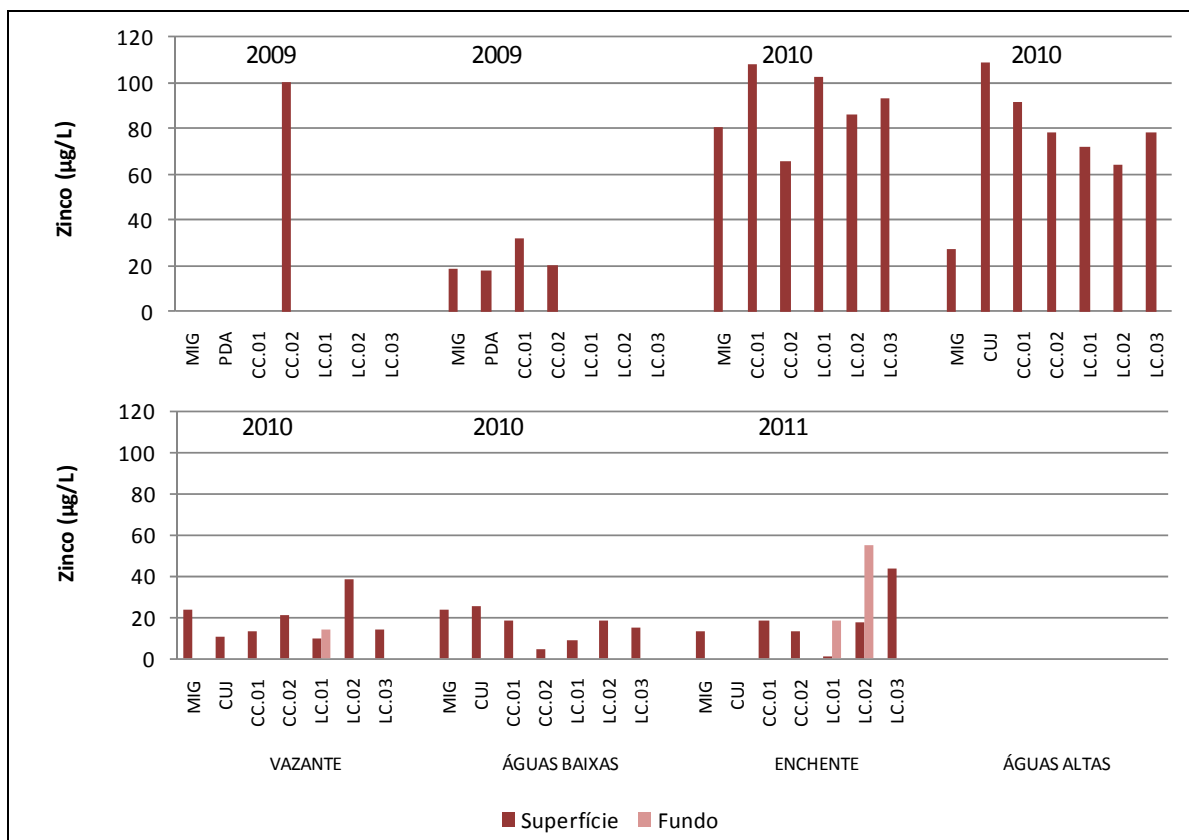


Figura 5.1-236 - Concentrações de zinco (Zn) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

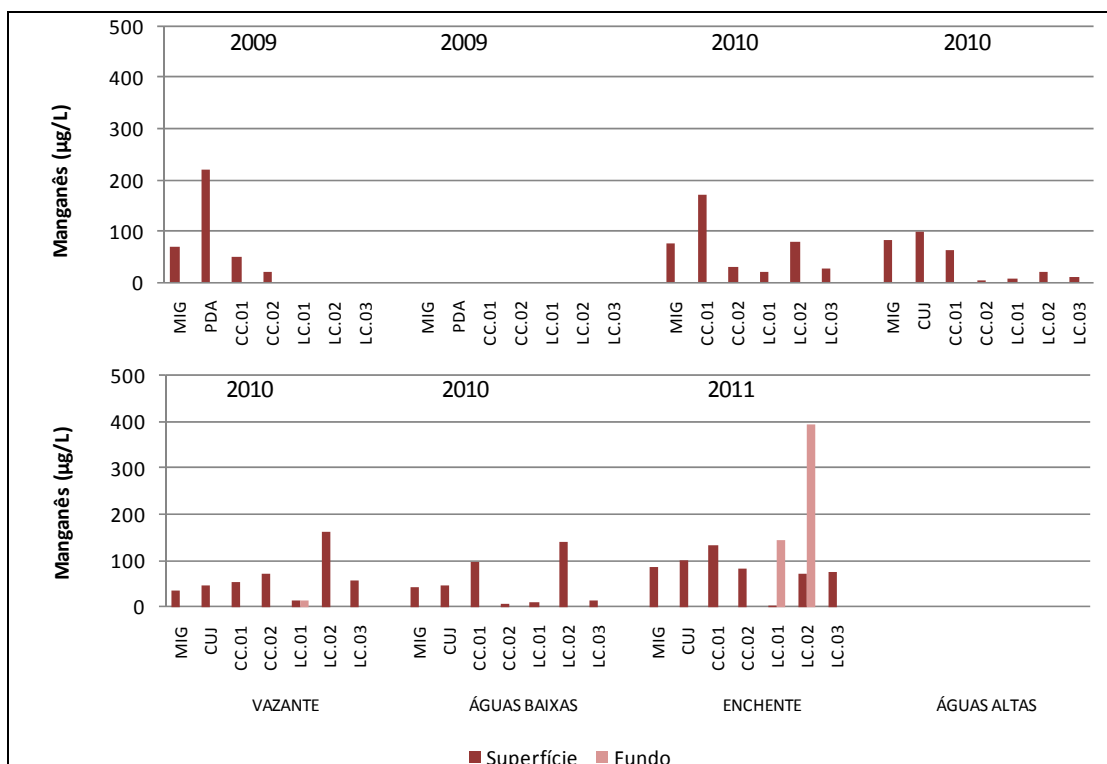


Figura 5.1-237 - Concentrações de manganês (Mn) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

De acordo com o Projeto Básico Ambiental (PBA) da UHE Santo Antônio foi recomendada a análise de alumínio e cobre total. No entanto, os valores de referência para esses dois elementos descritos na Resolução CONAMA 357/05 se referem à fração dissolvida. Isso faz com que os valores fiquem superestimados nas comparações com o valor máximo. Sendo assim, recomenda-se que seja feita a análise da fração dissolvida do alumínio e do cobre.

### 5.1.1.12.2 - Biocidas

Os resultados de biocidas na água de todas as estações amostradas no rio Madeira, tributários e lagos e canais esteve abaixo do limite de quantificação do método analítico nos quatro períodos estudados e, por conseguinte, atenderam aos limites impostos pela legislação.

Como até o momento não foi constatada a presença de biocidas em nenhuma das estações amostradas, recomenda-se diminuição da frequência amostral dessa variável, passando a ser anual ao invés de trimestral. Propõe-se que essa coleta anual seja realizada no período de enchente, logo após o início do período chuvoso na região, quando há maior propensão a carreamento desse compostos de locais com atividades agrícolas para os corpos d'água pela água da chuva.

### 5.1.1.13 - Biológicas

#### 5.1.1.13.1 - Coliformes totais e *Escherichia coli*

Os coliformes totais no rio Madeira apresentaram média global de  $1291 \pm 777$  NMP/100ml (média  $\pm$  DP). Os valores médios dos períodos oscilaram entre  $704 \pm 232$  NMP/100ml (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2009 e  $2054 \pm 638$  NMP/100ml (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 (**Figura 5.1-238**). Em relação à *E. coli*, porém, os mais baixos índices foram encontrados nas águas altas de 2010, com média de  $9 \pm 3$  NMP/100ml (média  $\pm$  DP). Os valores mais altos foram encontrados na enchente de 2010, que teve média de  $39 \pm 8$  NMP/100ml (média  $\pm$  DP) (**Figura 5.1-239**). A média global desse grupo de coliformes foi de  $23 \pm 14$  NMP/100ml (média  $\pm$  DP).

Os índices de *E. coli* foram sempre muito baixos e foram compatíveis com o Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 em todos os casos. Além disso, cabe ser salientado que a grande maioria da microbiota do rio Madeira foi composta por microorganismos de vida livre, em detrimento aos microorganismos que são considerados de origem fecal, como a *E. coli*, que habitam o intestino de animais de sangue quente.



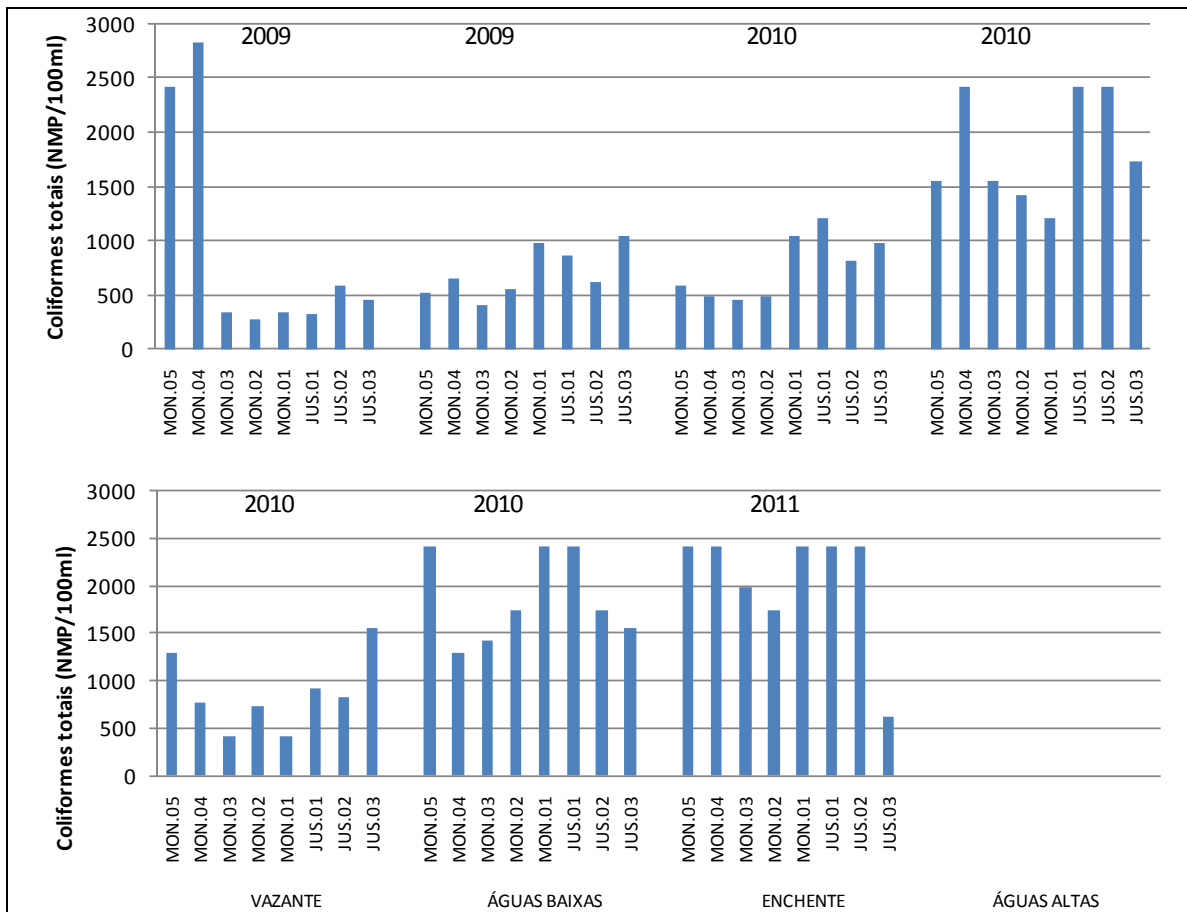


Figura 5.1-238 - Coliformes totais no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

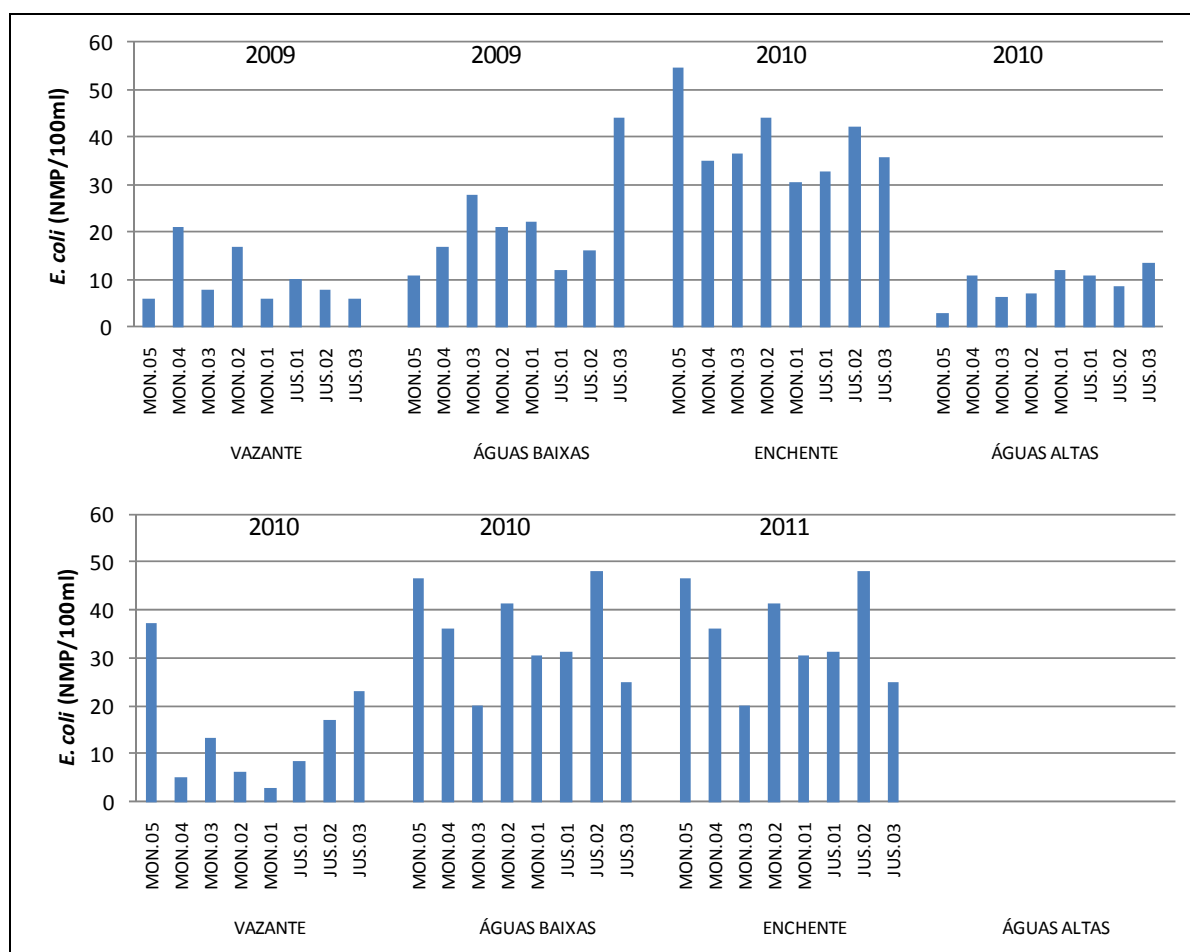


Figura 5.1-239 - *Escherichia coli* no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos rios tributários, os coliformes totais apresentaram média global de  $1938 \pm 698$  NMP/100ml (média  $\pm$  DP). Os valores médios oscilaram entre  $1316 \pm 811$  NMP/100ml (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 a  $>2420$  NMP/100 ml em todas as estações nas águas baixas de 2010 (Figura 5.1-240). Os rios tributários apresentaram índices de coliformes totais maiores do que o rio Madeira e os lagos e canais. Como esses rios são geralmente estreitos e recebem elevado aporte de material orgânico de origem terrestre, é possível que haja maior desenvolvimento de bactérias de vida livre, elevando o índice de coliformes. O índice médio de *E. coli* nos rios tributários variou de  $54 \pm 24$  NMP/100ml (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 a  $455 \pm 753$  NMP/100ml (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010, exibindo média global de  $146 \pm 310$  NMP/100ml (média  $\pm$  DP) (Figura 5.1-241). A estação CRC nas águas baixas de 2010 foi responsável por elevar a média nesse período. Em relação à legislação ambiental, os índices de *E. coli* nos rios tributários foram compatíveis com o Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água de Classe 2, a única exceção foi a estação CRC nas águas baixas de 2010.

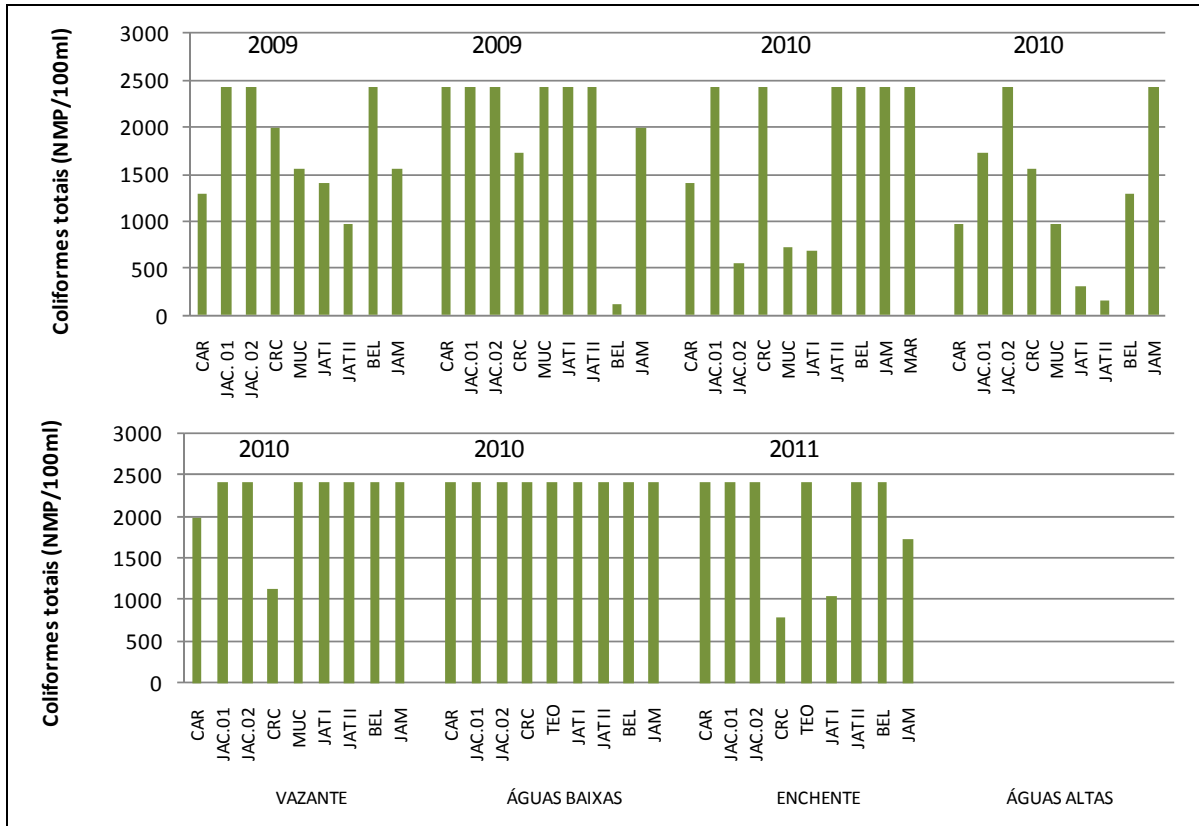


Figura 5.1-240 - Coliformes totais nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

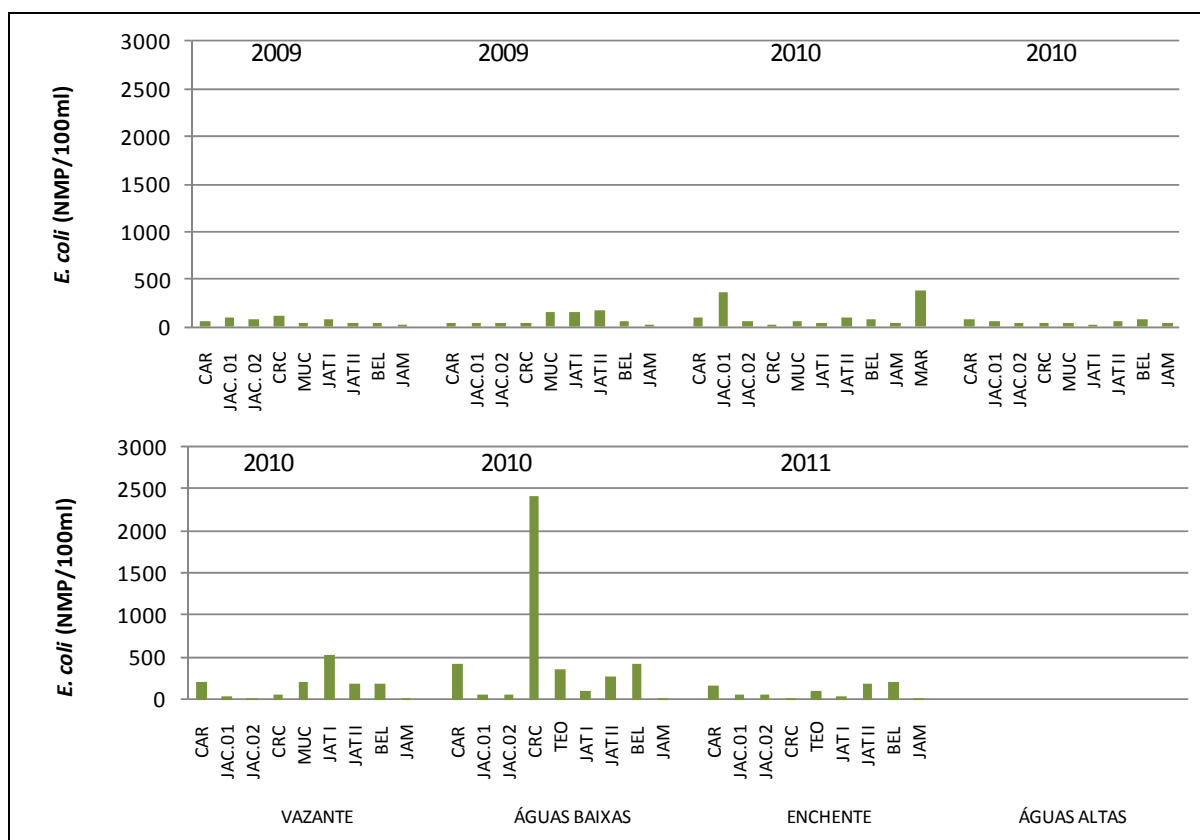


Figura 5.1-241 - *Escherichia coli* nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos lagos e canais, o índice médio de coliformes totais foi de  $1291 \pm 877$  NMP/100ml (média  $\pm$  DP). Os limites mínimos e máximos foram de  $741 \pm 575$  NMP/100ml (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 e  $1798 \pm 904$  NMP/100ml (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 (Figura 5.1-242). Em relação ao índice de *E. coli*, os valores foram bastante constantes ao longo do período de estudo, com os valores médios oscilando entre  $12 \pm 10$  NMP/100ml (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010 e  $210 \pm 530$  NMP/100ml (média  $\pm$  DP) nas águas baixas de 2010 (Figura 5.1-243). A média global desse grupo de coliformes foi de  $59 \pm 204$  NMP/100ml (média  $\pm$  DP). A alta concentração de *E. coli* na estação LC.02 nas águas baixas de 2010 elevou tanto o desvio padrão do período de coleta quanto o desvio padrão global.

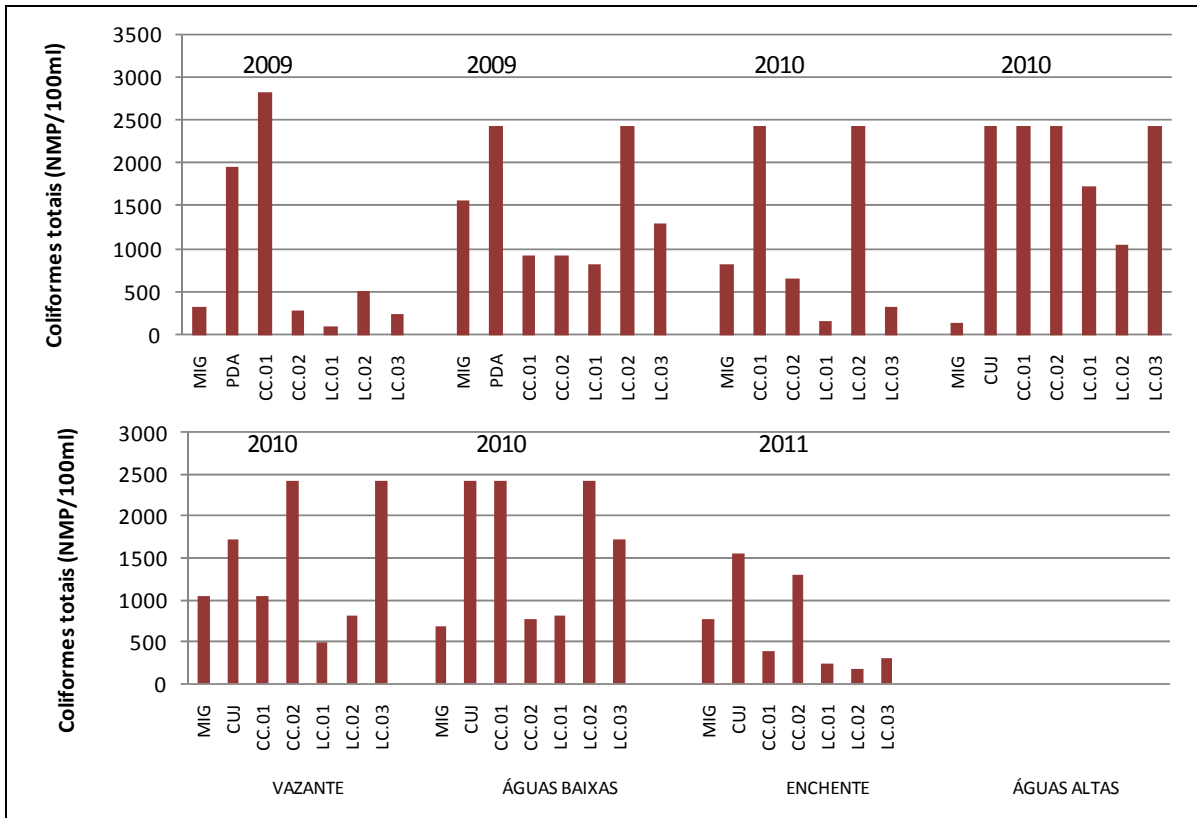


Figura 5.1-242 - Coliformes totais nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

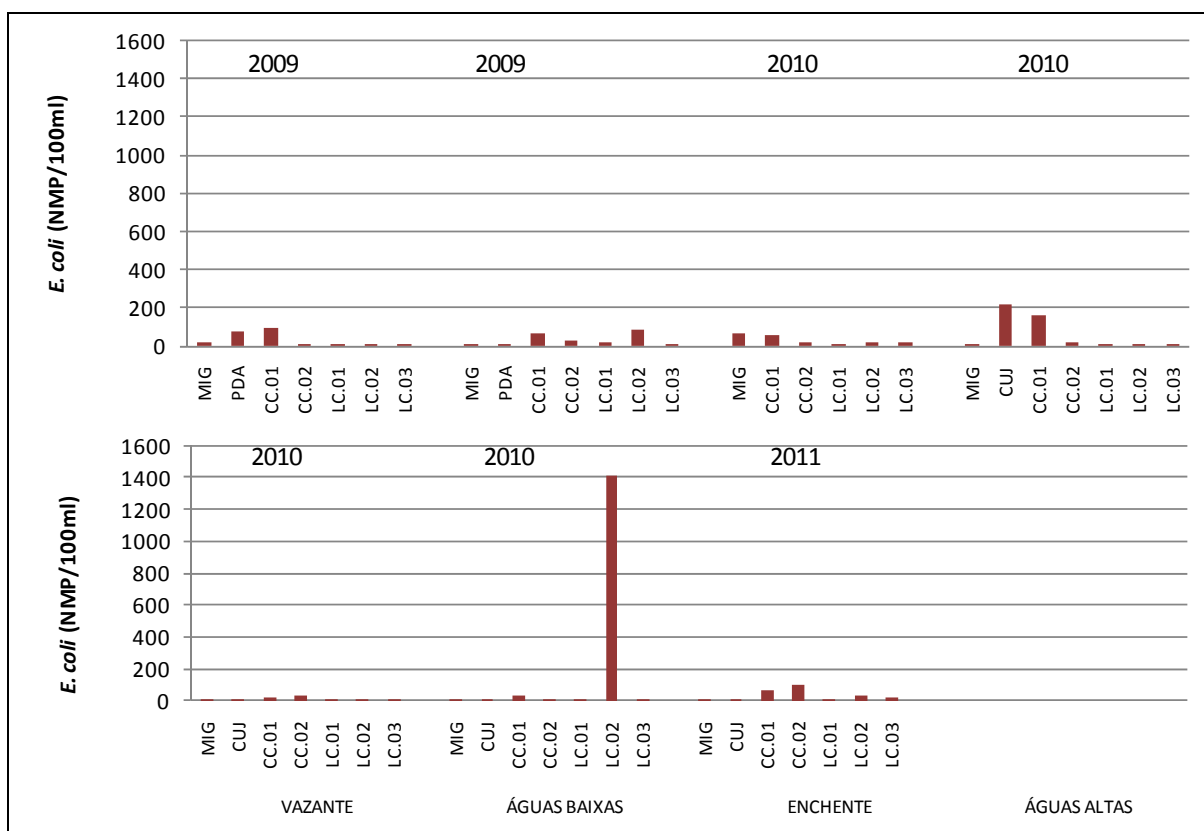


Figura 5.1-243 - *Escherichia coli* nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

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

A clorofila *a* apresentou baixas concentrações no rio Madeira, de modo que a maior parte das estações esteve abaixo do limite de detecção do método adotado (<0,1 µg/L) no primeiro ano de amostragem (Figura 5.1-244). A concentração média global foi de 3,8 ± 4,2 µg/L (média ± DP), um pouco acima dos 2,1 ± 1,4 µg/L (média ± DP) descritos no EIA. Contudo, a concentração média de 2 ± 1,1 µg/L (média ± DP) na vazante foi semelhante à média global relatada no EIA. Em relação aos pigmentos totais, as concentrações não foram detectáveis na vazante e nas águas baixas de 2009. Por outro lado, as concentrações médias oscilaram entre 5,1 ± 2,3 µg/L (média ± DP) na vazante de 2010 e 21,3 ± 2,1 µg/L (média ± DP) na enchente de 2011 (Figura 5.1-245). Desta forma, pode ser entendido que houve pouca variação nos pigmentos totais entre a enchente e as águas altas.

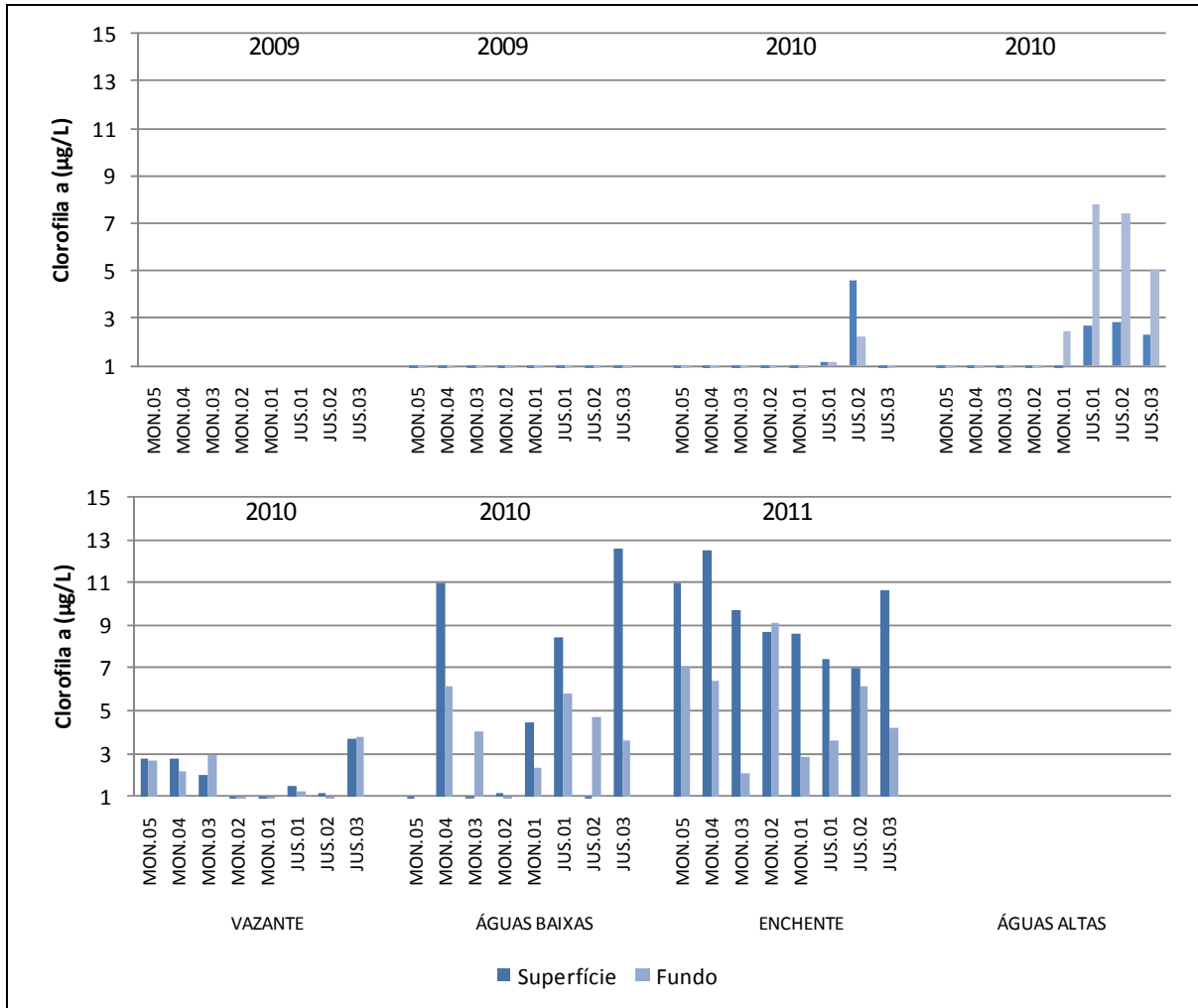


Figura 5.1-244 - Concentrações de clorofila a no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

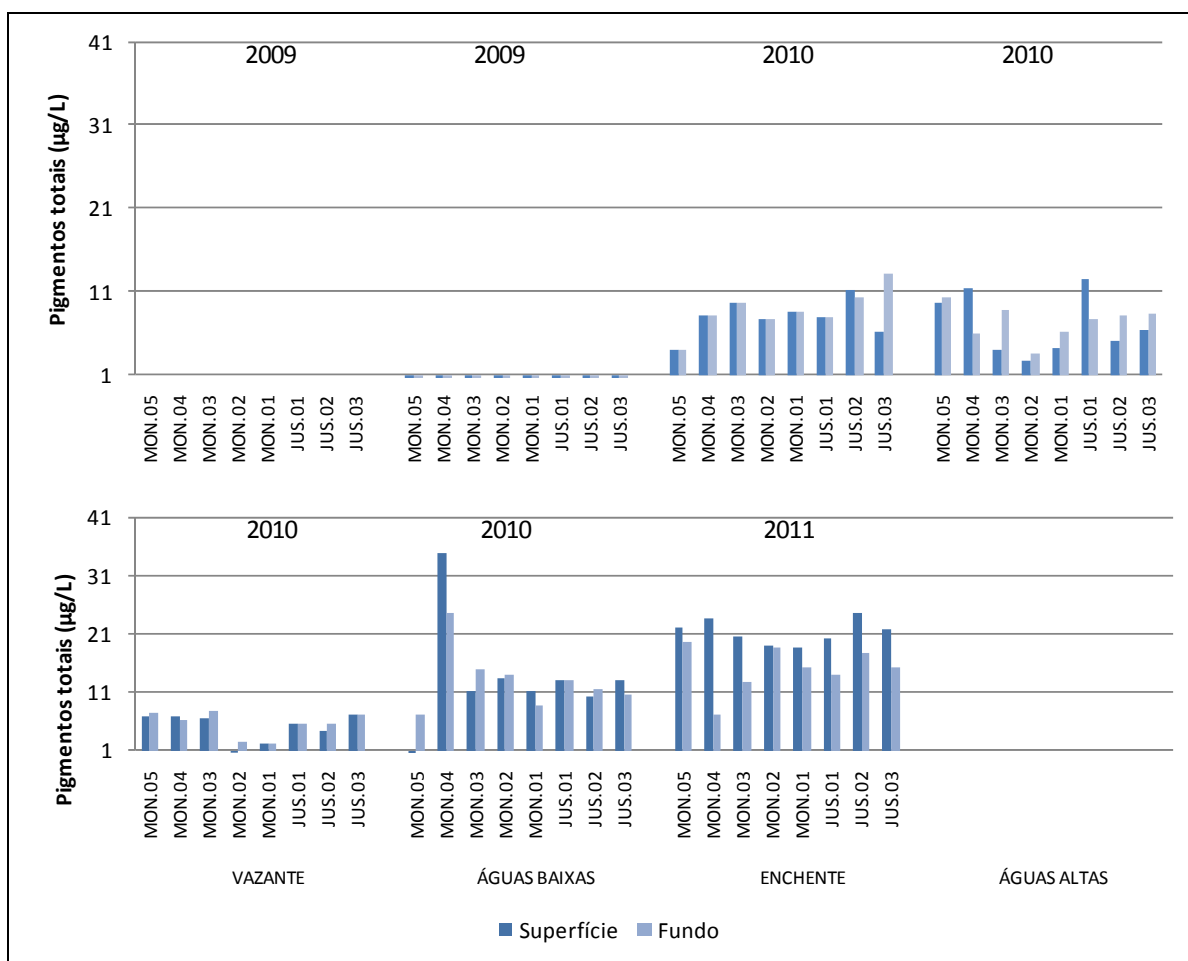


Figura 5.1-245 - Concentrações de pigmentos totais no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos rios tributários, a clorofila *a* não foi detectada nos períodos de vazante e águas baixas de 2009. Por outro lado, as concentrações médias oscilaram entre  $3 \pm 4 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na vazante de 2010 e  $11 \pm 15 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 (Figura 5.1-246), com média global de  $5 \pm 9 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP). Os pigmentos totais também não foram detectados na vazante e nas águas baixas, mas apresentaram concentrações detectáveis nos outros períodos amostrados (Figura 5.1-247). A variação espacial foi geralmente grande, sendo a maior e a menor média respectivamente  $6 \pm 5 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2010 e  $20 \pm 25 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010. A estação BEL nas águas altas de 2010 não foi compatível ao limite de  $30 \mu\text{g/L}$  de clorofila *a* previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05.



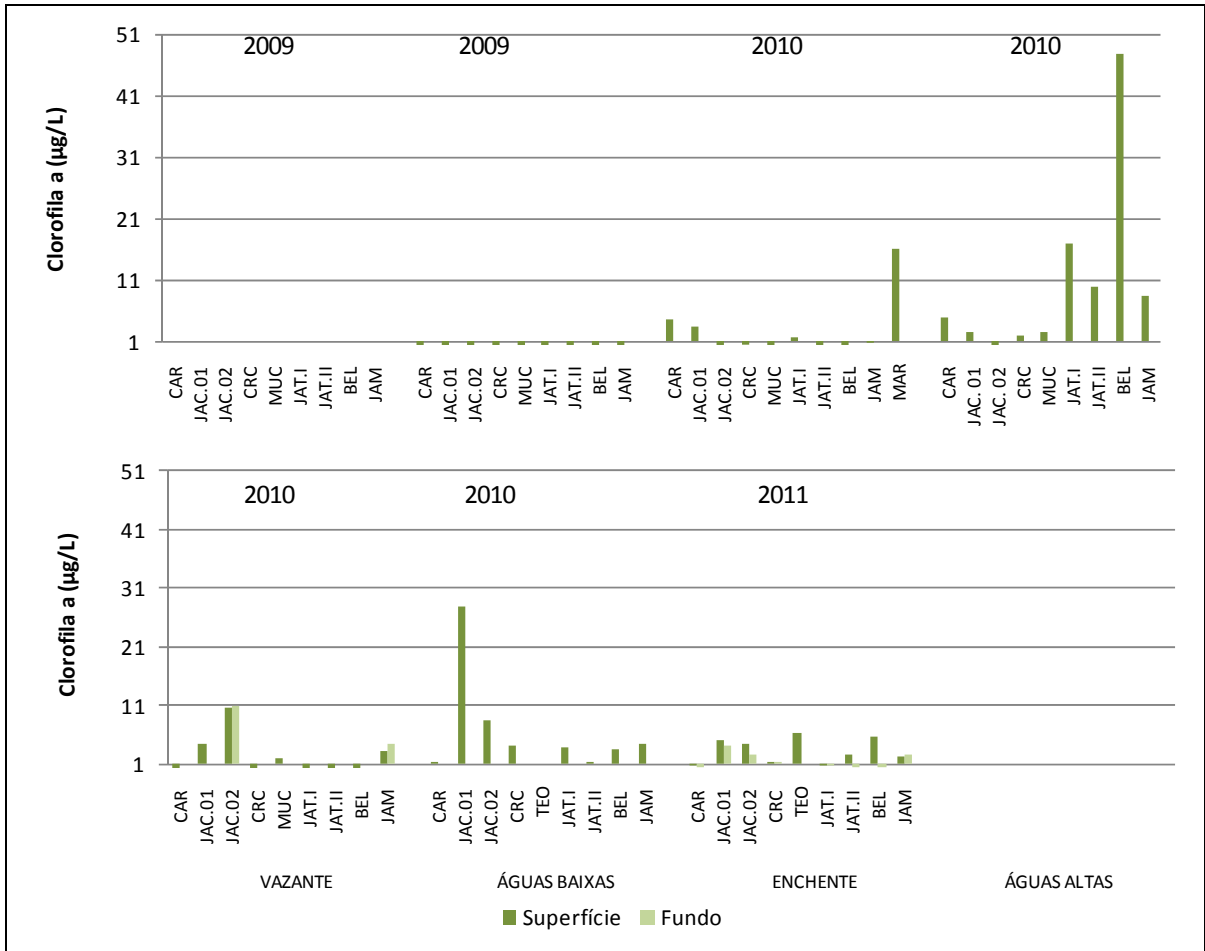


Figura 5.1-246 - Concentrações de clorofila *a* nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

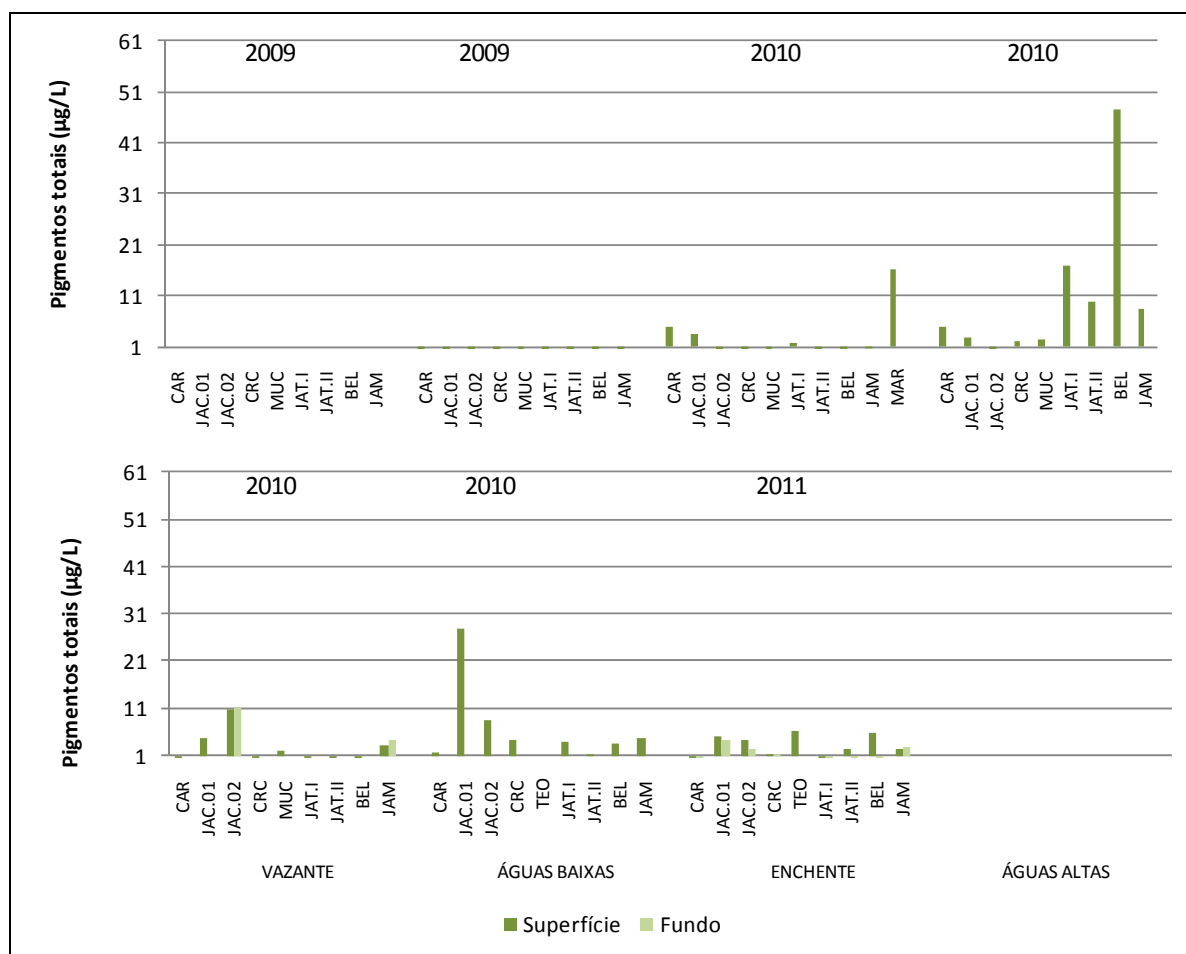


Figura 5.1-247 - Concentrações de pigmentos totais nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

Nos lagos e canais no período de vazante e águas baixas de 2009, os resultados de clorofila *a* e pigmentos totais foram todos abaixo do limite de detecção do método adotado, o que foi corroborado pelos dados de biovolume fitoplanctônico. Para os demais períodos a clorofila *a* oscilou entre  $11 \pm 8 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) na enchente de 2011 e  $26 \pm 23 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP) nas águas altas de 2010 (Figura 5.1-248). A média global dos lagos e canais foi de  $18 \pm 21 \mu\text{g/L}$  (média  $\pm$  DP). A estação LC.02, situada na área central do lago Cuniã, apresentou, tanto na enchente como nas águas altas de 2010, elevados teores de clorofila *a*, assim como a estação CUJ, situada no lago Cujubim, que passou a ser amostrada do período de águas altas de 2010 em diante. Outra questão que vale ser salientada é que a estação CC.01, nas águas altas de 2010 e a estação CC.02 na vazante de 2010, apresentou alto índice de clorofila *a*, o que não vinha sendo observado até então. As concentrações de pigmentos totais oscilaram entre  $19 \pm 12 \mu\text{g/L}$  (média

± DP) na enchente de 2011 e  $54 \pm 38 \mu\text{g/L}$  (média ± DP) nas águas altas de 2010 (Figura 5.1-249). As estações LC.02 superfície na enchente de 2010 e MIG, CC.01, LC.02 meio e CUJ nas águas altas de 2010, CC.02 na vazante de 2010 e LC.02 nas águas baixas de 2010 não foram compatíveis com o limite de  $30 \mu\text{g/L}$  de clorofila *a* previsto no Art. 15 da Resolução CONAMA 357/05. Os lagos e canais foram os ambientes que apresentaram as maiores médias globais ao longo do período de estudo, seguidos dos rios tributários e do rio Madeira, respectivamente.

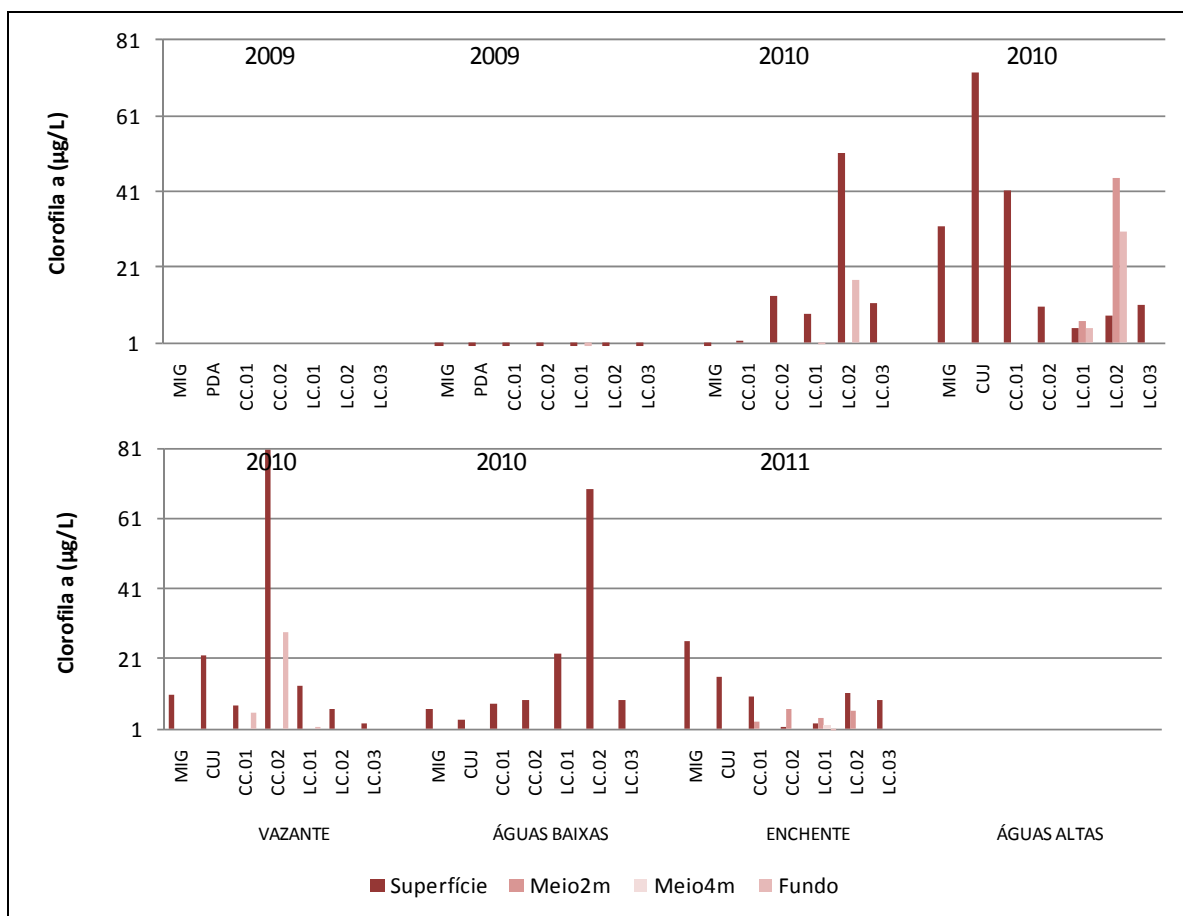


Figura 5.1-248 - Concentrações de clorofila *a* nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

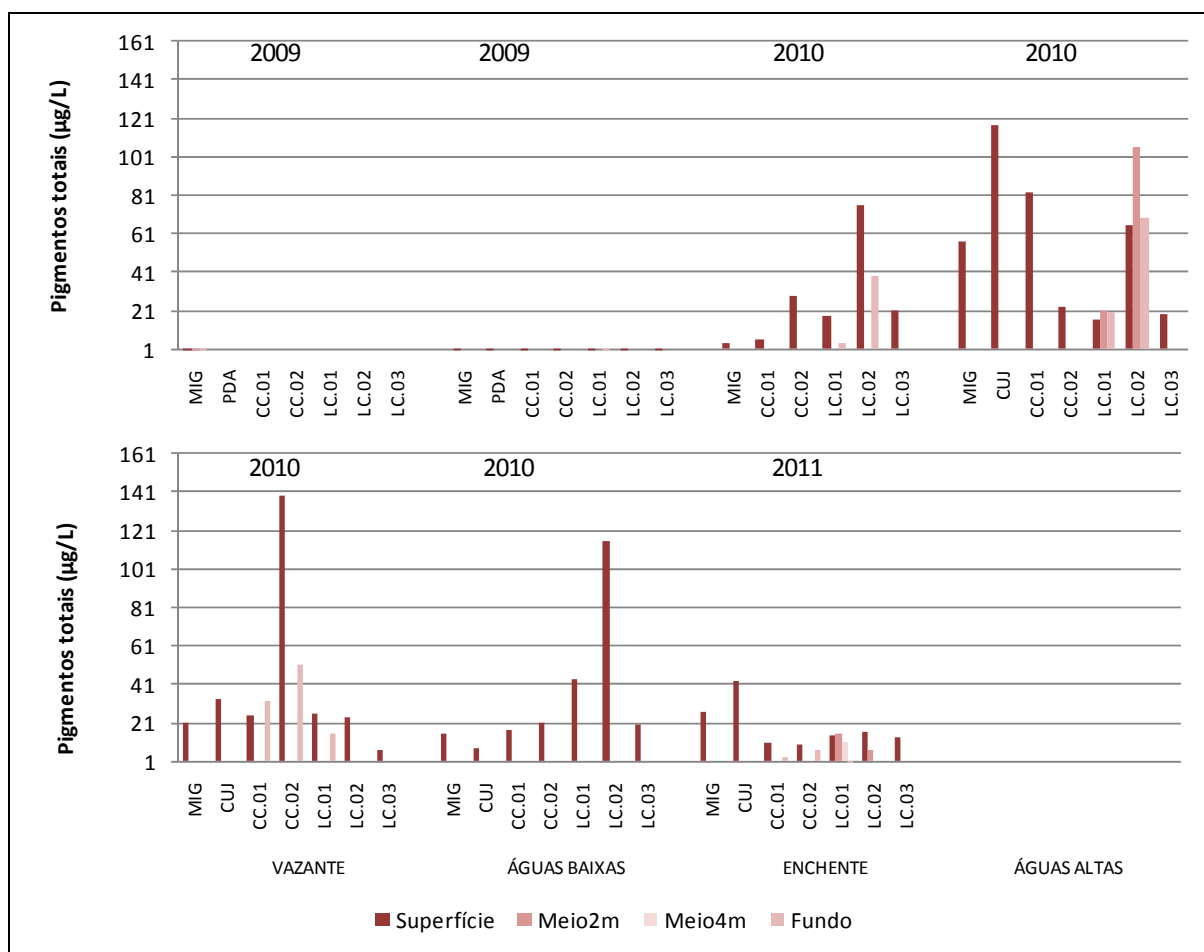


Figura 5.1-249 - Concentrações de pigmentos totais nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

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

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

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

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

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

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

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

Os valores médios de  $\delta^{13}\text{C}$  do material em suspensão foram  $-26,5 \pm 0,3 \text{ ‰}$ ,  $-24,6 \pm 2,6 \text{ ‰}$  e  $-27,3 \pm 1,4 \text{ ‰}$  (média  $\pm$  DP), para os períodos de águas altas, vazante e águas baixas de 2010, respectivamente. A pequena variação nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , especialmente na campanha de águas altas, sugere que a fonte de matéria orgânica particulada para os ambientes amostrados foi homogênea (**Figura 5.1-250**). A matéria orgânica presente nesses ambientes apresentou assinatura isotópica semelhante à de plantas C3 terrestres ( $-26$  a  $-28 \text{ ‰}$ , O'Leary et al. 1992), indicando que, em termos gerais, o ambiente terrestre representa a mais importante fonte de carbono particulado para todos os sistemas amostrados.

Neste relatório serão apresentados os dados referente à campanha de águas altas de 2010, vazante de 2010 e águas baixas de 2010. Os resultados da campanha de enchente de 2011 estão em processo de análises e por isso serão apresentados no próximo relatório.

Na campanha de vazante, o material em suspensão apresentou enriquecimento em  $^{13}\text{C}$  nas estações MON.01, CAR, JAC.01 e MUC. Este resultado pode estar relacionado com um maior carregamento de material de origem terrestre ou de macrófitas C4 neste período. Na campanha de águas baixas, a estação JAC.01 destacou-se das demais com relação ao  $\delta^{13}\text{C}$  do material em suspensão, apresentando  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-30,4 \text{ ‰}$ . Este resultado pode estar relacionado com o menor aporte de material terrestre nas águas baixas, combinado com uma maior densidade fitoplânctônica nesta estação com relação às demais estações amostradas no período. A composição isotópica do fitoplâncton varia principalmente em função da fonte de carbono inorgânico disponível e da habilidade das espécies presentes em assimilar bicarbonato (Cifuentes et al. 1988). Além dessas fontes de variação, a elevada taxa de reposição da comunidade fitoplânctônica causa uma grande variabilidade na composição isotópica deste grupo. Por isso não existe uma faixa fixa de valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para esses produtores primários. Sabe-se, no entanto, valores mais negativos (até  $-47 \text{ ‰}$ ), são comumente registrados para o fitoplâncton, o que não ocorre para o material de origem terrestre (Vuorio et al. 2006; France 1995, Finlay et al. 1999).

Os valores médios de  $\delta^{15}\text{N}$  do material em suspensão foram  $2,2 \pm 1,1 \text{ ‰}$ ,  $6,48 \pm 1,9 \text{ ‰}$  e  $5,9 \pm 2,1 \text{ ‰}$  (média  $\pm$  DP), para os períodos de águas altas, vazante e águas baixas de 2010, respectivamente. Comparado com os valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , houve uma maior variação do  $\delta^{15}\text{N}$  entre os sistemas amostrados (**Figura 5.1-251**). Os isótopos de nitrogênio, no entanto, não são bons indicadores da fonte de matéria orgânica para um ecossistema. O fracionamento isotópico que ocorre durante a ciclagem do nitrogênio na biosfera confere a cada nutriente nitrogenado uma faixa de variação de  $\delta^{15}\text{N}$ . Produtores primários (tanto terrestres quanto aquáticos) apresentam

$\delta^{15}\text{N}$  variando em função da fonte de nitrogênio inorgânico disponível no meio e do nível de discriminação isotópica durante a assimilação de nutrientes, que varia entre espécies.

O  $\delta^{15}\text{N}$  das estações localizadas no rio Madeira não variou muito, uma vez que estes locais estão submetidos a fontes de matéria orgânica semelhantes. É interessante notar, ainda, que a estação JAC.01, durante o período de águas baixas, apresentou material em suspensão enriquecido em  $^{15}\text{N}$  com relação às demais estações. Este dado vai de encontro ao que foi sugerido pelo valor de  $\delta^{13}\text{C}$  na estação JAC01, indicando uma fonte diferenciada de nitrogênio inorgânico - nutrientes dissolvidos na água.

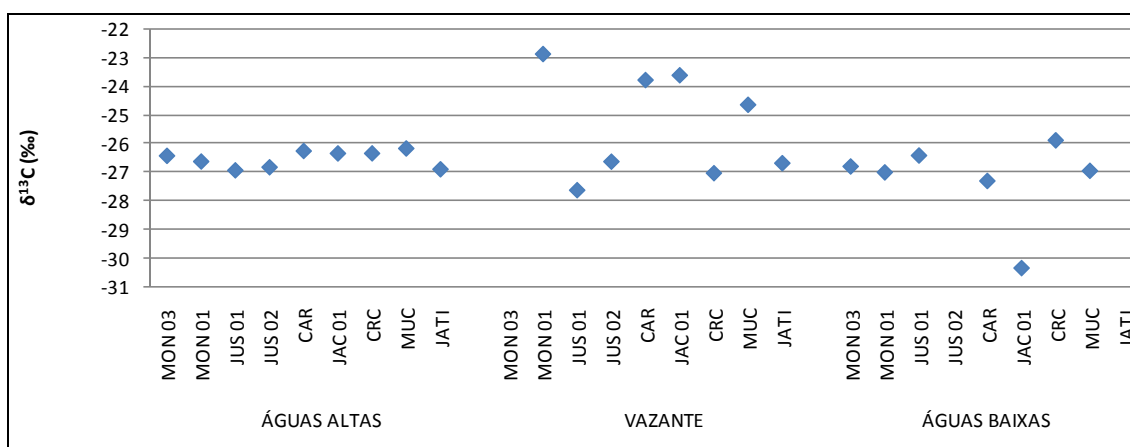


Figura 5.1-250 - Razão isotópica do carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) nos ambientes amostrados no rio Madeira e nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre julho de 2010 e novembro de 2011.

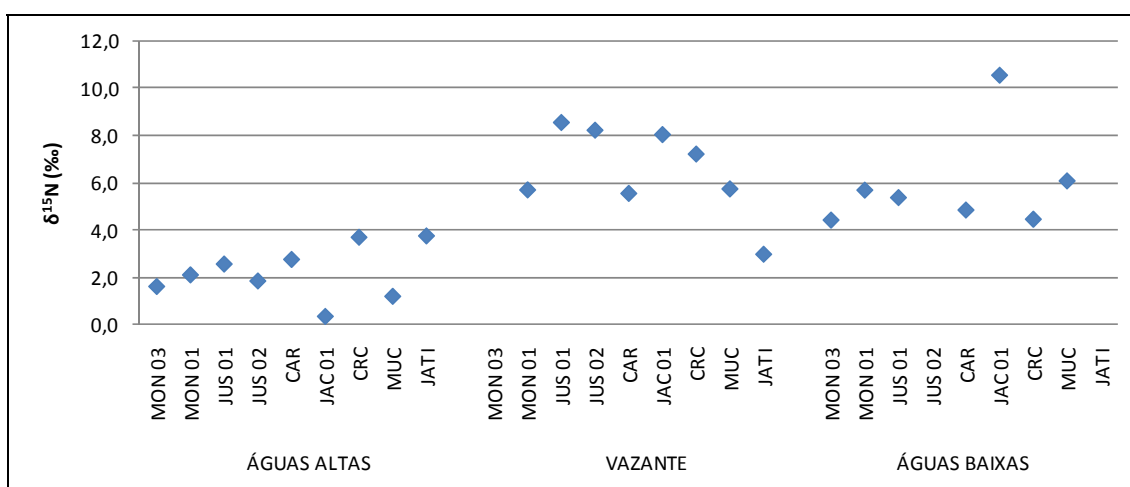


Figura 5.1-251 - Razão isotópica do nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ) nos ambientes amostrados no rio Madeira e nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.

## 5.1.1.14 - Índices

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

O IET do rio Madeira variou de acordo com o período avaliado. Considerando todos os períodos amostrados o índice de estado trófico neste rio variou entre ultraoligotrófico à hipereutrófico, prevalecendo um estados oligo-mesotróficos na maioria das estações e períodos amostrados. O rio Madeira possui altas concentrações de fósforo, mas em geral não é observada eutrofia nesse ambiente, uma vez que as concentrações de clorofila *a* são baixas devido à limitação da produção fitoplanctônica pela luz. Nas coletas de águas baixas de 2010 e enchente de 2011, foi observado um aumento na concentração de clorofila *a*, e por conseqüência o estado trófico tendeu a ficar mais eutrófico. Na campanha de enchente de 2011 foi observada hipereutrofia em todas as estações amostradas. Este estado trófico da campanha de enchente de 2011 está relacionada tanto ao aumento do fósforo nesta campanha quanto ao aumento da clorofila *a*. 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 com 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 ao longo do tempo pode ser visualizado no **Quadro 5.1-2**.



**Quadro 5.1-2 - Índice de Estado Trófico (IET) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.**

VAZANTE - 2009		ÁGUAS BAIXAS - 2009		ENCHENTE - 2010		ÁGUAS ALTAS - 2010	
IET	ESTADO TRÓFICO	IET	ESTADO TRÓFICO	IET	ESTADO TRÓFICO	IET	ESTADO TRÓFICO
		58	MESOTRÓFICO	48	OLIGOTRÓFICO	47	OLIGOTRÓFICO
		56	MESOTRÓFICO	47	OLIGOTRÓFICO	47	OLIGOTRÓFICO
		57	MESOTRÓFICO	48	OLIGOTRÓFICO	48	OLIGOTRÓFICO
		56	MESOTRÓFICO	47	OLIGOTRÓFICO	48	OLIGOTRÓFICO
		56	MESOTRÓFICO	47	OLIGOTRÓFICO	60	EUTRÓFICO
		59	MESOTRÓFICO	58	MESOTRÓFICO	66	SUPEREUTRÓFICO
		54	MESOTRÓFICO	64	SUPEREUTRÓFICO	64	SUPEREUTRÓFICO
		55	MESOTRÓFICO	45	ULTRAOLIGOTRÓFICO	62	EUTRÓFICO

VAZANTE - 2010		ÁGUAS BAIXAS - 2010		ENCHENTE - 2011	
IET	ESTADO TRÓFICO	IET	ESTADO TRÓFICO	IET	ESTADO TRÓFICO
59	EUTRÓFICO	66	SUPEREUTRÓFICO	68	HIPEREUTRÓFICO
60	EUTRÓFICO	67	HIPEREUTRÓFICO	67	HIPEREUTRÓFICO
58	MESOTRÓFICO	58	MESOTRÓFICO	68	HIPEREUTRÓFICO
55	MESOTRÓFICO	53	MESOTRÓFICO	68	HIPEREUTRÓFICO
54	MESOTRÓFICO	60	EUTRÓFICO	68	HIPEREUTRÓFICO
57	MESOTRÓFICO	62	EUTRÓFICO	67	HIPEREUTRÓFICO
55	MESOTRÓFICO	62	EUTRÓFICO	70	HIPEREUTRÓFICO
61	EUTRÓFICO	65	SUPEREUTRÓFICO	69	HIPEREUTRÓFICO

O IET dos rios tributários variou tanto espacialmente como sazonalmente, com exceção da das águas baixas de 2010 (Quadro 5.1-3). Nas águas baixas de 2010 todos os ambientes apresentaram características mesotróficas em virtude das baixas concentrações de clorofila *a*. Nos outros períodos o estado trófico dos tributários variou entre condições ultraoligotrófica até eutrófica, prevalecendo uma condição oligo-mesotrófica entre as estações amostradas. Esta condição foi devida principalmente às baixas concentrações de clorofila *a*.

**Quadro 5.1-3 - Índice de Estado Trófico (IET) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.**

VAZANTE - 2009		ÁGUAS BAIXAS - 2009		ENCHENTE - 2010		ÁGUAS ALTAS - 2010	
IET	ESTADO TRÓFICO	IET	ESTADO TRÓFICO	IET	ESTADO TRÓFICO	IET	ESTADO TRÓFICO
		45	ULTRAOLIGOTRÓFICO	54	MESOTRÓFICO	57	MESOTRÓFICO
		49	OLIGOTRÓFICO	54	MESOTRÓFICO	55	MESOTRÓFICO
		48	OLIGOTRÓFICO	47	ULTRAOLIGOTRÓFICO	48	OLIGOTRÓFICO
		46	ULTRAOLIGOTRÓFICO	50	OLIGOTRÓFICO	54	MESOTRÓFICO
		50	OLIGOTRÓFICO	46	ULTRAOLIGOTRÓFICO	55	MESOTRÓFICO
		47	OLIGOTRÓFICO	51	OLIGOTRÓFICO	58	MESOTRÓFICO
		50	OLIGOTRÓFICO	52	MESOTRÓFICO	57	MESOTRÓFICO
		53	MESOTRÓFICO	53	MESOTRÓFICO	63	EUTRÓFICO
		45	ULTRAOLIGOTRÓFICO	50	OLIGOTRÓFICO	57	MESOTRÓFICO
				58	MESOTRÓFICO		

VAZANTE - 2010		ÁGUAS BAIXAS - 2010		ENCHENTE - 2011	
IET	ESTADO TRÓFICO	IET	ESTADO TRÓFICO	IET	ESTADO TRÓFICO
54	MESOTRÓFICO	55	MESOTRÓFICO	50	OLIGOTRÓFICO
56	MESOTRÓFICO	58	MESOTRÓFICO	56	MESOTRÓFICO
58	MESOTRÓFICO	56	MESOTRÓFICO	56	MESOTRÓFICO
43	ULTRAOLIGOTRÓFICO	54	MESOTRÓFICO	50	OLIGOTRÓFICO
59	MESOTRÓFICO	55	MESOTRÓFICO	57	MESOTRÓFICO
60	EUTRÓFICO	56	MESOTRÓFICO	52	OLIGOTRÓFICO
52	OLIGOTRÓFICO	55	MESOTRÓFICO	55	MESOTRÓFICO
57	MESOTRÓFICO	58	MESOTRÓFICO	58	MESOTRÓFICO
55	MESOTRÓFICO	53	MESOTRÓFICO	53	MESOTRÓFICO

O estado trófico predominante nos lagos e canais foi mesotrófico (**Quadro 5.1-4**) nas águas baixas de 2009 e nas águas altas de 2010. Entre os períodos de vazante de 2010 e enchente de 2011, por outro lado, prevaleceram as condições eutróficas, principalmente devido ao aumento nas concentrações de clorofila *a*. Considerando todos os períodos, foram encontradas condições tróficas que variaram entre oligotróficas e hipereutróficas.

**Quadro 5.1-4 - Índice de Estado Trófico (IET) nos lagos e canais, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.**

VAZANTE - 2009		ÁGUAS BAIXAS - 2009		ENCHENTE - 2010		ÁGUAS ALTAS - 2010	
IET	ESTADO TRÓFICO	IET	ESTADO TRÓFICO	IET	ESTADO TRÓFICO	IET	ESTADO TRÓFICO
		54	MESOTRÓFICO	47	ULTRAOLIGOTRÓFICO	62	EUTRÓFICO
		54	MESOTRÓFICO	57	MESOTRÓFICO	63	SUPEREUTRÓFICO
		52	MESOTRÓFICO	57	MESOTRÓFICO	63	SUPEREUTRÓFICO
		59	EUTRÓFICO	56	MESOTRÓFICO	57	MESOTRÓFICO
		51	OLIGOTRÓFICO	64	SUPEREUTRÓFICO	55	MESOTRÓFICO
		56	MESOTRÓFICO	57	MESOTRÓFICO	61	EUTRÓFICO
		51	OLIGOTRÓFICO			57	MESOTRÓFICO

VAZANTE - 2010		ÁGUAS BAIXAS - 2010		ENCHENTE - 2011	
IET	ESTADO TRÓFICO	IET	ESTADO TRÓFICO	IET	ESTADO TRÓFICO
61	EUTRÓFICO	61	EUTRÓFICO	62	EUTRÓFICO
62	EUTRÓFICO	56	MESOTRÓFICO	60	EUTRÓFICO
61	EUTRÓFICO	59	EUTRÓFICO	63	EUTRÓFICO
65	SUPEREUTRÓFICO	57	MESOTRÓFICO	60	EUTRÓFICO
60	EUTRÓFICO	59	EUTRÓFICO	56	MESOTRÓFICO
60	EUTRÓFICO	70	HIPEREUTRÓFICO	59	EUTRÓFICO
58	MESOTRÓFICO	57	MESOTRÓFICO	58	MESOTRÓFICO

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

A qualidade da água das estações situadas no rio Madeira foi classificada como BOA nas campanhas de vazante e águas baixas de 2009, enchente e águas altas de 2010 e enchente de 2011. Nas campanhas de vazante de 2010 e águas baixas de 2010, houve estações de amostragem com qualidade da água boa e ótima (**Quadro 5.1-5**). Todas estes critérios de qualidade de água levam em conta a qualidade da água para abastecimento público. Apesar dos elevados valores de turbidez, sólidos totais e fósforo total, os baixos teores de coliformes fecais e DBO, o bom nível de oxigenação da água e um intervalo de pH adequado contribuíram para a predominância de uma boa qualidade da água.

**Quadro 5.1-5 - Índice de Qualidade da Água (IQA) no rio Madeira, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.**

Estação	Vazante - 2009		Águas Baixas - 2009		Enchente - 2010		Águas Altas - 2010	
	IQA	Nível	IQA	Nível	IQA	Nível	IQA	Nível
MON.05	70	BOA	64	BOA	58	BOA	61	BOA
MON.04	67	BOA	66	BOA	60	BOA	61	BOA
MON.03	68	BOA	65	BOA	59	BOA	64	BOA
MON.02	67	BOA	66	BOA	60	BOA	65	BOA
MON.01	70	BOA	67	BOA	61	BOA	65	BOA
JUS.01	69	BOA	65	BOA	60	BOA	66	BOA
JUS.02	69	BOA	68	BOA	59	BOA	68	BOA
JUS.03	67	BOA	65	BOA	65	BOA	66	BOA

Estação	Vazante - 2010		Águas Baixas - 2010		Enchente - 2011	
	IQA	Nível	IQA	Nível	IQA	Nível
MON.05	79	BOA	85	ÓTIMA	61	BOA
MON.04	83	ÓTIMA	85	ÓTIMA	63	BOA
MON.03	82	ÓTIMA	83	ÓTIMA	61	BOA
MON.02	83	ÓTIMA	83	ÓTIMA	59	BOA
MON.01	82	ÓTIMA	81	ÓTIMA	59	BOA
JUS.01	81	ÓTIMA	82	ÓTIMA	62	BOA
JUS.02	79	BOA	78	BOA	58	BOA
JUS.03	78	BOA	83	ÓTIMA	62	BOA

Nos rios tributários, a qualidade da água foi BOA para abastecimento público na maior parte do período estudado. Em alguns casos, porém, devido à baixa oxigenação da coluna d'água, a qualidade da água foi ACEITÁVEL. Os períodos de vazante de 2009 e enchente de 2011 foram os que apresentaram menor IQA em virtude da baixa saturação de oxigênio (**Quadro 5.1-6**). Ecossistemas aquáticos amazônicos comumente apresentam baixas concentrações de oxigênio (Melack & Fisher, 1983), sendo que o que foi encontrado no presente estudo são condições naturais.

**Quadro 5.1-6 - Índice de Qualidade de Água (IQA) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.**

Vazante - 2009		Águas Baixas - 2009		Enchente - 2010		Águas Altas - 2010	
IQA	Nível	IQA	Nível	IQA	Nível	IQA	Nível
75	BOA	76	BOA	83	ÓTIMA	67	BOA
77	BOA	77	BOA	69	BOA	65	BOA
77	BOA	77	BOA	69	BOA	66	BOA
61	BOA	78	BOA	75	BOA	65	BOA
47	ACEITÁVEL	70	BOA	69	BOA	45	ACEITÁVEL
43	ACEITÁVEL	75	BOA	55	BOA	68	BOA
42	ACEITÁVEL	70	BOA	66	BOA	58	BOA
56	BOA	75	BOA	60	BOA	50	ACEITÁVEL
77	BOA	77	BOA	59	BOA	81	ÓTIMA

Vazante - 2010		Águas Baixas - 2010		Enchente - 2011	
IQA	Nível	IQA	Nível	IQA	Nível
72	BOA	66	BOA	72	BOA
79	ÓTIMA	80	ÓTIMA	75	BOA
82	ÓTIMA	81	ÓTIMA	75	BOA
76	BOA	50	ACEITÁVEL	80	ÓTIMA
57	BOA	54	BOA	59	BOA
50	ACEITÁVEL	61	BOA	50	ACEITÁVEL
56	BOA	57	BOA	44	ACEITÁVEL
51	BOA	70	BOA	49	ACEITÁVEL
90	ÓTIMA	80	ÓTIMA	81	ÓTIMA

A qualidade da água dos lagos e canais situou-se entre ACEITÁVEL e ÓTIMA para fins de abastecimento público na maior parte do período. Somente a estação CC.01 apresentou qualidade da água ACEITÁVEL em duas ocasiões (vazante e águas altas) e a estação LC.02 (águas baixas de 2010) devido à baixa saturação de oxigênio. O período de águas altas foi o período que apresentou maior quantidade de estações com qualidade da água ÓTIMA (Quadro 5.1-7).

**Quadro 5.1-7 - Índice de Qualidade da Água (IQA) nos tributários, nos períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011.**

Vazante - 2009		Águas Baixas - 2009		Enchente - 2010		Águas Altas - 2010	
IQA	Nível	IQA	Nível	IQA	Nível	IQA	Nível
71	BOA	77	BOA	72	BOA	71	BOA
53	BOA	73	BOA	63	BOA	77	BOA
41	ACEITÁVEL	71	BOA	79	ÓTIMA	48	ACEITÁVEL
75	BOA	69	BOA	78	BOA	81	ÓTIMA
73	BOA	76	BOA	55	BOA	82	ÓTIMA
63	BOA	61	BOA	74	BOA	85	ÓTIMA
74	BOA	78	BOA			81	ÓTIMA

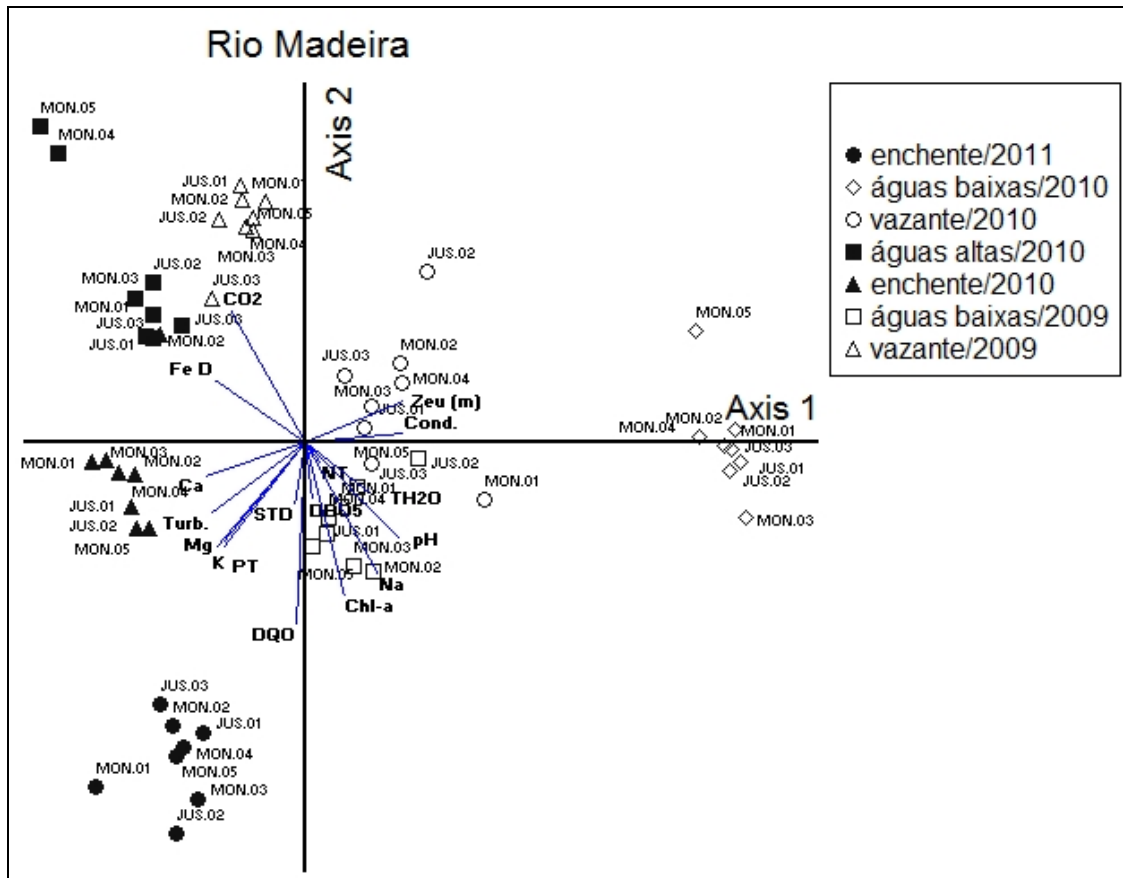
Vazante - 2010		Águas Baixas - 2010		Enchente - 2011	
IQA	Nível	IQA	Nível	IQA	Nível
82	ÓTIMA	61	BOA	64	BOA
86	ÓTIMA	74	BOA	79	BOA
65	BOA	62	BOA	64	BOA
66	BOA	76	BOA	62	BOA
69	BOA	81	ÓTIMA	81	ÓTIMA
72	BOA	39	ACEITÁVEL	71	BOA
67	BOA	81	ÓTIMA	73	BOA

### 5.1.1.15 - Ordenação espacial das variáveis limnológicas

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

As variáveis mais importantes e que se correlacionaram positivamente ao eixo 1 foram: Zeu (0,85), Th2o (0,57), Cond (0,85) pH (0,81) e Na (0,63). Por outro lado as variáveis mais importantes e que se correlacionaram negativamente ao eixo 1 foram: Turb. (-0,83), CO2 (-0,65), K (-0,80), Ca (-0,87), Mg (-0,71), PT (-0,72), FeD (-0,80); Não houve variáveis positivamente correlacionadas ao eixo 2 ( $d \geq 0,34$ ); As variáveis mais importantes e que se correlacionaram negativamente ao eixo 2 foram: no rio Madeira- DQO (-0,83) e Chla (-0,70). Pode-se notar ainda que a maior porcentagem, de explicação acumulou-se no eixo positivo no Rio Madeira (42,2%). Esse resultado explica a forte sazonalidade marcada no rio Madeira o que caracteriza diferenciadamente cada período hidrológico. Os quatro primeiros eixos da análise de

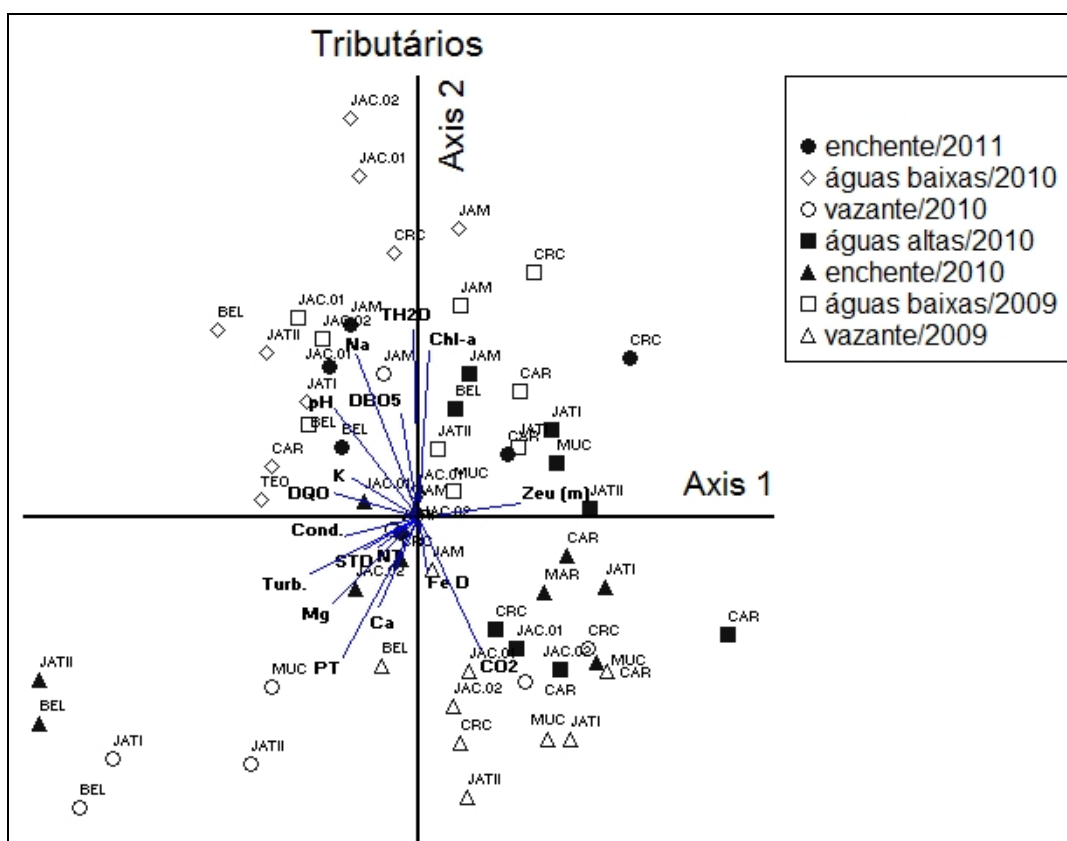
componentes principais, usando 17 variáveis abióticas foram significativos (autovetores > 1,0) e explicaram 77,2 %, da variabilidade dos dados no rio Madeira. No rio Madeira, a ACP separou os períodos do ciclo hidrológico de maneira muito clara (**Figura 5.1-252**). A variabilidade temporal foi o fator determinante na ordenação da ACP, sendo o pulso de inundação o fator direcionador dessa variabilidade. No período de águas altas de 2010 e vazante de 2009, as estações estiveram fortemente ligadas às concentrações de CO<sub>2</sub> e ferro dissolvido. Na vazante de 2010 as estações se agruparam por maiores valores de zona eufótica e condutividade. Já na enchente de 2011 e enchente de 2010 as estações apresentaram maiores valores de Ca, Turbidez, Magnésio, fósforo total, sólidos dissolvidos totais e DQO. Apesar de ter havido certa homogeneidade na distribuição das estações, o período de vazante de 2010 foi o que apresentou maior heterogeneidade entre as estações.



As siglas significam: (Zeu) para Zona eufótica; (T. água) Temperatura da água, (turb.) turbidez, (Cond) condutividade, pH, (CO<sub>2</sub>) dióxido de carbono livre, (STD) sólidos totais dissolvidos, (DBO<sub>5</sub>) demanda bioquímica de oxigênio em 5 dias, (DQO) demanda química de oxigênio, (Na) Sódio, (K) Potássio, (Ca) Cálcio, (Mg) Magnésio, (NT) nitrogênio total, (PT) fósforo total, (FeD) ferro dissolvido e (Chl-a) clorofila-a foram as variáveis consideradas nessas análises.

**Figura 5.1-252 - Posição das estações de coleta no rio Madeira (azul), ordenadas de acordo com os dois primeiros eixos da PCA durante os períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011. A explicabilidade dos quatro primeiros eixos foi de 77%.**

Os quatro primeiros eixos da análise de componentes principais, usando 17 variáveis abióticas foram significativos (autovetores > 1,0) e explicaram 64,0% da variabilidade dos dados nos tributários. A variável mais importante e que se correlacionou positivamente ao eixo 1 foi a Zeu (0,82). As variáveis mais importantes e que se correlacionaram negativamente ao eixo 1 foram: Turb (-0,87), STD (-0,44), Cond (-0,60), pH (-0,69), DQO (-0,69), K (-0,57), Mg (-0,70) e PT (-0,61). As variáveis mais importantes e que se correlacionaram positivamente ao eixo 2 foram TH2O (0,74), DBO5 (0,41), Na (0,64), Chla (0,65). A variável mais importante e que se correlacionou negativamente ao eixo 2 foi o CO2 (-0,53). Nos rios tributários, a ACP separou os períodos do ciclo hidrológico de forma menos definida do que no rio Madeira, haja vista que trata-se de ambientes diferentes (Figura 5.1-253). Apesar disso, o período do ciclo hidrológico parece ser o fator que melhor explica a variabilidade entre as estações. O período de vazante de 2009 foi o que as estações apresentaram maior grau de similaridade. Por outro lado, os períodos de águas baixas e enchente apresentaram grande heterogeneidade entre as estações.

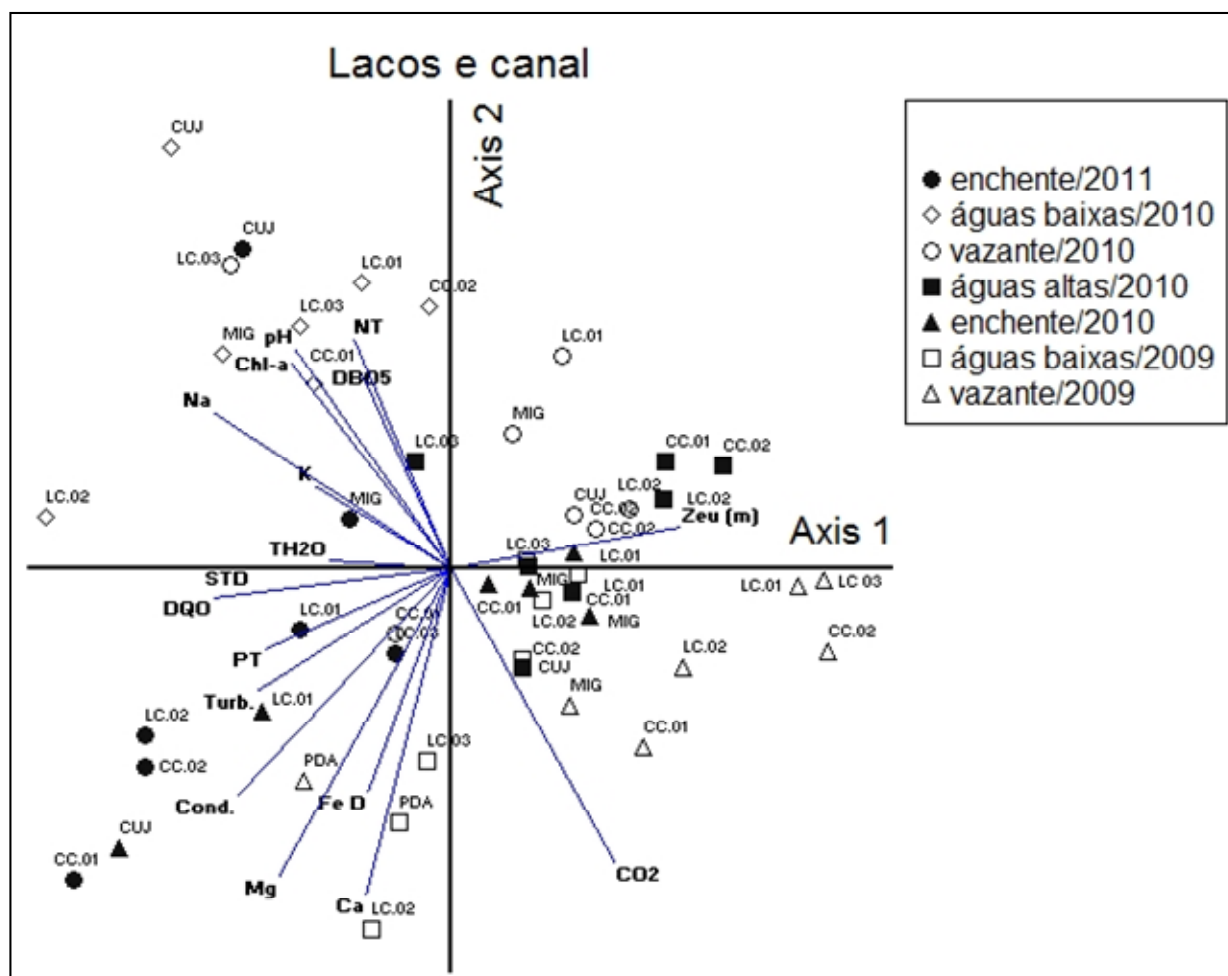


As siglas significam: (Zeu) para Zona eufótica; (T. água) Temperatura da água, (turb.) turbidez, (Cond) condutividade, pH, (CO2) dióxido de carbono livre, (STD) sólidos totais dissolvidos, (DBO5) demanda bioquímica de oxigênio em 5 dias, (DQO) demanda química de oxigênio, (Na) Sódio, (K) Potássio, (Ca) Cálcio, (Mg) Magnésio, (NT) nitrogênio total, (PT) fósforo total, (FeD) ferro dissolvido e (Chl-a) clorofila-a foram as variáveis consideradas nessas análises.

**Figura 5.1-253 - Posição das estações de coleta nos tributários (azul), ordenadas de acordo com os dois primeiros eixos da PCA durante os períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011. A explicabilidade dos quatro primeiros eixos foi de 77%.**



Os quatro primeiros eixos da análise de componentes principais, usando 17 variáveis abióticas foram significativos (autovetores > 1,0) e explicaram 65,5% da variabilidade dos dados nos lagos e canais. A variável mais importante e que se correlacionou positivamente ao eixo 1 foi a Zeu(0,70). As variáveis mais importantes e que se correlacionaram negativamente ao eixo 1 foram TH2O (-0,38), Turb. (-0,59), STD (-0,62), Cond (-0,66), Na (-0,73), K (-0,42), PT (-0,57), Chla (-0,49). As variáveis mais importantes e que se correlacionaram positivamente ao eixo 2 foram: DBO5 (0,41) e NT (0,49). As variáveis mais importantes e que se correlacionaram negativamente ao eixo 2 foram: DBO5 (0,41) e NT (0,49). As variáveis mais importantes e que se correlacionaram negativamente ao eixo 2 foram: CO2 (-0,63), Ca (-0,70), Mg (-0,66) e FeD (-0,48). Da mesma maneira que já fora mencionado para os tributários, a ACP não separou os períodos do ciclo hidrológico de maneira tão definida como no rio Madeira, uma vez que trata-se de ambientes diferentes (**Figura 5.1-254**). Apesar disso, o período do ciclo hidrológico mostrou-se um bom explicador da variabilidade entre as estações. O período de águas altas de 2010 foi o que apresentou maior homogeneidade entre as estações de coleta, principalmente devido a profundidade da zona eufótica.



As siglas significam: (Zeu) para Zona eufótica; (T. água) Temperatura da água, (turb.) turbidez, (Cond) condutividade, pH, (CO2) dióxido de carbono livre, (STD) sólidos totais dissolvidos, (DB05) demanda bioquímica de oxigênio em 5 dias, (DQO) demanda química de oxigênio, (Na) Sódio, (K) Potássio, (Ca) Cálcio, (Mg) Magnésio, (NT) nitrogênio total, (PT) fósforo total, (FeD) ferro dissolvido e (Chl-a) clorofila-a foram as variáveis consideradas nessas análises.

Figura 5.1-254 - Posição das estações de coleta nos lagos e canais (azul), ordenadas de acordo com os dois primeiros eixos da PCA durante os períodos hidrológicos ocorridos entre junho de 2009 e janeiro de 2011. A explicabilidade dos quatro primeiros eixos foi de 77%.