ÍNDICE

4.1.8 - Qualidade da Água e Limnologia (Item 4.1.2_142 a 157 do TR)..... 1/125

4.1.8.1 - Introdução..... 1/125

4.1.8.2 - Localização e Descrição das Estações de Coleta..... 3/125

4.1.8.3 - Metodologia..... 13/125

4.1.8.3.1 - Parâmetros Analisados..... 13/125

4.1.8.3.2 - Metodologia de Coleta..... 15/125

4.1.8.3.3 - Metodologia das Análises..... 20/125

4.1.8.4 - Análise dos Dados das Variáveis Ambientais..... 24/125

4.1.8.4.1 - Temperatura do Ar e da Água..... 27/125

4.1.8.4.2 - Radiação, Transparência de Água e Turbidez..... 28/125

4.1.8.4.3 - Oxigênio Dissolvido..... 31/125

4.1.8.4.4 - pH..... 32/125

4.1.8.4.5 - Alcalinidade e Potencial Redox..... 33/125

4.1.8.4.6 - Condutividade Elétrica..... 35/125

4.1.8.4.7 - Sólidos Totais e Dissolvidos..... 36/125

4.1.8.4.8 - Nutrientes..... 38/125

4.1.8.4.9 - Sulfato, Cloreto e Potássio..... 46/125

4.1.8.4.10 - Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio..... 48/125

4.1.8.4.11 - Clorofila-*a*..... 50/125

4.1.8.4.12 - Bacteriológicos – Coliformes Termotolerantes..... 51/125

4.1.8.4.13 - Metais – Água e Sedimento..... 53/125

4.1.8.4.14 - Análise Espaço-Temporal Integrada - Variáveis Ambientais... 58/125

4.1.8.5 - Análise dos Dados Bióticos..... 66/125

4.1.8.5.1 - Fitoplâncton (Item 4.2.1_205 a 209 do TR)..... 66/125

4.1.8.5.2 - Zooplâncton (Item 4.2.1_210 a 218 do TR)..... 78/125

4.1.8.5.3 - Macroinvertebrados Aquáticos..... 86/125

4.1.8.5.4 - Macroinvertebrados Bentônicos (Item 4.2.1_219 a 226 do TR) 91/125

4.1.8.5.5 - Macrolagas..... 98/125

4.1.8.5.6 - Macrófitas Aquáticas (Item 4.2.1_227 a 233 do TR) 106/125

4.1.8.6 - Considerações Finais 115/125

ANEXOS

Anexo 4.1.8-1 Laudos

Anexo 4.1.8-2 Resultados

Anexo 4.1.8-3 Pranchas

Anexo 4.1.8-4 Modelagem

Legendas

Figura 4.1.8-1 - Precipitação diária registrada na estação Ilha dos Pombos entre outubro de 2008 e junho de 2009. As barras horizontais (vermelho) representam os períodos de amostragem 3/125

Quadro 4.1.8-1 - Coordenadas geográficas dos pontos de amostragem na área de influência da UHE Itaocara 5/125

Quadro 4.1.8-2 - Data, hora e descrição do tempo no momento da amostragem de cada estação de coleta, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 6/125

Figura 4.1.8-2 - Ponto P1, localizado no rio Paraíba do Sul, a jusante da UHE Ilha dos Pombos. Este ponto estará inserido na área de remanso do primeiro reservatório da UHE Itaocara 7/125

Figura 4.1.8-3 - Ponto P2, localizado no rio Angu, tributário que deságua o rio Paraíba do Sul no ponto que estará na área de remanso do primeiro reservatório da UHE Itaocara 7/125

Figura 4.1.8-4 - Ponto P3, localizado no rio Paraíba do Sul, a jusante do rio Angu, este ponto estará inserido aproximadamente no centro do primeiro reservatório da UHE Itaocara 8/125

Figura 4.1.8-5 - Ponto P4, localizado no rio Paraíba do Sul, próximo ao município de Estrela D'Alva-MG. Este trecho do rio corresponde à região a montante do eixo do primeiro reservatório da UHE Itaocara 8/125

Figura 4.1.8-6 - Ponto P5, localizado no rio Paraíba do Sul, a jusante do município de São Sebastião do Paraíba-RJ. Esta área estará a jusante do primeiro e a montante do segundo reservatório da UHE Itaocara 9/125

Figura 4.1.8-7 - Ponto P6, localizado no rio Paraíba do Sul, inserido na área de remanso do segundo reservatório da UHE Itaocara 9/125

Figura 4.1.8-8 - Ponto P7, localizado no rio Pirapetinga, na Cachoeira dos Patos. Este tributário do rio Paraíba do Sul é parte da área que será modificada pelo empreendimento de construção da UHE Itaocara 10/125

Figura 4.1.8-9 - Ponto P8, localizado no rio Paraíba do Sul, no trecho que corresponderá ao limite do primeiro terço do segundo reservatório da UHE Itaocara 10/125

Figura 4.1.8-10 - Ponto P9, localizado no rio Paraíba do Sul. A área corresponde ao trecho a montante do eixo do segundo reservatório da UHE Itaocara 11/125

Figura 4.1.8-11 - Ponto P10, localizado no rio Paraíba do Sul, a montante do município de Batatal-RJ. A área corresponde à região a jusante do segundo reservatório da UHE Itaocara 11/125

Figura 4.1.8-12 - Ponto P11, localizado no rio Paraíba do Sul, a montante do município de Itaocara-RJ 12/125

Figura 4.1.8-13 - Ponto P12, localizado no rio Paraíba do Sul, a jusante da cidade de Itaocara-RJ 12/125

Quadro 4.1.8-3 - Metais e arsênio analisados no sedimento, em novembro de 2008 (enchente), na área de influência da UHE Itaocara 13/125

Quadro 4.1.8-4 - Parâmetros biológicos analisados em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 13/125

Quadro 4.1.8-5 - Parâmetros físicos, químicos e bacteriológico medidos no ar e na água, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 14/125

Figura 4.1.8-14 – (A) Disco de Secchi, utilizado para a determinação da transparência da coluna d'água. (B) Sonda compacta multiparâmetros, modelo YSI-6920 ..... 15/125

Figura 4.1.8-15 - Rede de plâncton de 45 µm de malha, utilizada para coleta de amostra para análise qualitativa de fitoplâncton 16/125

Figura 4.1.8-16 - Rede de plâncton de 68 µm de malha, utilizada para coleta de amostra para análise quantitativa e qualitativa de zooplâncton 17/125

Figura 4.1.8-17 - Quadrado de PVC, de 3600 cm^2, utilizado na amostragem para análise quantitativa de macroalgas 17/125

Figura 4.1.8-18 - Metodologia de coleta de macrófitas aquáticas. A – quadrante de 0,25 m², do qual toda a biomassa de macrófitas foi retirada para a análise quantitativa. B – Gancho para coleta de macrófitas submersas 18/125

Figura 4.1.8-19 - Peneira de malha de 200 µm utilizada para coleta de macroinvertebrados aquáticos associados a bancos de macrófitas aquáticas 19/125

Figura 4.1.8-20 - Cores utilizados na coleta de sedimento para análise da comunidade de macroinvertebrados bentônicos 19/125

Quadro 4.1.8-6 - Métodos utilizados para a determinação de parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos da água, na área de influência da UHE Itaocara.....20/125

Quadro 4.1.8-7 - Métodos utilizados para a determinação das concentrações de metais e arsênio no sedimento, na área de influência da UHE Itaocara 21/125

Quadro 4.1.8-8 - Resultados das análises de metais e arsênio realizadas no sedimento, em novembro de 2008 (enchente), na área de influência da UHE Itaocara 25/125

Quadro 4.1.8-9 - Resultados das análises físicas, químicas e bacteriológicas, realizadas no ar e na água, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. Os dados estão apresentados em média (e desvio padrão) 26/125

Figura 4.1.8-21 - Variação da Temperatura do Ar (°C), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 27/125

Figura 4.1.8-22 - Variação da Temperatura da Água (°C), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 28/125

Figura 4.1.8-23 - Variação da Radiação Atmosférica (µE), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 29/125

Figura 4.1.8-24 - Variação da Transparência (m), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 30/125

Figura 4.1.8-25 - Variação da Turbidez (NTU), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. A linha tracejada indica o limite da Resolução Conama nº 357/05 .....30/125

Figura 4.1.8-26 - Relação entre turbidez da água e concentração de sólidos totais para amostras coletadas nas 12 estações, durante as quatro campanhas. A reta representa o ajuste para a regressão linear entre as variáveis (r^2=0,8; p<0,05) 31/125

Figura 4.1.8-27 - Concentrações de Oxigênio Dissolvido (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), ...32/125

janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. A linha tracejada indica o limite da Resolução Conama nº 357/05.....32/125

Figura 4.1.8-28 - Variação do pH, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. As linhas tracejadas indicam os limites da Res. CONAMA 357/05.....33/125

Figura 4.1.8-29 - Variação da Alcalinidade (µEq/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 34/125

Figura 4.1.8-30 - Variação do Potencial Redox (mV), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 35/125

Figura 4.1.8-31 - Variação da Condutividade (µS/cm), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 36/125

Figura 4.1.8-32 - Concentrações de Sólidos Totais (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 37/125

Figura 4.1.8-33 - Concentrações de Sólidos Dissolvidos (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. A linha tracejada indica o limite da Resolução Conama nº 357/05 .....38/125

Figura 4.1.8-34 - Concentrações de Nitrogênio amoniacal total (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. O limite da Res. CONAMA 357/05 é 3,7 mg/L 39/125

Figura 4.1.8-35 - Concentrações de Nitrato (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. O limite da Resolução Conama nº 357/05 é 10 mg/L 40/125

Figura 4.1.8-36 - Concentrações de Nitrito (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. O limite da Resolução Conama nº 357/05 é 1,0 mg/L 41/125

Figura 4.1.8-37 - Concentrações de Nitrogênio Total (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 42/125

Figura 4.1.8-38 - Concentrações de Fosfato (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 43/125

Figura 4.1.8-39 - Concentrações de Fósforo Total (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. O limite da Res. CONAMA 357/05 é 0,1 mg/L 44/125

Quadro 4.1.8-10 - Categorias de estado trófico baseadas na qualidade da água.....45/125

Figura 4.1.8-40 - Concentrações de Sílica (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 46/125

Figura 4.1.8-41 - Concentrações de Sulfato (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de

influência da UHE Itaocara. O limite da Resolução Conama nº 357/05 é 250 mg/L 47/125

Figura 4.1.8-42 - Concentrações de Cloreto (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. O limite da Resolução Conama nº 357/05 é 250 mg/L 47/125

Figura 4.1.8-43 - Concentrações de Potássio (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 48/125

Figura 4.1.8-44 - Variação da DBO (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. A linha tracejada indica o limite da Resolução Conama nº 357/05 .....49/125

Figura 4.1.8-45 - Variação da DQO (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 50/125

Figura 4.1.8-46 - Concentrações de Clorofila *a* (µg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. O limite da Resolução Conama nº 357/05 é 30 µg/L 51/125

Figura 4.1.8-47 - Variação dos Coliformes Termotolerantes (UFC/100ml), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. A linha tracejada indica o limite da Resolução Conama nº 357/05.....52/125

Figura 4.1.8-48 - Concentrações de Alumínio, Ferro, Cobalto e Cobre (mg/L) na água, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. As linhas tracejadas indicam os limites da Resolução Conama nº 357/05 .....54/125

Figura 4.1.8-49 - Variação de Cádmio, Níquel, Cromo, Chumbo e Zinco (mg/L) na água, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante)

e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. As linhas tracejadas indicam os limites da Resolução Conama nº 357/05 ..... 55/125

Figura 4.1.8-50 - Concentrações de Alumínio, Ferro, Cobalto e Cobre (mg/kg) no sedimento, em novembro-08 (enchente), na área de influência da UHE Itaocara..... 56/125

Figura 4.1.8-51 - Concentrações de Cádmio, Níquel, Cromo, Chumbo e Zinco (mg/kg) no sedimento, em novembro-09 (enchente), na área de influência da UHE Itaocara 57/125

Figura 4.1.8-52 - Dendograma dos agrupamentos das estações de amostragem com base nas concentrações de metais e arsênio encontradas no sedimento na campanha de novembro-08 (enchente)..... 58/125

Quadro 4.1.8-11 - Correlações das variáveis limnológicas com os eixos das análises de componentes principais (ACP) para variabilidade temporal. Foram consideradas as correlações > 0,7 ..... 60/125

Figura 4.1.8-53 - Diagrama de ordenação dos dois primeiros eixos da ACP para as estações de coleta, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 61/125

Figura 4.1.8-54 – Análise de agrupamentos dos pontos amostrais considerando as quatro campanhas 63/125

Figura 4.1.8-55 - Análise de agrupamentos dos pontos amostrais na campanha de novembro/08 ..... 64/125

Figura 4.1.8-56 - Análise de agrupamentos dos pontos amostrais na campanha de janeiro/09..... 64/125

Figura 4.1.8-57 - Análise de agrupamentos dos pontos amostrais na campanha de abril/09..... 65/125

Figura 4.1.8-58 - Análise de agrupamentos dos pontos amostrais na campanha de junho/09 ..... 65/125

Figura 4.1.8-59 - Contribuição relativa média das classes de algas para a riqueza total do fitoplâncton, na área de influência da UHE Itaocara..... 67/125

Figura 4.1.8-60 - Riqueza fitoplanctônica total, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 68/125

Figura 4.1.8-61 - Número de táxons dos principais grupos fitoplanctônicos, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca) 69/125

Figura 4.1.8-62 - Contribuição relativa das classes de algas para o número de táxons fitoplanctônicos, por ponto de amostragem, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 70/125

Figura 4.1.8-63 - Densidade total do fitoplâncton, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 71/125

Figura 4.1.8-64 - Contribuição relativa das classes de algas para a densidade fitoplanctônica, por ponto de amostragem, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 72/125

Figura 4.1.8-65 - Contribuição relativa das classes de algas para a densidade fitoplanctônica, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara.....73/125

Figura 4.1.8-66 - Densidade total de cianobactérias (células/mL) em abril de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. A linha preta indica o valor referentes à densidade de cianobactérias considerada como limite para águas de Classe 2, pela Resolução Conama nº357/05 .....74/125

Figura 4.1.8-67 - Variação da diversidade de espécies fitoplanctônicas, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 75/125

Quadro 4.1.8-12 - Correlações (Spearman) entre o fitoplâncton total e os principais grupos com as variáveis ambientais e nas estações amostrais na área de influência da UHE Itaocara (somente são mostradas as correlações significativas, p<0,05).....76/125

Figura 4.1.8-68 - Análise de Correspondências Canônicas das variáveis abióticas e biológicas (espécies do fitoplâncton) nas estações amostrais na área de influência da UHE Itaocara 77/125

Quadro 4.1.8-13 - Correlações (Spearman) entre o fitoplâncton total e os principais grupos com as variáveis ambientais e nas estações amostrais na área de influência da UHE Itaocara (somente são mostradas as correlações significativas, p<0,05) 78/125

Figura 4.1.8-69 - Contribuição relativa média dos grupos zooplanctônicos paraa riqueza total, na área de influência da UHE Itaocara 79/125

Figura 4.1.8-70 - Riqueza zooplanctônica total, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 80/125

Figura 4.1.8-71 - Contribuição relativa dos grupos zooplanctônicos para o número de táxons, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 81/125

Figura 4.1.8-72 - Densidade total do zooplâncton, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 82/125

Figura 4.1.8-73 - Contribuição relativa dos grupos zooplanctônicos para densidade total, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 83/125

Figura 4.1.8-74 - Diversidade de espécies zooplanctônicas, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 84/125

Quadro 4.1.8-14 - Correlações (Spearman) entre a densidade do zooplâncton total e dos principais grupos com as variáveis ambientais e as densidades dos principais grupos fitoplanctônicos e nas estações amostrais na área de influência da UHE Itaocara (somente são mostradas as correlações significativas, p<0,05) 84/125

Figura 4.1.8-75 - Análise de Redundâncias das variáveis abióticas e biológicas (grupos do zooplâncton e fitoplâncton) nas estações amostrais na área de influência da UHE Itaocara 85/125

Figura 4.1.8-76 - Número táxons de macroinvertebrados aquáticos por filo, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 87/125

Figura 4.1.8-77 - Riqueza taxonômica da comunidade de macroinvertebrados aquáticos, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 87/125

Figura 4.1.8-78 - Contribuição relativa dos táxons de macroinvertebrados aquáticos, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. Nenhum organismo foi registrado nos pontos P1 e P6 em novembro de 2008 (enchente) 88/125

Figura 4.1.8-79 - Proporção relativa de táxons encontrados por hábito alimentar, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. Nenhum organismo foi registrado nos pontos P1 e P6 em novembro de 2008 (enchente) 89/125

Figura 4.1.8-80 - Diagrama de ordenação da análise de componentes principais (PCA) considerando a ocorrência dos grupos de macroinvertebrados aquáticos, em novembro de 2008 (enchente, pontos em roxo), janeiro de 2009 (cheia, pontos em preto), abril de 2009 (vazante, pontos em verde) e junho de 2009 (seca, pontos em amarelo), na área de influência da UHE Itaocara 90/125

Figura 4.1.8-81 - Número táxons de macroinvertebrados bentônicos por filo, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 91/125

Figura 4.1.8-82 - Riqueza taxonômica da comunidade de macroinvertebrados bentônicos, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca) 92/125

Figura 4.1.8-83 - Densidade de macroinvertebrados bentônicos nas estações de coleta, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 92/125

Figura 4.1.8-84 - Densidade média de macroinvertebrados bentônicos, por filo, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 93/125

Figura 4.1.8-85 - Contribuição relativa de macroinvertebrados bentônicos, por grupos taxonômicos, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 94/125

Figura 4.1.8-86 - Proporção relativa dos táxons encontrados, por hábito alimentar, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 96/125

Figura 4.1.8-87 - Diversidade de espécies de macroinvertebrados bentônicos, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca) 97/125

Figura 4.1.8-88 - Diagrama de ordenação da análise de componentes principais (PCA) considerando a ocorrência dos grupos de macroinvertebrados bentônicos, em novembro de 2008 (enchente, pontos em roxo), janeiro de 2009 (cheia, pontos em preto), abril de 2009 (vazante, pontos em verde) e junho de 2009 (seca, pontos em amarelo) 97/125

Figura 4.1.8-89 - Riqueza total de macroalgas, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 99/125

Figura 4.1.8-90 - Contribuição relativa das divisões de macroalgas para o número total de táxons, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 100/125

Figura 4.1.8-91 - Abundância (percentual de cobertura) das divisões de macroalgas, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante)

e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. Observar a diferença nas escalas entre as campanhas 101/125

Figura 4.1.8-92 - Análise de Agrupamento baseada na composição florística das macroalgas em cada ponto de amostragem, em novembro de 2008 (1, enchente), janeiro de 2009 (2, cheia), abril de 2009 (3, vazante) e junho de 2009 (4, seca), na área de influência da UHE Itaocara. Índice de Correlação Cofenética: 0.89758 104

Figura 4.1.8-93 - Riqueza de macrófitas aquáticas, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 108/125

Quadro 4.1.8-15 – Estandes de macrófitas livre-flutuantes encontrados ao longo do rio Paraíba do Sul e seus tributários durante as coletas realizadas 109/125

Figura 4.1.8-94 – Estande de *Pistia stratiotes* L., registrado no ponto P3, em abril-09 ..... 110/125

Figura 4.1.8-95 – Estande de *Salvinia auriculata*, registrado no ponto P3, em junho-09 ..... 110/125

Figura 4.1.8-96 – Estande de *Eichhornia crassipes* (Mart.), registrado no ponto P12 em novembro de 2008 ..... 111/125

Figura 4.1.8-97 - Biomassa de macrófitas aquáticas, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 113/125

Figura 4.1.8-98 - Correlação entre as concentrações médias de fósforo total (PT) e as biomassas médias de macrófitas aquáticas nas quatro campanhas 113/125

Figura 4.1.8-99 - Diagrama de ordenação da análise de Bray-Curtis considerando composição florística da comunidade de macrófitas aquáticas, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara 114/125

4.1.8 - Qualidade da Água e Limnologia (Item 4.1.2_142 a 157 do TR)

AID

4.1.8.1 - Introdução

A UHE Itaocara está prevista para se localizar no trecho médio baixo do rio Paraíba do Sul. A bacia do rio Paraíba do Sul encontra-se em território de Mata Atlântica completamente antropizado, com floresta original restrita a parques e reservas florestais. As principais atividades econômicas atualmente desenvolvidas na bacia são ligadas aos setores industriais e agropecuários, sendo o vale do Paraíba uma das maiores regiões industriais do país. Desde sua nascente até sua foz em forma de delta em Atafona e São João da Barra, no norte fluminense, o rio Paraíba do Sul percorre um percurso total de 1.120 km, passando por 180 municípios, sendo 53 no estado do Rio de Janeiro, 88 em Minas Gerais e 39 em São Paulo. Com uma população estimada em 5,5 milhões de habitantes e drenando uma das áreas mais desenvolvidas do país, a bacia do Paraíba do Sul constitui uma das principais bacias hidrográficas do Brasil.

O rio Paraíba do Sul recebe as águas de rios dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. O empreendimento será situado entre os municípios de Itaocara e Aperibé, aproximadamente 8 km a montante da cidade de Itaocara e 49 km a jusante da UHE Ilha dos Pombos, no noroeste do estado do Rio de Janeiro e será projetado para uma capacidade instalada de geração de 195 MW.

Usinas hidroelétricas, assim como todo empreendimento energético, geram impactos ambientais em escalas locais e regionais. A construção de reservatórios assume importante papel no zoneamento biogeográfico, uma vez que transformam sistemas lóticos em sistemas lênticos. Dentre as modificações ambientais causadas por usinas hidroelétricas, destacam-se: o alagamento de áreas vizinhas, mudança no tempo de residência da água, com implicações na vazão e no nível dos rios, mudanças na da turbidez e nas características físicas e químicas da água, podendo ou não interferir na flora e na fauna da região. Mudanças como estas podem ser acompanhadas ou até mesmo controladas a partir do monitoramento das populações de organismos aquáticos, que constituem uma importante ferramenta de indicação da qualidade da água.

Como previsto na Lei nº 9.433/07, os corpos hídricos devem ser enquadrados em classes relacionadas aos seus usos. O enquadramento é considerado um instrumento de gestão para assegurar às águas qualidade compatível com o uso mais exigente ao qual o recurso hídrico é

destinado. A legislação que rege o enquadramento dos corpos hídricos, determinando limites para os parâmetros de qualidade da água, é a Resolução Conama nº 357/05.

De acordo com análises apresentadas no Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul (Fundação COPPETEC 2006), esta bacia apresenta um quadro frágil de qualidade da água. De fato, a grande maioria dos pontos amostrados nesse estudo, tanto no rio Paraíba do Sul quanto nos tributários, apresentou elevados índices de violação dos limites estabelecidos pela Resolução Conama nº 357/05, com destaque para os seguintes parâmetros: fósforo total, alumínio, coliformes fecais, coliformes totais, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fenóis, sulfetos, chumbo e cádmio. No entanto, a maior parte do rio Paraíba do Sul e seus tributários apresentou alta disponibilidade de oxigênio dissolvido, em função de suas características físicas, favoráveis à oxigenação. Este aspecto é importante para a manutenção dos mecanismos de oxidação da matéria orgânica residual. Ainda assim, os elevados teores de coliformes, compostos fosfatados e DBO evidenciam um intenso processo de contaminação por material orgânico.

O rio Paraíba do Sul, no trecho que sofrerá influência da UHE Itaocara, enquadra-se na Classe 2. Uma vez que ainda não foi realizado o enquadramento dos tributários amostrados neste estudo, os rios Pirapetinga e Angu, os mesmos ficam enquadrados na Classe 2 (artigo 42 da Resolução Conama nº 357/05). As águas de Classe 2 podem ser destinadas: ao abastecimento, desde que após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação; à aqüicultura e à atividades de pesca.

Para a elaboração do diagnóstico da qualidade da água no trecho do Paraíba do Sul onde será instalada a UHE Itaocara foram realizadas quatro campanhas de amostragem: em novembro de 2008 (17 a 19-11-2008), janeiro (27 a 29-01-2009), abril (27 a 30-04-2009) e junho (22 a 24-06-2009) de 2009. Estas campanhas abrangeram os períodos de enchente (novembro-08), cheia (janeiro-09), vazante (abril-09) e seca (junho-09). Os períodos de enchente e cheia foram caracterizados pela freqüente ocorrência de chuva, enquanto os períodos de vazante e seca corresponderam à fase de estiagem (**Figura 4.1.8-1**). Dados físicos, químicos, e biológicos foram obtidos em cada uma das campanhas.

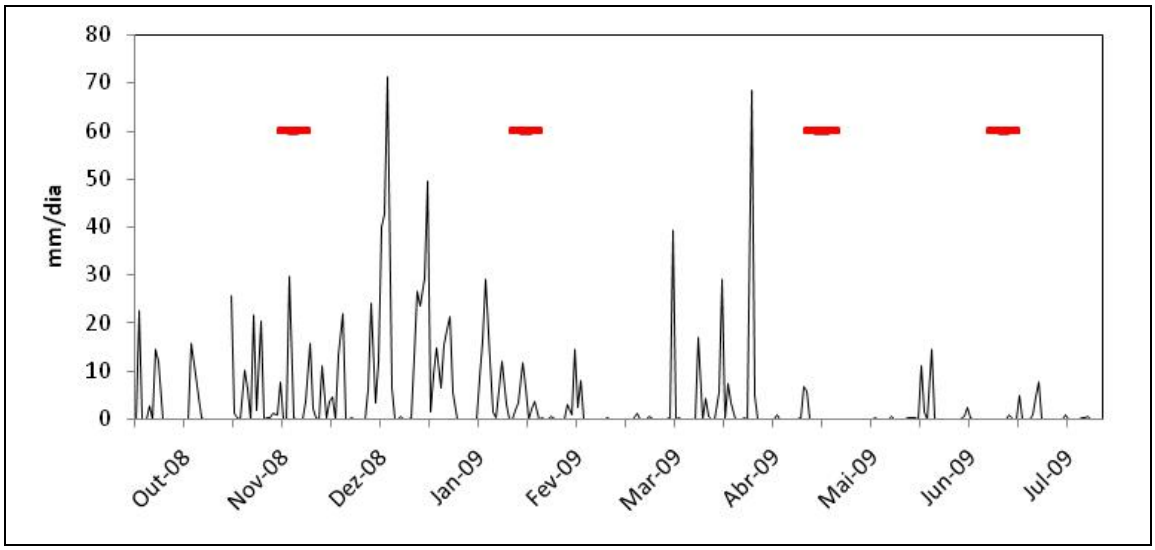


Figura 4.1.8-1 - Precipitação diária registrada na estação Ilha dos Pombos entre outubro de 2008 e junho de 2009. As barras horizontais (vermelho) representam os períodos de amostragem

4.1.8.2 - Localização e Descrição das Estações de Coleta

Para o monitoramento limnológico e da qualidade da água na área de implantação da UHE Itaocara foram definidas 12 estações de amostragem, sendo 10 localizadas no rio Paraíba do Sul e 2 em rios tributários que sofrerão modificações com o alagamento da região. Os pontos foram nomeados de P1 (ponto mais a montante) a P12 (ponto mais a jusante). Foram evitadas áreas de remanso, de modo que em todas as estações amostradas a água apresentou velocidade semelhante àquela observada na calha central dos rios. Suas coordenadas geográficas estão apresentadas no **Quadro 4.1.8-1**. As datas e horários de coleta, assim como a descrição do tempo em cada ponto de amostragem, estão apresentados no **Quadro 4.1.8-2**. Fotos retiradas nos pontos, nas quatro campanhas, estão apresentadas nas **Figura 4.1.8-2** a **Figura 4.1.8-13**. É importante ressaltar que não foi observada, durante a amostragem, a presença de lixo ou odor característico na água em nenhum dos pontos de coleta.

As particularidades de cada ponto de amostragem estão descritas à seguir:

P1: Ponto localizado no rio Paraíba do Sul, a jusante da UHE Ilha dos Pombos. Este ponto estará inserido na área de remanso do primeiro reservatório da UHE Itaocara. O local de coleta foi caracterizado pelo predomínio de substrato rochoso.

P2: Ponto no rio Angu, tributário que deságua o rio Paraíba do Sul, na área de remanso do primeiro reservatório da UHE Itaocara. A coleta nesta estação foi realizada próxima a um trecho encachoeirado.

P3: Ponto localizado no rio Paraíba do Sul, a jusante do rio Angu. Este ponto estará inserido aproximadamente no centro do primeiro reservatório da UHE Itaocara. A margem pela qual a coleta foi realizada possui grande banco de macrófita (Polygonum ferrugineum). A margem oposta destacou-se pela presença de vegetação arbórea densa. Este ponto localiza-se dentro de uma fazenda, base de uma equipe de prospecção de minerais no rio. Foi observada a presença de gado e galões de óleo próximos à margem do rio.

P4: Ponto localizado no rio Paraíba do Sul, próximo ao município de Estrela D'Alva-MG. Este trecho do rio corresponde à região a montante do eixo do primeiro reservatório da UHE Itaocara. Em torno do local de coleta foi observada uma grande área de pasto, com declive acentuado na margem do rio.

P5: Ponto localizado no rio Paraíba do Sul, a jusante do município de São Sebastião do Paraíba-RJ. Esta área estará a jusante do primeiro e a montante do segundo reservatório da UHE Itaocara. Haviam algumas casas próximas a este ponto. Um dos moradores, inclusive, utilizava a margem do ponto de coleta como horta. Este ponto encontrava-se sempre capinado e limpo.

P6: Ponto localizado no rio Paraíba do Sul, inserido na área de remanso do segundo reservatório da UHE Itaocara. A coleta foi realizada próxima a um pasto. Esta área de pasto, durante o período chuvoso, apresentava-se parcialmente inundada.

P7: Ponto localizado no rio Pirapetinga, na Cachoeira dos Patos. Este tributário do rio Paraíba do Sul é parte da área que será modificada pelo empreendimento de construção da UHE Itaocara. A coleta foi realizada em um trecho bastante encachoeirado, com algumas casas nas proximidades.

P8: Ponto localizado no rio Paraíba do Sul, no trecho que corresponderá ao limite do primeiro terço do segundo reservatório da UHE Itaocara. As coletas foram realizadas nos fundos de uma casa. No período de seca, no entanto, foi possível caminhar até um ponto mais central da calha do rio e coletar sobre uma extensa ilha de pedras. Próximo a este ponto, foi possível observa algumas plantações.

P9: Ponto localizado no rio Paraíba do Sul, correspondendo ao trecho a montante do eixo do segundo reservatório da UHE Itaocara. Apenas este ponto de coleta foi caracterizado por um reduzido fluxo de água na margem amostrada, devido à formação de ilhas de macrófitas emersas. Foi observado, ainda, o acúmulo de macrófitas flutuantes nestas ilhas. Na margem oposta do rio, foram observados equipamentos para a extração de areia.

P10: Ponto localizado no rio Paraíba do Sul, a montante do município de Batatal-RJ. A área corresponde à região a jusante do segundo reservatório da UHE Itaocara. Este ponto fica muito próximo a uma extensa plantação de quiabo.

P11: Ponto localizado no rio Paraíba do Sul, a montante do município de Itaocara-RJ. Durante campanha realizada em junho-09, este ponto se destacou pela presença de um grande banco de macrófitas submersas (Mourera aspera).

P12: Ponto localizado no rio Paraíba do Sul, a jusante da cidade de Itaocara-RJ. Este ponto encontra-se dentro de um pasto. A coleta foi realizada a poucos metros de um curral.

Quadro 4.1.8-1 - Coordenadas geográficas dos pontos de amostragem na área de influência da UHE Itaocara

Ponto	Coordenadas Geográficas	
P1	21 50 08.1 S	42 34 49.2 W
P2	21 47 10.8 S	42 31 17.4 W
P3	21 48 20.1 S	42 30 13.1 W
P4	21 46 13.6 S	42 25 13.2 W
P5	21 45 05.8 S	42 23 06.1 W
P6	21 44 30.5 S	42 19 20.1 W
P7	21 42 26.4 S	42 16 03.1 W
P8	21 40 56.0 S	42 11 48.4 W
P9	21 41 37.6 S	42 09 39.7 W
P10	21 42 42.7 S	42 08 17.1 W
P11	21 41 23.1 S	42 06 54.6 W
P12	21 39 26.2 S	42 03 54.6 W

Quadro 4.1.8-2 - Data, hora e descrição do tempo no momento da amostragem de cada estação de coleta, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

Ponto	Campanha	Data (dd/mm/aaaa)	Hora	Tempo
P1	nov/08	17/11/2008	14:40	Nublado
	jan/09	27/01/2009	13:00	Nublado
	jun/09	22/06/2009	15:50	Sol
	Abr-09	27/04/2009	12:07	Sol
P2	nov/08	18/11/2008	09:10	Nublado
	jan/09	27/01/2009	17:30	Nublado
	jun/09	23/06/2009	08:30	Sol
	Abr-09	28/04/2009	08:00	Sol
P3	nov/08	17/11/2008	12:15	Céu parcialmente encoberto
	jan/09	27/01/2009	10:35	Céu parcialmente encoberto
	jun/09	22/06/2009	13:20	Sol
	Abr-09	27/04/2009	14:36	Sol
P4	nov/08	18/11/2008	11:46	Nublado
	jan/09	28/01/2009	09:00	Nublado
	jun/09	23/06/2009	10:10	Sol
	Abr-09	28/04/2009	10:21	Sol
P5	nov/08	18/11/2008	15:40	Nublado
	jan/09	28/01/2009	10:30	Nublado
	jun/09	23/06/2009	11:30	Sol
	Abr-09	28/04/2009	14:11	Sol
P6	nov/08	18/11/2008	18:11	Nublado
	jan/09	28/01/2009	14:00	Nublado
	jun/09	23/06/2009	13:00	Sol
	Abr-09	28/04/2009	02:40	Sol
P7	nov/08	19/11/2008	08:35	Sol
	jan/09	29/01/2009	17:30	Sol
	jun/09	23/06/2009	15:35	Sol
	Abr-09	29/04/2009	08:34	Sol
P8	nov/08	19/11/2008	11:00	Sol
	jan/09	29/01/2009	15:00	Sol
	jun/09	24/06/2009	08:20	Sol
	Abr-09	29/04/2009	10:59	Sol
P9	nov/08	19/11/2008	15:20	Nublado
	jan/09	29/01/2009	08:30	Nublado
	jun/09	24/06/2009	10:00	Sol
	Abr-09	29/04/2009	14:31	Sol
P10	nov/08	19/11/2008	16:47	Nublado
	jan/09	29/01/2009	10:00	Nublado
	jun/09	24/06/2009	11:30	Sol
	Abr-09	29/04/2009	16:20	Sol
P11	nov/08	19/11/2008	17:46	Nublado, com chuva fina
	jan/09	29/01/2009	11:00	Nublado, com chuva fina
	jun/09	24/06/2009	12:20	Sol
	Abr-09	30/04/2009	08:24	Sol
P12	nov/08	19/11/2008	13:45	Nublado
	jan/09	29/01/2009	12:30	Nublado
	jun/09	24/06/2009	15:00	Sol
	Abr-09	30/04/2009	09:40	Sol

Figura 4.1.8-2 - Ponto P1, localizado no rio Paraíba do Sul, a jusante da UHE Ilha dos Pombos. Este ponto estará inserido na área de remanso do primeiro reservatório da UHE Itaocara

Figura 4.1.8-3 - Ponto P2, localizado no rio Angu, tributário que deságua o rio Paraíba do Sul no ponto que estará na área de remanso do primeiro reservatório da UHE Itaocara

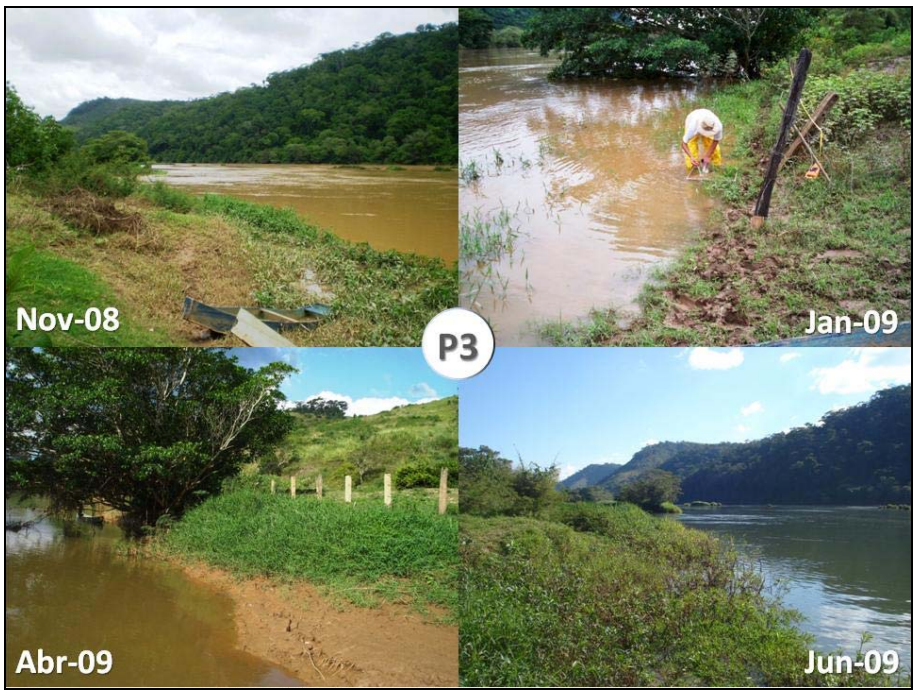


Figura 4.1.8-4 - Ponto P3, localizado no rio Paraíba do Sul, a jusante do rio Angu, este ponto estará inserido aproximadamente no centro do primeiro reservatório da UHE Itaocara

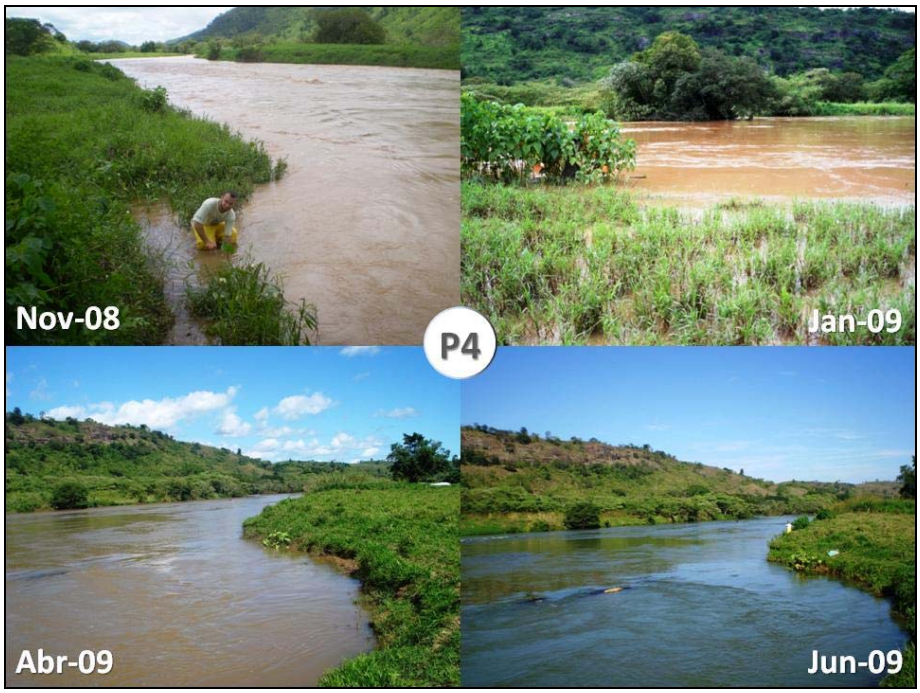


Figura 4.1.8-5 - Ponto P4, localizado no rio Paraíba do Sul, próximo ao município de Estrela D'Alva-MG. Este trecho do rio corresponde à região a montante do eixo do primeiro reservatório da UHE Itaocara

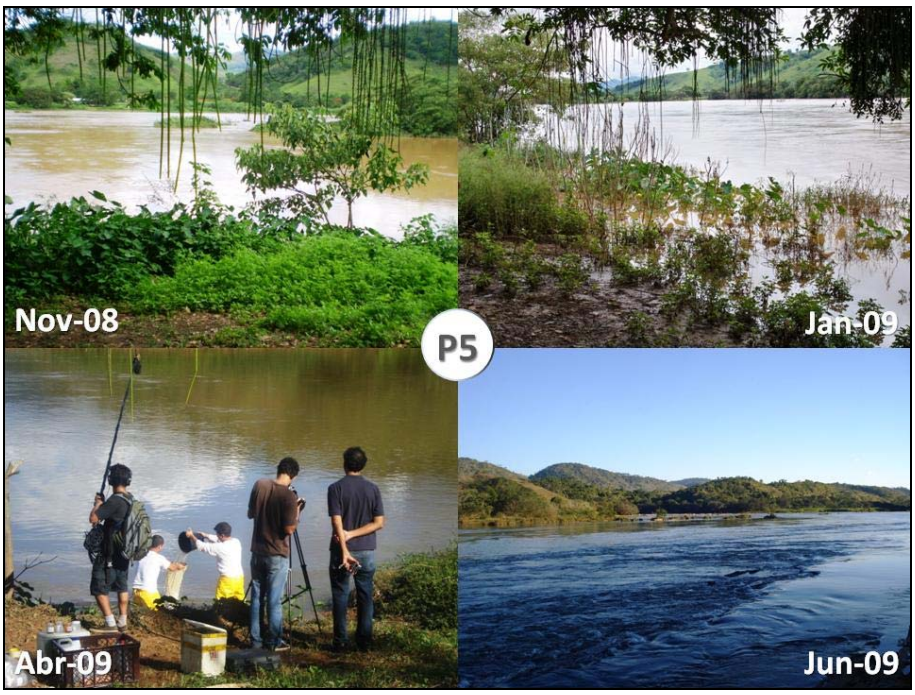


Figura 4.1.8-6 - Ponto P5, localizado no rio Paraíba do Sul, a jusante do município de São Sebastião do Paraíba-RJ. Esta área estará a jusante do primeiro e a montante do segundo reservatório da UHE Itaocara

Figura 4.1.8-7 - Ponto P6, localizado no rio Paraíba do Sul, inserido na área de remanso do segundo reservatório da UHE Itaocara

Figura 4.1.8-8 - Ponto P7, localizado no rio Pirapetinga, na Cachoeira dos Patos. Este tributário do rio Paraíba do Sul é parte da área que será modificada pelo empreendimento de construção da UHE Itaocara

Figura 4.1.8-9 - Ponto P8, localizado no rio Paraíba do Sul, no trecho que corresponderá ao limite do primeiro terço do segundo reservatório da UHE Itaocara

Figura 4.1.8-10 - Ponto P9, localizado no rio Paraíba do Sul. A área corresponde ao trecho a montante do eixo do segundo reservatório da UHE Itaocara

Figura 4.1.8-11 - Ponto P10, localizado no rio Paraíba do Sul, a montante do município de Batatal-RJ. A área corresponde à região a jusante do segundo reservatório da UHE Itaocara

Figura 4.1.8-12 - Ponto P11, localizado no rio Paraíba do Sul, a montante do município de Itaocara-RJ

Figura 4.1.8-13 - Ponto P12, localizado no rio Paraíba do Sul, a jusante da cidade de Itaocara-RJ

4.1.8.3 - Metodologia

4.1.8.3.1 - Parâmetros Analisados

Nas quatro campanhas de amostragem foram realizadas medições em campo e análises laboratoriais de parâmetros físicos, químicos e biológicos. Análises de metais e arsênio no sedimento foram realizadas na enchente (novembro-08). Os parâmetros analisados no âmbito desde documento estão apresentados nos **Quadro 4.1.8-3**, **Quadro 4.1.8-4** e **Quadro 4.1.8-5**.

Quadro 4.1.8-3 - Metais e arsênio analisados no sedimento, em novembro de 2008 (enchente), na área de influência da UHE Itaocara

Parâmetro	Unidade
Prata	mg/kg
Alumínio	mg/kg
Arsênio	mg/kg
Cádmio	mg/kg
Cobalto	mg/kg
Cromo	mg/kg
Cobre	mg/kg
Ferro	mg/kg
Níquel	mg/kg
Chumbo	mg/kg
Zinco	mg/kg
Mercúrio	mg/kg

Quadro 4.1.8-4 - Parâmetros biológicos analisados em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

Parâmetro	Análise
Fitoplâncton	Quanti + Qualitativa
Zooplâncton	Quanti + Qualitativa
Macorinvertebrados Aquáticos	Qualitativa
Macroinvertebrados Bentônicos	Quanti + Qualitativa
Macroalgas Bentônicas	Quanti + Qualitativa
Macrófitas Aquáticas	Quanti + Qualitativa

Quadro 4.1.8-5 - Parâmetros físicos, químicos e bacteriológico medidos no ar e na água, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

Parâmetro	Unidade
Temperatura Ar	ºC
Temperatura Água	ºC
Radiação	µE
Transparência	metros
Turbidez	NTU
Oxigênio Dissolvido	mg/L
pH	
Alcalinidade	µEq/L
Potencial Redox	mV
Condutividade	µS/cm
Sólidos Totais	mg/L
Sólidos Dissolvidos	mg/L
Nitrogênio Amoniacal Total	mg/L
Nitrato	mg/L
Nitrito	mg/L
Nitrogênio Inorgânico Total (NIT)	mg/L
Nitrogênio Orgânico Total (NOT)	mg/L
Nitrogênio Total	mg/L
Fosfato	mg/L
Fósforo Total	mg/L
Sílica	mg/L
Sulfato	mg/L
Cloreto	mg/L
Potássio	mg/L
DBO	mg/L
DQO	mg/L
Clorofila-a	µg/L
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml
Prata	mg/L
Arsênio	mg/L
Alumínio	mg/L
Ferro	mg/L
Cobalto	mg/L
Cobre	mg/L
Cádmio	mg/L
Cromo	mg/L
Níquel	mg/L
Mercúrio	mg/L
Zinco	mg/L
Chumbo	mg/L

4.1.8.3.2 - Metodologia de Coleta

Amostras para análises físicas, químicas e biológicas foram coletadas em dez (10) pontos ao longo do rio Paraíba do Sul (P1, P3, P4, P5, P6, P8, P9, P10, P11 e P12), um (1) ponto no rio Angu (P2) e um (1) ponto no rio Pirapetinga (P7). Os sistemas amostrados são lóticos e, portanto, suas águas estão em constante processo de mistura, não havendo estratificação. Dessa forma torna-se desnecessária a investigação em diferentes profundidades.

4.1.8.3.2.1 - Parâmetros Físicos e Químicos

Uma série de parâmetros foi medida in loco. A transparência da coluna d'água foi determinada com o auxílio do disco de Secchi (**Figura 4.1.8-14**). A temperatura do ar foi medida com termômetro, enquanto a temperatura da água, pH, turbidez, condutividade e oxigênio dissolvido foram quantificados através de uma sonda compacta multiparâmetros (YSI-6920) (**Figura 4.1.8-14**). Em cada ponto as leituras da sonda foram realizadas em tréplica.

Figura 4.1.8-14 – (A) Disco de Secchi, utilizado para a determinação da transparência da coluna d'água. (B) Sonda compacta multiparâmetros, modelo YSI-6920

No momento das amostragens, foram avaliadas, visualmente, as condições do tempo, a presença de espuma ou odor característico na água e as condições das margens (*e.g.* presença de lixo). Essas informações foram anotadas em fichas de campo específicas para auxiliar na interpretação dos resultados das análises.

As amostras brutas de água foram acondicionadas em garrafas com capacidade de 5 litros e transportadas para o laboratório de campo. Parte das amostras foi, então, filtrada em filtros de fibra de vidro (GF/C, 47 mm), com o auxílio de sistema de filtração Millipore, para análises de ortofosfato, nitrogênio amoniacal total, nitrito, nitrato e sólidos dissolvidos totais. Amostras brutas foram destinadas às análises de fósforo total e nitrogênio total, sólidos totais, DBO, DQO,

coliformes, cloretos, cianetos, potássio e metais. Uma parte da amostra bruta foi, ainda, utilizada para a medida de alcalinidade através do método titulométrico com ácido clorídrico 0,01N. Amostras de sedimento para análises químicas foram coletadas com o auxílio de coletores do tipo Kajak e mantidas resfriadas até o processamento em laboratório.

4.1.8.3.2.2 - Fitoplâncton e Zooplâncton

As coletas de fitoplâncton e zooplâncton foram feitas sempre nos mesmos locais onde foram coletadas amostras para a qualidade da água. Deste modo foi possível a comparação entre os resultados e a determinação de fatores controladores das comunidades planctônicas. Para a análise quantitativa do fitoplâncton, foram coletadas amostras de água de sub-superficie, as quais foram imediatamente fixadas com solução de Lugol. A análise qualitativa do fitoplâncton foi realizada a partir de amostras coletadas com rede de plâncton de 45 µm de malha (**Figura 4.1.8-15**), preservadas com Solução de Transeau. Para as análises quantitativas e qualitativas de zooplâncton, 100 litros de água de sub-superfície foram filtrados em rede de plâncton de 68 µm de malha (**Figura 4.1.8-16**). O material recolhido na rede foi acondicionado em frascos apropriados, contendo solução de formaldeído 4%, concentração final.

Figura 4.1.8-15 - Rede de plâncton de 45 µm de malha, utilizada para coleta de amostra para análise qualitativa de fitoplâncton

Figura 4.1.8-16 - Rede de plâncton de 68 µm de malha, utilizada para coleta de amostra para análise quantitativa e qualitativa de zooplâncton

4.1.8.3.2.3 - Macroalgas

Para o estudo quantitativo de macroalgas foi utilizada a técnica dos quadrados (Necchi et al. 1995). O quadrado foi confeccionado com cano de PVC, tendo 60 X 60 cm (3600 cm^2) (**Figura 4.1.8-17**). A análise quantitativa da comunidade de macroalgas foi realizada, em cada ponto de coleta, em 10 locais distribuídos ao longo de um trecho de 30 metros, em uma das margens do rio.

Figura 4.1.8-17 - Quadrado de PVC, de 3600 cm^2, utilizado na amostragem para análise quantitativa de macroalgas

A seleção dos locais para o posicionamento do quadrado foi feita com a utilização de uma tabela de números aleatórios. A abundância foi analisada através de estimativa visual (Necchi 1993). Esta técnica apresenta resultados comparáveis a outras técnicas, como peso seco e clorofila-*a* (Necchi et al. 1995). Além dos espécimes encontrados no estudo quantitativo, foram coletadas amostras ao longo de toda a margem para integrar a análise qualitativa e gerar um melhor registro da biodiversidade local. Os espécimes de macroalgas foram coletados com auxílio de

uma espátula e, em seguida, acondicionados em frascos devidamente rotulados e fixados com formaldeído 4%, concentração final.

4.1.8.3.2.4 - Macrófitas Aquáticas

Para a análise qualitativa, foram coletados três indivíduos de cada espécie de macrófita, retirados com cuidado para não danificar qualquer estrutura botânica. Utilizou-se tesoura de poda e sacos plásticos com água, nos quais as plantas ficaram temporariamente depositadas. Após as coletas, as plantas foram cuidadosamente lavadas e prensadas para a posterior identificação em laboratório. Para a análise quantitativa foram coletados, em cada ponto, três quadrantes de 0,25 m², retirando-se toda biomassa vegetal com o auxílio de tesoura de poda (**Figura 4.1.8-18-A**). As plantas submersas dentro do quadrante foram coletadas com um gancho (**Figura 4.1.8-18-B**). Todo o material foi acondicionado em sacos plásticos identificados com o local e tréplica correspondente.

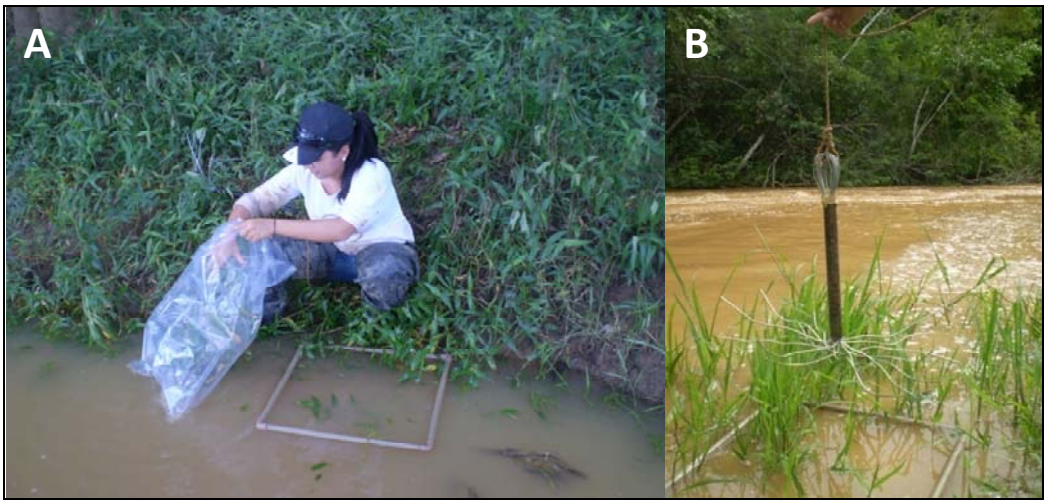


Figura 4.1.8-18 - Metodologia de coleta de macrófitas aquáticas.
A – quadrante de 0,25 m², do qual toda a biomassa de macrófitas foi retirada para a análise quantitativa. B – Gancho para coleta de macrófitas submersas

4.1.8.3.2.5 - Macroinvertebrados Aquáticos

A análise qualitativa de macroinvertebrados aquáticos foi realizada em estações em que foi observada a presença de vegetação (macrófitas aquáticas ou vegetação ripária) ou pedras. Para a coleta dos organismos foi utilizada uma peneira de malha de 200 µm (**Figura 4.1.8-19**). A peneira foi passada no interior do banco da vegetação ou demais substratos para uma melhor amostragem dos microhabitats existentes. As amostras foram fixadas com álcool 70%, concentração final.

Figura 4.1.8-19 - Peneira de malha de 200 µm utilizada para coleta de macroinvertebrados aquáticos associados a bancos de macrófitas aquáticas

4.1.8.3.2.6 - Macoinvertebrados Bentônicos

As amostras para macroinvertebrados bentônicos foram retiradas nos mesmos locais onde foram coletadas amostras para a qualidade da água e de sedimento. Foram tomadas amostras de sedimento a partir das margens dos rios com um tubo de acrílico "core" com 8 cm de diâmetro (**Figura 4.1.8-20**). Cada amostra foi composta de 4 "cores", retendo-se o sedimento da superfície até 10 cm de profundidade. Nas coletas de margem foram escolhidos diferentes substratos para compor a amostragem dos microhabitats existentes. As amostras foram fixadas com álcool 70%, concentração final.

Figura 4.1.8-20 - Cores utilizados na coleta de sedimento para análise da comunidade de macroinvertebrados bentônicos

4.1.8.3.3 - Metodologia das Análises

Os métodos analíticos adotados estão descritos em "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA 2005). A base metodológica está relacionada no **Quadro 4.1.8-6** e no **Quadro 4.1.8-7**.

Quadro 4.1.8-6 - Métodos utilizados para a determinação de parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos da água, na área de influência da UHE Itaocara

Parâmetro (água e ar)	Método
Temperatura Ar	Termômetro
Temperatura Água	Sonda Multiparâmetros
Radiação	Radiômetro
Transparência	Disco de Secchi
Turbidez	Sonda Multiparâmetros
Oxigênio Dissolvido	Sonda Multiparâmetros
pH	Sonda Multiparâmetros
Alcalinidade	Titulométrico com HCl
Potencial Redox	Sonda Multiparâmetros
Condutividade	Sonda Multiparâmetros
Sólidos Totais	Gravimetria
Sólidos Dissolvidos	Gravimetria
Nitrogênio Amoniacal Total	Colorimétrico com fenol
Nitrato	Colorimétrico com coluna redutora Cd
Nitrito	Colorimetrico com sulfanilamida
Nitrogênio Inorgânico Total (NIT)	Amônia+Nitrato+Nitrito
Nitrogênio Orgânico Total (NOT)	Digestão e titulação com HCl
Nitrogênio Total	NIT + NOT
Fosfato	Colorimétrico com molibdato
Fósforo Total	Colorimétrico com molibdato
Sílica	Colorimétrico com molibdato
Sulfato	Cromatografia Iônica
Cloreto	Cromatografia Iônica
Potássio	Cromatografia Iônica
DBO	Respirométrico - Oxitop
DQO	Colorimétrico de refluxo fechado
Clorofila-a	Fluorimétrico
Coliformes Termotolerantes	Tubos múltiplos
Prata	Espetrometria de Massa - ICP/MS
Arsênio	Espetrometria de Massa - ICP/MS
Alumínio	Espetrometria de Massa - ICP/MS
Ferro	Espetrometria de Massa - ICP/MS
Cobalto	Espetrometria de Massa - ICP/MS
Cobre	Espetrometria de Massa - ICP/MS
Cádmio	Espetrometria de Massa - ICP/MS
Cromo	Espetrometria de Massa - ICP/MS
Níquel	Espetrometria de Massa - ICP/MS
Mercúrio	Espetrometria de Massa - ICP/MS
Zinco	Espetrometria de Massa - ICP/MS
Chumbo	Espetrometria de Massa - ICP/MS

Quadro 4.1.8-7 - Métodos utilizados para a determinação das concentrações de metais e arsênio no sedimento, na área de influência da UHE Itaocara

Parâmetro (sedimento)	Método
Prata	Plasma Acoplado Indutivamente (ICP)
Alumínio	Plasma Acoplado Indutivamente (ICP)
Arsênio	Plasma Acoplado Indutivamente (ICP)
Cádmio	Plasma Acoplado Indutivamente (ICP)
Cobalto	Plasma Acoplado Indutivamente (ICP)
Cromo	Plasma Acoplado Indutivamente (ICP)
Cobre	Plasma Acoplado Indutivamente (ICP)
Ferro	Plasma Acoplado Indutivamente (ICP)
Níquel	Plasma Acoplado Indutivamente (ICP)
Chumbo	Plasma Acoplado Indutivamente (ICP)
Zinco	Plasma Acoplado Indutivamente (ICP)
Mercúrio	Plasma Acoplado Indutivamente (ICP)

4.1.8.3.3.1 - Fitoplâncton

Os organismos fitoplanctônicos foram identificados, sempre que possível em nível de espécie, através da análise de características morfológicas e morfométricas das fases vegetativa e reprodutiva. A abundância das populações fitoplanctônicas (indivíduos/ml) foi estimada pelo método da sedimentação de Utermöhl (1958), em microscópio invertido marca Zeiss Oberkochen, modelo Axiovert 10. As amostras foram colocadas em câmaras de sedimentação de 2mL, dadas as elevadas concentrações de material em suspensão. A enumeração dos indivíduos (unicelulares, filamentosos ou coloniais) foi feita em campos aleatórios em microscópio invertido, marca Zeiss Oberkochen, modelo Axiovert 10, a 400 aumentos. O tempo de sedimentação foi de pelo menos três horas para cada centímetro de altura da câmara (Margalef 1983).

Os organismos foram enumerados, sempre que possível, em número suficiente para alcançar 100 indivíduos da espécie mais freqüente, sendo o erro inferior a 20% ($p<0,05$; Lund et al. 1958). Quando não foi possível utilizar esse critério (amostras com algas escassas e detrito abundante), foram enumerados indivíduos em tantos campos aleatórios quantos os necessários para que se estabilizasse o número de espécies adicionadas por campo (método da área mínima), a fim de garantir uma representatividade qualitativa mínima das espécies. As amostras qualitativas foram examinadas em microscópio Olympus BH2 equipado com câmera digital para captura de imagem (Image Pro Plus) com a finalidade de obter uma lista mais detalhada das espécies presentes. As identificações foram feitas com base nas características morfológicas e morfométricas das vidas vegetativa e reprodutiva das populações, utilizando-se bibliografia atualizada e específica.

Os grandes grupos taxonômicos (criptofíceas = Cryptophyceae; crisofíceas = Chrysophyceae; clorofíceas = Chlorophyceae; rodofíceae = Rhodophyceae), foram identificados de acordo com os critérios estabelecidos por Van den Hoek (1993), exceto para cianobactérias (=Cyanobacteria, Komárek & Anagnostidis 1999).

Os dados obtidos com as contagens foram trabalhados estatisticamente de maneira que dois índices, de diversidade e de equitabilidade, fossem calculados. Para diversidade combinam-se os dados de riqueza de táxons e de equitabilidade em um único valor, o Índice de Shannon & Wiener (Shannon & Weaver 1963) foi o empregado através da fórmula:

$$H' = -\sum_{i=1}^{s}\left(\frac{Ni}{N} * \ln\frac{Ni}{N}\right)$$

Onde:
H'= índice de diversidade (bits/indivíduos)
s = número de espécies na amostra
Ni = número de indivíduos de cada espécie na amostra
N = número total de indivíduos na amostra

A equitabilidade é usada para identificar a distribuição da abundância entre os táxons. Para tanto, a equitabilidade foi calculada usando a fórmula segundo Pielou (1969):

$$J = \frac{H'}{In\ s}$$

Onde:
J = índice de equitabilidade
H'= índice de diversidade
s = número de espécies na amostra

4.1.8.3.3.2 - Zooplâncton

A análise qualitativa da comunidade zooplanctônica foi realizada através da utilização de microscópio óptico da marca Olympus, modelo BX61. Sempre que possível, os organismos foram identificados até o nível taxonômico de espécie, utilizando-se bibliografia atualizada e específica. A análise quantitativa foi realizada no mesmo microscópio óptico, com a utilização de câmaras de contagem Sedgewick- Rafter, com capacidade de 1 ml, sendo o resultado das contagens expresso em número de indivíduos por litro.

Em todos os pontos de coleta a metodologia aplicada foi a filtragem de uma quantidade determinada de água (100 Litros) e a fórmula empregada foi a seguinte:

$$M = \frac{(X * V)}{F}$$

Onde:
M = média aritmética de cada ponto
X = média aritmética das lâminas contadas
V = volume concentrado para a contagem em laboratório
F = capacidade de água filtrada em campo

Os dados obtidos com as contagens foram trabalhados estatisticamente de maneira que dois índices, de diversidade e de equitabilidade, fossem calculados. Para diversidade combinam-se os dados de riqueza de táxons e de equitabilidade em um único valor, o Índice de Shannon & Wiener (Shannon & Weaver 1963) foi o empregado através da fórmula:

$$H' = -\sum_{i=1}^{s}\left(\frac{Ni}{N} * \ln\frac{Ni}{N}\right)$$

Onde:
H'= índice de diversidade (bits/indivíduos)
s = número de espécies na amostra
Ni = número de indivíduos de cada espécie na amostra
N = número total de indivíduos na amostra

A equitabilidade é usada para identificar a distribuição da abundância entre os táxons. Para tanto, a equitabilidade foi calculada usando a fórmula segundo Pielou (1969):

$$J = \frac{H'}{In\ s}$$

Onde:
J = índice de equitabilidade
H' = índice de diversidade
s = número de espécies na amostra

4.1.8.3.3.3 - Macroinvertebrados Aquáticos

No laboratório as amostras foram lavadas sob água corrente em uma peneira com abertura de 500 µm. O material restante foi transferido para uma bandeja trans-iluminada, de onde foram removidos os organismos e transferidos para álcool a 70%. Posteriormente, todos os indivíduos foram identificados sob microscópio estereoscópico, sempre que possível até o nível de espécies usando bibliografia específica. A riqueza de espécies foi determinada pelo número total de táxons registrado em cada amostra.

4.1.8.3.3.4 - Macroinvertebrados Bentônicos

No laboratório as amostras foram lavadas sob água corrente em uma peneira com abertura de 500 µm. O material restante foi transferido para uma bandeja transiluminada, de onde foram removidos os organismos e transferidos para álcool a 70%. Posteriormente, todos os indivíduos foram identificados e quantificados sob microscópio estereoscópico, sempre que possível até o nível de espécies usando bibliografia atual e específica.

A diversidade específica foi calculada através do índice de Shannon & Wiener (Shannon & Weaver 1963) a partir dos dados de densidade e expressa em bits/indivíduo, como descrito para o

fitoplâncton e o zooplâncton. A riqueza de espécies foi calculada através do número total de táxons registrado durante as contagens.

4.1.8.3.3.5 - Macroalgas

Em laboratório, os indivíduos foram identificados sempre que possível, até o nível de espécie. As observações microscópicas foram realizadas com auxílio de microscópio LEICA, modelo DM1000. Para as análises morfométricas, foi utilizado um sistema de captura de imagens composto de câmera de vídeo LEICA, modelo DFC280, acoplada a um microcomputador com o software LEICA IM-50, específico para análise de imagem.

A análise qualitativa da comunidade de macroalgas foi realizada, sempre que possível até o nível taxonômico de espécie, utilizando-se bibliografia atualizada e específica. A classificação das espécies em divisões seguiu o sistema de Van den Hoek et al. (1995). A diversidade específica foi estimada pelo Índice de Shannon & Wiener (Shannon & Weaver 1963) a partir dos dados de densidade e expressa em bits/indivíduo, como descrito anteriormente para o fitoplâncton e o zooplâncton. A riqueza de espécies foi determinada pelo número total de táxons registrado durante as contagens.

4.1.8.3.3.6 - Macrófitas Aquáticas

lNo laboratório, as macrófitas foram identificadas até o nível taxonômico de espécie sempre que possível e depositadas em herbário. Como a reprodução vegetativa é característica deste grupo, o fato de algumas plantas não apresentarem estruturas reprodutivas, dificultou o processo de identificação em nível de espécie. As amostras para análise quantitativa foram lavadas a fim de retirar qualquer detrito não correspondente à sua biomassa e, posteriormente, triadas.

Após a separação das partes aéreas e subterrâneas (raízes), as amostras foram secas em estufa de secagem a 70º C e pesadas até peso constante. O peso seco das partes aéreas e subterrâneas foi comparado a fim de estabelecer a condição fisiológica em que as plantas se encontram. A riqueza de espécies foi determinada pelo número total de táxons registrado em cada amostra.

4.1.8.4 - Análise dos Dados das Variáveis Ambientais

A abordagem utilizada para a caracterização da qualidade da água objetivou uma comparação dos dados obtidos com os padrões estabelecidos pela Resolução Conama nº 357/05. Os dados obtidos em campo e em laboratório estão apresentados no **Quadro 4.1.8-8** e no

Quadro 4.1.8-9. Foram, ainda, tecidas considerações pertinentes sobre as variáveis analisadas.

Quadro 4.1.8-8 - Resultados das análises de metais e arsênio realizadas no sedimento, em novembro de 2008 (enchente), na área de influência da UHE Itaocara

Parâmetro	Unidade	LQ	Valor Padrão*	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Alumínio	mg/kg	1,0	8	6790	2349	13730	5222	6331	9189	371	8035	12780	9084	6675	6287
Ferro	mg/kg	1,0	4,7	24436	5348	30760	13116	20425	23712	2562	20418	37727	27239	15725	16592
Cobalto	mg/kg	1,0	-	8	3,5	11	5,2	6,7	9,1	< 0,6	8	12	9,2	5,5	5,3
Cobre	mg/kg	1,0	45	13	2,7	19	7,6	10	13	< 0,6	8	18	16	8	7,9
Cádmio	mg/kg	0,1	0,22	< 0,1	< 0,052	1,1	< 0,073	< 0,01	< 0,097	< 0,059	< 0,067	< 0,01	< 0,02	< 0,081	< 0,096
Níquel	mg/kg	1,0	68	3,5	2,1	6,9	3,4	3,5	5	< 0,6	5,7	7,1	5,1	3,8	3,1
Prata	mg/kg	1,0	-	< 1	< 0,5	< 0,8	< 0,7	< 1	< 1	< 0,6	< 0,7	< 1	< 2	< 0,8	< 1
Arsênio	mg/kg	1,0	-	< 1	< 0,5	< 0,8	< 0,7	< 1	< 1	< 0,6	< 0,7	< 1	< 2	< 0,8	< 1
Cromo	mg/kg	1,0	90	19	11	38	16	19	26	1,4	22	38	29	20	18
Chumbo	mg/kg	1,0	20	19	2,5	25	10	16	19	1,9	11	25	23	11	11
Zinco	mg/kg	1,0	95	90	13	130	60	71	96	12	69	127	107	56	55
Mercúrio	mg/kg	0,058	0,18	0,16	< 0,026	0,16	< 0,036	< 0,054	0,13	0,043	0,07	0,2	0,12	0,081	0,062

* Turekian & Wedepohl, 1961

Quadro 4.1.8-9 - Resultados das análises físicas, químicas e bacteriológicas, realizadas no ar e na água, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. Os dados estão apresentados em média (e desvio padrão)

Parâmetro	Unidade	LQ	Limite*	Nov-08	Jan-09	Abr-09	Jun-09
Temperatura Ar	ºC	0,1		25,28 (3,0)	28,13 (2,0)	26,29 (2,0)	23,33 (3,7)
Temperatura Água	ºC	0,1		25,28 (0,8)	25,74 (0,8)	24,27 (0,8)	20,50 (1,4)
Radiação	µE			2368,6 (1987,8)	3055,9 (1965,9)	3551,7 (1965,9)	3600,9 (774,4)
Transparência	metros	0,1		0,07 (0,03)	0,12 (0,03)	0,55 (0,03)	1,03 (0,42)
Turbidez	NTU	0,1	100	337,50 (188,8)	108,64 (42,0)	15,62 (42,0)	8,22 (4,8)
Oxigênio Dissolvido	mg/L	0,2	> 5	5,77 (0,3)	6,92 (0,5)	8,68 (0,5)	9,94 (0,8)
pH		0,1	6 a 9	6,73 (0,1)	7,90 (0,2)	7,15 (0,2)	7,34 (0,2)
Alcalinidade	µEq/L			332,69 (58,9)	429,29 (101,2)	248,87 (101,2)	347,39 (90,3)
Potencial Redox	mV	0,1		-15,54 (7,5)	-16,42 (10,1)	-18,58 (10,1)	-26,50 (7,5)
Condutividade	µS/cm	0,1		31,58 (1,1)	53,05 (6,6)	55,94 (6,6)	45,08 (11,8)
Sólidos Totais	mg/L	0,5		273,16 (102,6)	110,75 (38,5)	69,17 (38,5)	87,78 (16,0)
Sólidos Dissolvidos	mg/L	0,5	500	58,06 (52,8)	71,58 (32,6)	53,33 (32,2)	44,00 (12,6)
N Amoniacal Total	mg/L		3,7	0,024 (0,03)	0,020 (0,01)	0,014 (0,01)	0,052 (0,02)
Nitrato	mg/L	5,0	10	0,907 (0,27)	0,251 (0,15)	0,477 (0,18)	0,569 (0,21)
Nitrito	mg/L	5,0	1	0,027 (0,01)	0,005 (0,001)	0,002 (0,001)	0,007 (0,003)
N Inorgânico Total (NIT)	mg/L	5,0		0,959 (0,27)	0,276 (0,15)	0,493 (0,18)	0,629 (0,21)
N Orgânico Total (NOT)	mg/L	5,0		0,757 (0,16)	0,181 (0,03)	0,410 (0,07)	0,643 (0,07)
Nitrogênio Total	mg/L	5,0		1,716 (0,26)	0,457 (0,16)	0,904 (0,19)	1,272 (0,21)
Fosfato	mg/L	1,0		0,080 (0,05)	0,023 (0,01)	0,021 (0,01)	0,056 (0,02)
Fósforo Total	mg/L	1,0	0,1	0,258 (0,13)	0,205 (0,05)	0,061 (0,01)	0,083 (0,02)
Sílica	mg/L	0,2		4,41 (3,2)	10,09 (3,9)	2,26 (3,9)	5,46 (1,7)
Sulfato	mg/L	1,0	250	2,81 (0,8)	1,49 (1,0)	1,18 (1,0)	1,99 (0,9)
Cloreto	mg/L	1,0	250	2,49 (0,1)	1,80 (0,4)	2,19 (0,4)	2,73 (0,6)
Potássio	mg/L	0,01		3,45 (2,1)	2,17 (0,4)	2,18 (0,4)	1,67 (0,2)
DBO	mg/L	2,0	5	1,39 (1,8)	1,75 (6,1)	< 2,00 (6,1)	< 2,00
DQO	mg/L	5,0		10,33 (4,3)	13,92 (13,9)	2,92 (13,9)	1,25 (3,0)
Clorofila-*a*	µg/L	0,1	30	1,45 (0,8)	0,57 (0,3)	1,47 (0,3)	0,71 (0,6)
Colif. Termot.	UFC/100ml	1,0	1000	8684,1 (6387,3)	11134,0 (14828,7)	Presentes	Presentes
Prata	mg/L	0,0001	0,1	< 0,0001	NA	< 0,0001	NA
Arsênio	mg/L	0,0001	0,01	< 0,0001	NA	< 0,0001	NA
Alumínio	mg/L	0,002	0,1	6,4499 (6,2)	0,4153 (0,1)	0,0548 (0,1)	NA
Ferro	mg/L	0,002	0,3	4,1500 (2,3)	2,3983 (0,5)	0,8326 (0,5)	NA
Cobalto	mg/L	0,0001	0,05	0,0003 (0,001)	NA	< 0,0001	NA
Cobre	mg/L	0,0001	0,009	0,0011 (0,003)	NA	0,0080	NA
Cádmio	mg/L	0,0001	0,001	0,0001 (0,0001)	NA	< 0,0001	NA
Cromo	mg/L	0,0001	0,05	0,0031 (0,003)	NA	< 0,0001	NA
Níquel	mg/L	0,0001	0,025	0,0004 (0,001)	NA	< 0,0001	NA
Mercúrio	mg/L	0,0001	0,0002	< 0,0001	NA	< 0,0001	NA
Zinco	mg/L	0,0001	0,18	0,0088 (0,02)	NA	0,0031	NA
Chumbo	mg/L	0,0005	0,01	0,0006 (0,002)	0,0002 (0,0006)	0,0002 (0,0006)	NA

(*) Limites definidos pela Resolução CONAMA Nº 357 de 25 de março de 2005 para águas de Classe 2
LQ: Limite de quantificação
NA: Não analisado

4.1.8.4.1 - Temperatura do Ar e da Água

A temperatura do ar influencia processos físicos, químicos e, indiretamente, biológicos em ecossistemas aquáticos. As trocas de gases (especialmente gás carbônico e oxigênio) na interface água-ar são exemplos de processos cujas taxas dependem da temperatura atmosférica.

A temperatura do ar pode variar grandemente durante o dia em função da hora, das condições de exposição solar (presença / ausência de nuvens), ventos e também em função da estação climática (sazonalidade). Temperaturas mais baixas foram em geral observadas durante a campanha de cheia (junho-09) e as mais elevadas na campanha de seca (janeiro-09) durante o verão (**Figura 4.1.8-21**). Os valores de temperatura do ar estiveram fortemente relacionados ao horário da amostragem. As menores temperaturas foram, em geral, observadas durante as coletas realizadas pela manhã e as maiores temperaturas foram observadas nos horários próximos ao meio dia.

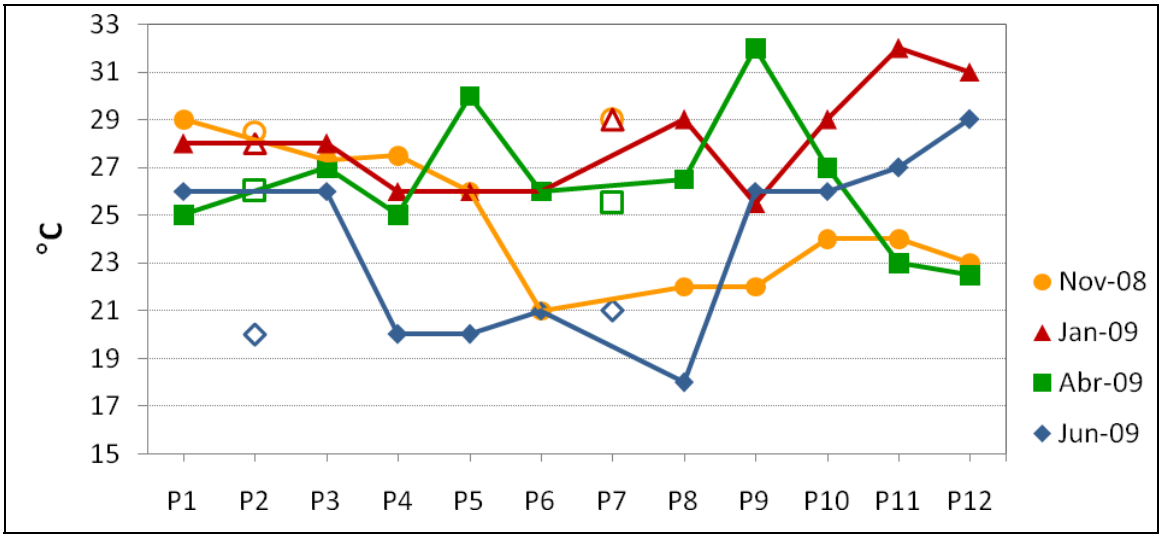


Figura 4.1.8-21 - Variação da Temperatura do Ar (°C), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

Um fator importante a ser considerado em estudos aquáticos é a temperatura da água, devido à sua decisiva influência sobre a densidade, a viscosidade e os movimentos de convecção da água. Além da influência física e hidrológica, com conseqüências na biota aquática, a temperatura exerce efeitos diretos sobre a distribuição e a reprodução dos organismos (Margalef 1983). A temperatura exerce, ainda, influência sobre as diferentes reações químicas e bioquímicas que ocorrem no ambiente e causa a estratificação nos ecossistemas aquáticos. Quando o fenômeno de estratificação ocorre, formam-se estratos ou camadas heterogêneas de organismos e dos diversos fatores físicos e químicos (Kalf, 2002). A temperatura é de suma importância para a

produtividade biológica da água, tanto para o ritmo do metabolismo das espécies, quanto para o ritmo do processo fotossintético (Margalef 1983).

A temperatura da água reflete os processos climáticos da região em que se situa o ecossistema aquático. No caso do trecho estudado do rio Paraíba do Sul, observou-se maiores temperaturas durante a enchente (novembro-08) e a cheia (janeiro-09), com menores temperaturas durante a seca (junho-09) (**Figura 4.1.8-22**). Os valores foram bastante homogêneos entre as estações de coleta, refletindo os processos de mistura da coluna d'água típicos de sistemas lóticos. As estações localizadas nos tributários (P2 e P7) apresentaram, em geral, temperaturas menores, o que pode ser atribuído a um maior efeito da cobertura vegetal reduzindo a entrada de energia luminosa nestes rios.

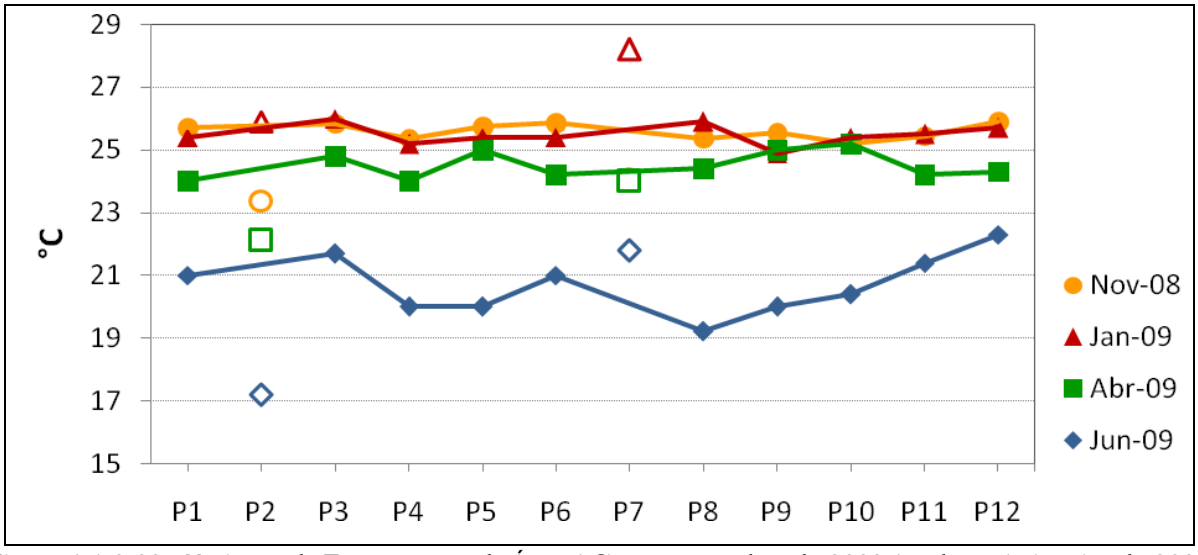


Figura 4.1.8-22 - Variação da Temperatura da Água (°C), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

4.1.8.4.2 - Radiação, Transparência de Água e Turbidez

A energia luminosa (radiação) que atinge o ecossistema aquático sofre uma atenuação causada por três processos físicos: reflexão, dispersão e absorção. Embora se observe dispersão da radiação até pelas moléculas d'água, os principais fatores de dispersão são as substâncias dissolvidas e partículas suspensas no meio líquido de diferentes tamanhos e atividade ótica. Como conseqüência, a atenuação da radiação luminosa incidente nos corpos de água impõe limitações às atividades fotossintéticas dos organismos. Sendo assim, a avaliação da transparência e turbidez da água fornecem informações a respeito da disponibilidade de energia luminosa para a produção primária dos ecossistemas aquáticos.

A menor incidência de radiação média foi registrada na enchente (novembro-08, 2368,6 µE) e a maior, na seca (junho-09, 3600,9 µE). No entanto a variação da radiação foi maior entre as estações de coleta do que entre as campanhas (**Figura 4.1.8-23**). Este padrão de variação na incidência de radiação está relacionado aos horários de coleta – menores valores foram registrados nas estações amostradas no início da manhã e no fim da tarde.

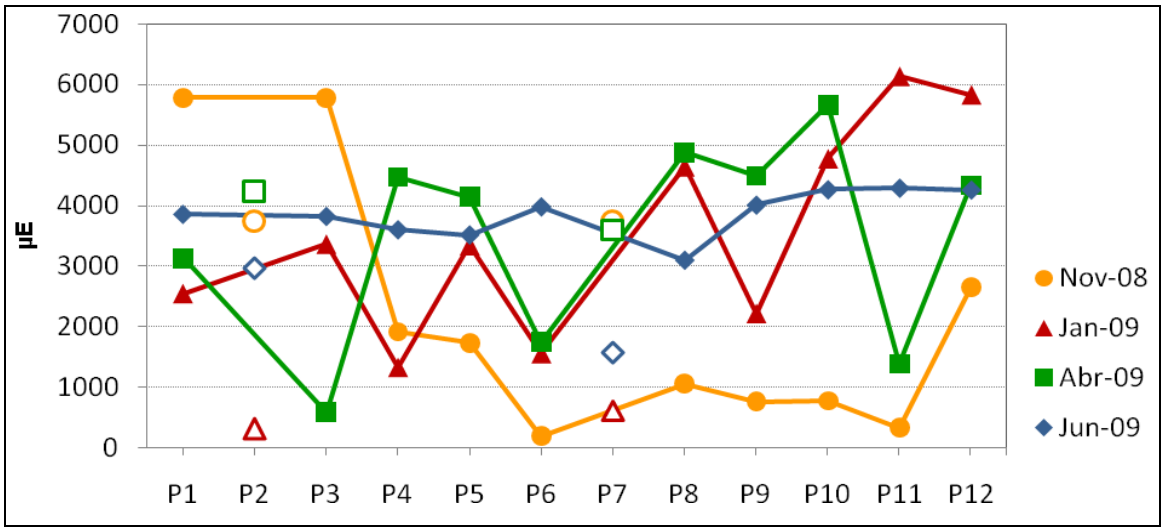


Figura 4.1.8-23 - Variação da Radiação Atmosférica (µE), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

A transparência da água variou entre as campanhas, com as menores médias registradas nos períodos de enchente (0,07 m, novembro-08) e cheia (0,12 m, janeiro-09) e a maior média, na seca (1,03 m, junho-09). Os valores foram bastante homogêneos entre as estações de coleta, embora tenha sido registrada, na seca (junho-09), uma grande diferença entre a transparência de dois pontos próximos (P3 e P4, com 1,8 e 0,6m, respectivamente) (**Figura 4.1.8-24**). Os menores valores de transparência da água foram observados nos períodos de maior pluviosidade. Este padrão é o esperado, uma vez que nestes períodos ocorre aumento no aporte de partículas orgânicas e inorgânicas carreadas pela chuva para dentro da calha do rio.

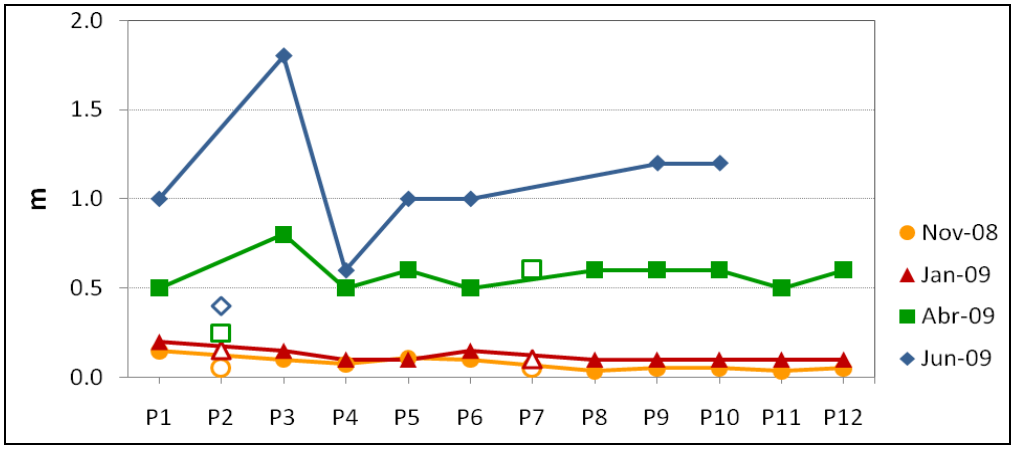


Figura 4.1.8-24 - Variação da Transparência (m), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

A turbidez da água é resultado da quantidade de partículas em suspensão, sejam elas orgânicas ou inorgânicas, e, em menor proporção, dos compostos dissolvidos. Também foi observada homogeneidade espacial na turbidez das águas e marcada variação sazonal, com valores menores durante a vazante (abril-09) e a seca (junho-09) e elevados valores registrados durante as estações de enchente (novembro-08) e cheia (janeiro-09) (**Figura 4.1.8-25**).

Tanto na enchente quanto na cheia todas as estações apresentaram valores superiores ao limite para águas de Classe 2 definido pela Resolução Conama nº 357/05 (100 NTU), com exceção das estações P1, P2, P3, P6 e P7 na cheia (janeiro-09). Os elevados valores de turbidez (>500 NTU) das estações P2, P7 e P10 observados na enchente (novembro-08) foram decorrentes de chuvas no dia anterior à coleta.

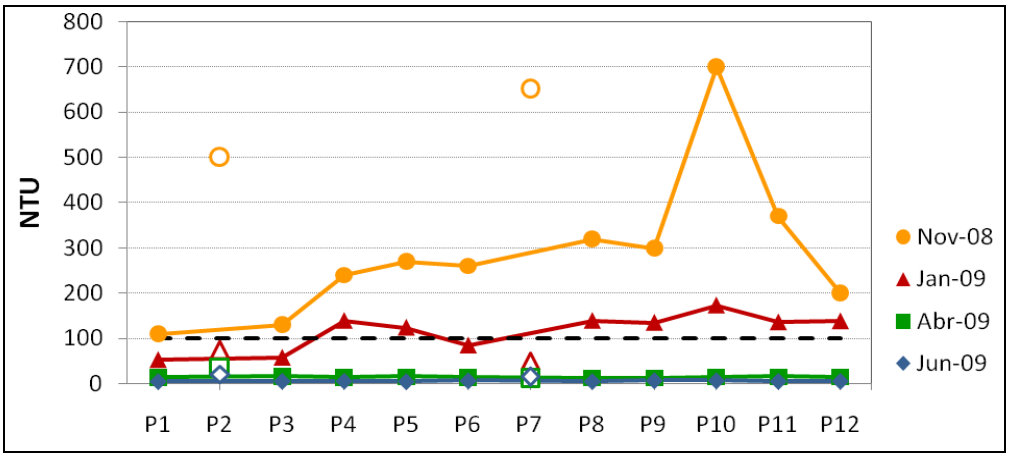


Figura 4.1.8-25 - Variação da Turbidez (NTU), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. A linha tracejada indica o limite da Resolução Conama nº 357/05

Os resultados mostram a grande influência que os aportes da bacia de drenagem tem sobre a transparência das águas do rio Paraíba do Sul e seus tributários no trecho estudado. Este processo é decorrente da ausência de cobertura vegetal que minimize o carreamento de sedimentos pelas chuvas. Essa influência pode ser também evidenciada pela relação entre turbidez e a concentração de sólidos totais. A análise de regressão linear indicou uma forte correlação (r^2=0,8 p<0,05) entre estas variáveis (**Figura 4.1.8-26**).

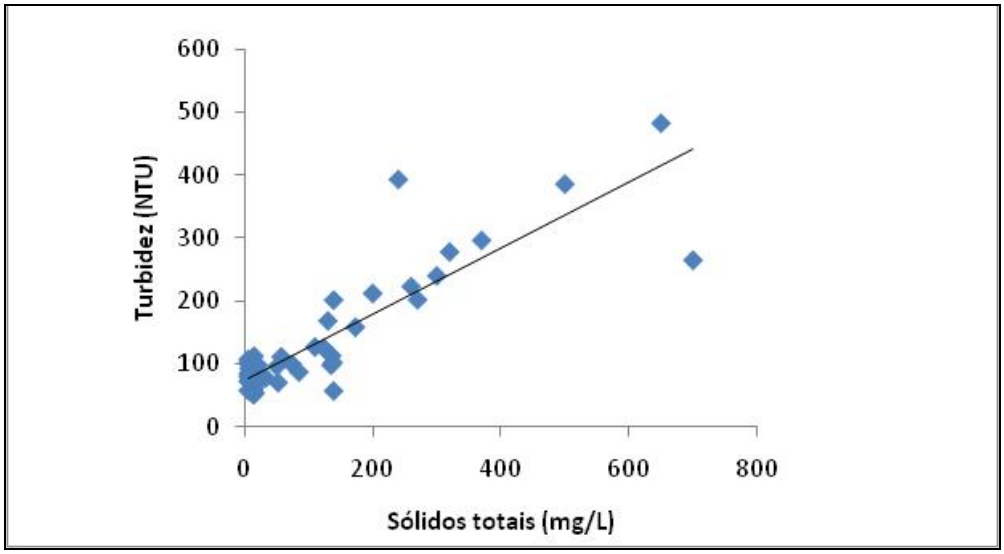


Figura 4.1.8-26 - Relação entre turbidez da água e concentração de sólidos totais para amostras coletadas nas 12 estações, durante as quatro campanhas. A reta representa o ajuste para a regressão linear entre as variáveis (r^2=0,8; p<0,05)

4.1.8.4.3 - Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido na água é resultado do balanço entre as fontes de entrada do gás, que são basicamente difusão pela atmosfera e a fotossíntese, e as fontes de consumo de oxigênio, tais como respiração dos organismos aquáticos e oxidação de compostos reduzidos (Esteves 1998). Nos ambientes aquáticos o oxigênio é um dos principais elementos responsáveis pela manutenção da qualidade da água, exercendo papel na oxidação, decomposição e ciclagem da matéria orgânica. A solubilidade do oxigênio dissolvido em águas naturais é dependente da temperatura destes ambientes. Em águas mais aquecidas, a solubilidade do oxigênio diminui e parte do gás flui no sentido água atmosfera. Em águas mais frias, ocorre o inverso, a solubilidade deste gás aumenta e o fluxo no sentido atmosfera-água tente a aumentar. Ambientes lóticos tendem a apresentar maior concentração de oxigênio, uma vez que produzem intensa circulação na massa d'água.

A Resolução Conama nº 357/05 estabelece a concentração mínima de 5 mg/L de oxigênio dissolvido para águas de Classe 2. Todas as estações, nas quatro campanhas, apresentaram situação de conformidade com essa resolução. Houve uma forte sazonalidade nas concentrações de oxigênio dissolvido na água, com maiores valores na vazante e seca e menores valores durante a enchente e cheia (**Figura 4.1.8-27**).

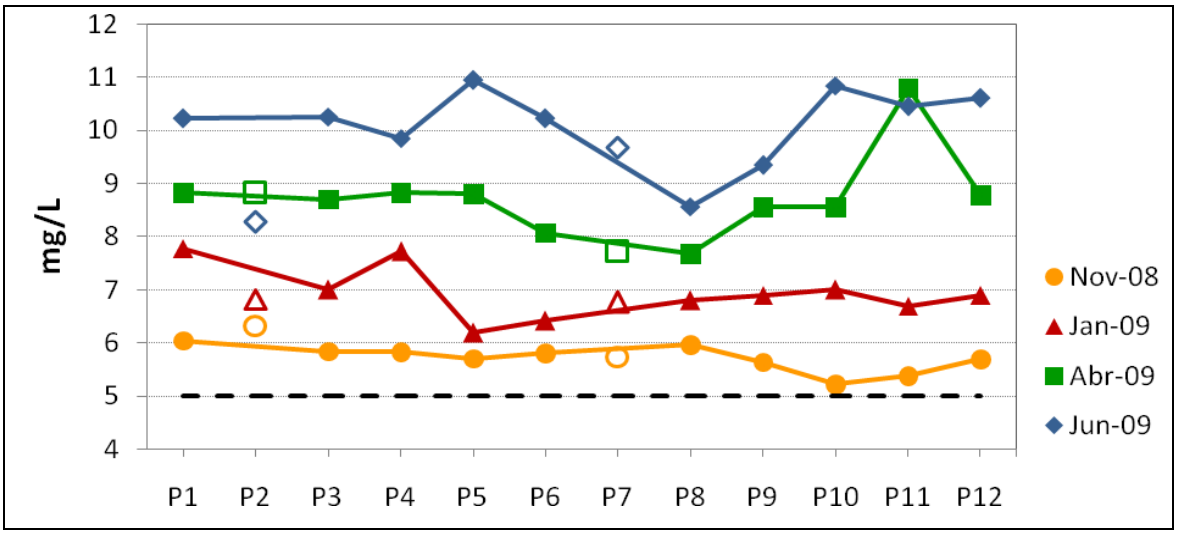


Figura 4.1.8-27 - Concentrações de Oxigênio Dissolvido (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. A linha tracejada indica o limite da Resolução Conama nº 357/05

As concentrações médias durante a enchente (novembro-08) e a cheia (janeiro-09) foram de 5,77 e 6,62 mg/L, respectivamente. Já as concentrações médias durante a vazante (abril-09) e a seca (junho-09) foram de 8,68 e 9,94 mg/L, respectivamente. A variação espacial, em geral, não foi marcante em nenhuma das campanhas realizadas. Os rios tributários amostrados apresentaram concentrações de oxigênio dissolvido semelhantes àquelas medidas no rio Paraíba do Sul.

4.1.8.4.4 - pH

O pH define o caráter ácido, básico ou neutro de uma solução. Este parâmetro deve ser considerado pois os organismos aquáticos estão geralmente adaptados a determinadas faixas de pH e, desta maneira, alterações bruscas do pH da água podem influenciar os processo fisiológicos de espécies aquáticas ou mesmo a ocorrência destas. Valores fora das faixas recomendadas podem alterar o sabor da água, contribuir para a corrosão do sistema de distribuição e dificultar a descontaminação das águas. Em geral, o pH nos ambientes aquáticos assume importância devido à estreita relação que mantém com os processos físicos e químicos, como por exemplo, o

sistema CO_2, bem como por sua ação direta sobre a distribuição dos organismos aquáticos (Esteves, 1988).

As estações de amostragem apresentaram caráter levemente ácido durante a enchente (novembro-08), com valor médio de 6,7. Nas demais campanhas, as estações de amostragem apresentaram caráter levemente alcalino: na cheia (janeiro-09) o pH médio foi 7,9; na vazante (abril-09), 7,2; e na seca (junho-09), 7,3.

De modo geral os valores de pH ficaram bem próximos do neutro, 7,0 (**Figura 4.1.8-28**).

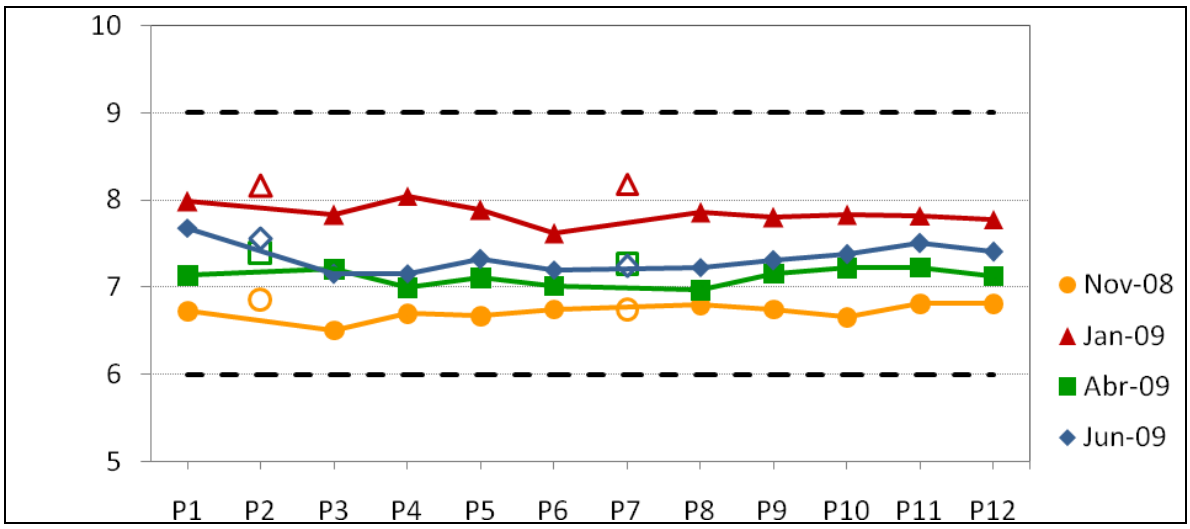


Figura 4.1.8-28 - Variação do pH, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. As linhas tracejadas indicam os limites da Res. CONAMA 357/05

O pH dos rios tributários amostrados foi levemente superior ao pH médio do rio Paraíba do Sul em todas as campanhas, com exceção do ponto P7 na seca (junho-09). Todos os valores de pH medidos foram maiores que 6 e menores que 9, limites estabelecidos para águas de Classe 2 pela Resolução Conama nº 357/05.

4.1.8.4.5 - Alcalinidade e Potencial Redox

A alcalinidade representa a capacidade de sistemas aquosos para neutralizar ácidos, resistindo a mudanças de pH, sem que ocorram distúrbios das atividades biológicas. Em outras palavras, a alcalinidade representa a capacidade de tamponamento do sistema. Em águas doces naturais, as principais espécies químicas que conferem esta propriedade à água são os bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. A origem dos sais de carbonato ou bicarbonatos é natural, pela

dissolução de rochas e pela reação do CO_2 dissolvido com a água. O CO_2 dissolvido pode ser proveniente da atmosfera, da decomposição de matéria orgânica e, quando relacionado a atividades antrópicas, de despejos industriais.

A menor alcalinidade média, de 248,9 µEq/L, foi observada na vazante (abril-09). Na enchente (novembro-08) e na seca (junho-09) as médias foram semelhantes (337,7 e 347,4 µEq/L). Já na cheia (janeiro-09), a alcalinidade nas estações de coleta foi superior, com média de 429,3 µEq/L. Cabe destacar que nesta campanha foi observada grande variabilidade entre os pontos de coleta. O maior valor medido na cheia (janeiro-09) foi de 619,8 µEq/L, na estação P6 (**Figura 4.1.8-29**). De modo geral, os rios tributários apresentaram alcalinidades superiores àquelas medidas ao longo do rio Paraíba do Sul.

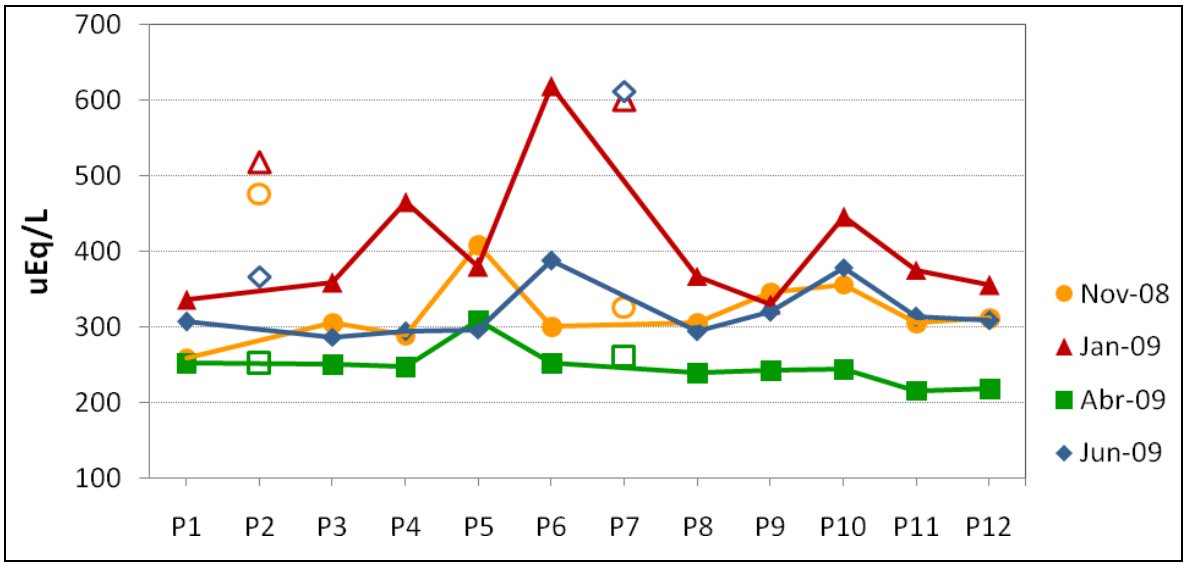


Figura 4.1.8-29 - Variação da Alcalinidade (µEq/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

Os valores de alcalinidade registrados nas quatro campanhas podem ser considerados elevados, indicando que, no trecho estudado, as águas do rio Paraíba do Sul e seus tributários apresentam boa capacidade de tamponamento para variações no pH.

O potencial redox é uma medida da quantidade de elétrons presente nos sistemas aquáticos. Quando o oxigênio da água se esgota devido à decomposição aeróbica da matéria orgânica, outros receptores de elétrons são utilizados (nitrato, nitrito, ferros, óxidos de manganês, sulfato e dióxido de carbono) como mediadores da decomposição anaeróbica. A disponibilidade desses receptores é controlada pelo potencial redox da água. A queda no potencial redox pode influir na

qualidade da água, pois certas substâncias se reduzem formando elementos potencialmente tóxicos tais como o gás sulfídrico e o gás metano (Boyd, 1990).

Durante as três primeiras campanhas realizadas os valores médios de potencial redox foram semelhantes: -15,5 mV na enchente (novembro-08); -16,4 mV na cheia (janeiro-09); e -18,6 mV na vazante (abril-09). No entanto, a variação espacial do potencial redox nestas campanhas foi marcante: entre -2,2 e -28,1 mV na enchente (novembro-08), entre -1,0 e -38,0 mV na cheia (janeiro-09) e entre -7,0 e -29,0 mV na vazante (abril-09) e entre -11,0 e -41,0 na seca (junho-09).

Na seca, no entanto, os valores foram inferiores, com média de -26,5 (**Figura 4.1.8-30**). No geral, o valores do potencial redox observados podem ser considerados baixos, indicando a presença de espécies químicas reduzidas como metais alcalinos, $PbSO_4$ e Mn^{2+}.

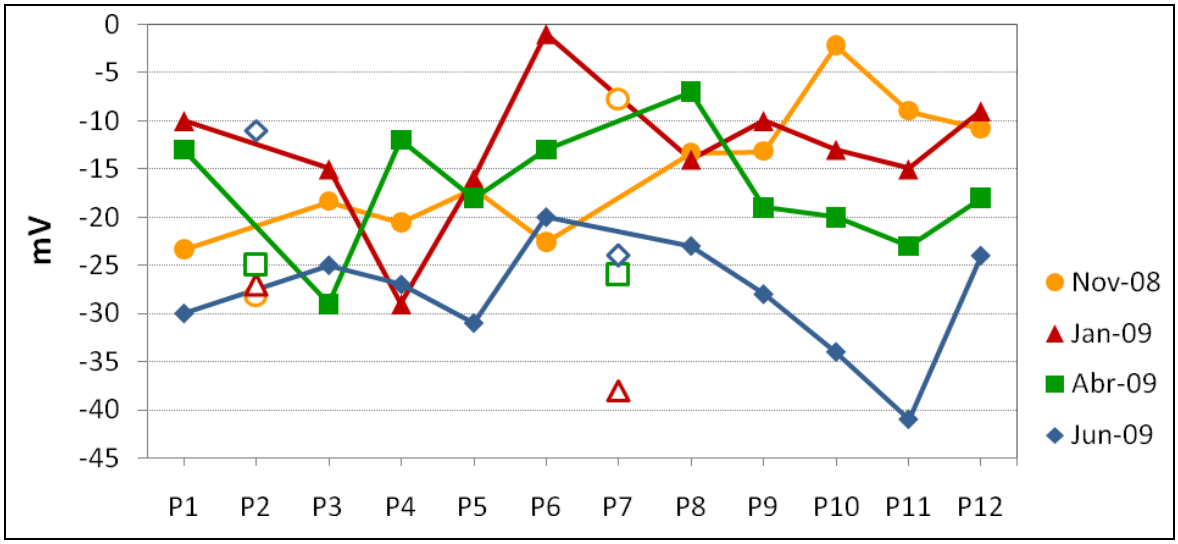


Figura 4.1.8-30 - Variação do Potencial Redox (mV), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

4.1.8.4.6 - Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica da água corresponde à carga elétrica transmitida pela água em um espaço definido. Uma vez que a condução elétrica na água depende da concentração de íons em solução, a condutividade é uma medida indireta do teor de sais dissolvidos. Em sistemas de água doce, a condutividade está relacionada a fatores geoquímicos locais, a condições climáticas e a influências antrópicas. A condutividade elétrica da água constitui uma das variáveis mais importantes em limnologia, visto que pode fornecer informações relevantes tanto sobre o

metabolismo do ecossistema aquático, quanto sobre fenômenos que ocorram na sua bacia de drenagem (Esteves, 1988).

A condutividade nos pontos amostrados variou entre 25,0 (P1, cheia) e 72,5 µS/cm (P6, vazante). O menor valor médio (31,58 µS/cm) foi observado na enchente (novembro-08). Esta campanha foi caracterizada por valores mais baixos e homogeneidade espacial da condutividade (**Figura 4.1.8-31**). Nas demais campanhas, as médias foram de 45,1 µS/cm na cheia (janeiro-09), 55,9 µS/cm na vazante (abril-09); e 45,1 µS/cm na cheia (junho-09).

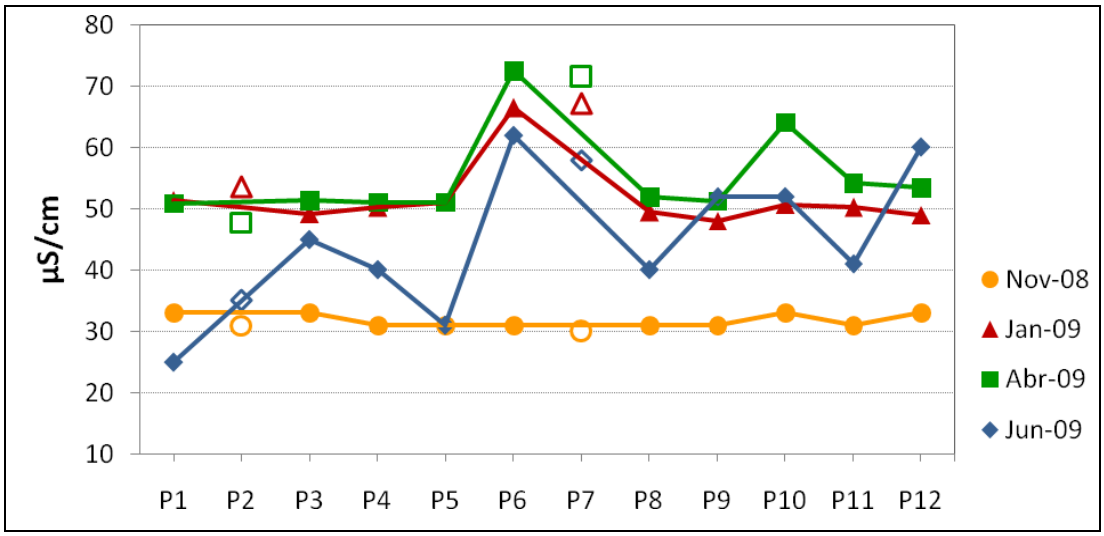


Figura 4.1.8-31 - Variação da Condutividade (µS/cm), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

O ponto P6 se destacou nas três últimas campanhas por ser o ponto com maior condutividade no rio Paraíba do Sul. Os pontos localizados em rios tributários apresentaram condutividades levemente superiores àquelas medidas no rio Paraíba do Sul, com exceção da campanha de novembro-08.

Os valores de condutividade elétrica da água no trecho estudado do rio Paraíba do Sul e em seus tributários foram baixos, apesar da grande influência antrópica na região. Este fato pode ser devido às baixas concentrações dos principais íons responsáveis pela condutividade (potássio, cloreto e sulfato, ver **item 4.1.8.4.9**).

4.1.8.4.7 - Sólidos Totais e Dissolvidos

Os sólidos suspensos indicam a medida da quantidade de material particulado em suspensão na água, sendo representados por colóides e partículas menos densas que a água, inclusive os microorganismos planctônicos. As partículas em suspensão reduzem a transparência da água e, conseqüentemente, a

produção primária. Por outro lado, essas partículas apresentam uma superfície de contato importante para reações físico-químicas, químicas ou biológicas que ocorrem na água.

As concentrações de sólidos totais foram maiores nas campanhas realizadas durante o período de chuvas, quando o aporte de material proveniente da bacia de drenagem é maior. Os valores médios observados nesse período foram de 273,2 mg/L na enchente (novembro-08) e 110,8 mg/L na cheia (janeiro-09). Os maiores valores observados na enchente (novembro-08) estão relacionado com a mais intensa lixiviação do solo nas margens dos ecossistemas aquáticos no início das chuvas. No início das chuvas os rios tributários amostrados apresentaram concentrações de sólidos totais superiores àquelas registradas no rio Paraíba do Sul. Na vazante (abril-09) e seca (junho-09), as concentrações médias de sólidos totais foram de 69,2 mg/L e 87,8 mg/L, respectivamente (**Figura 4.1.8-32**).

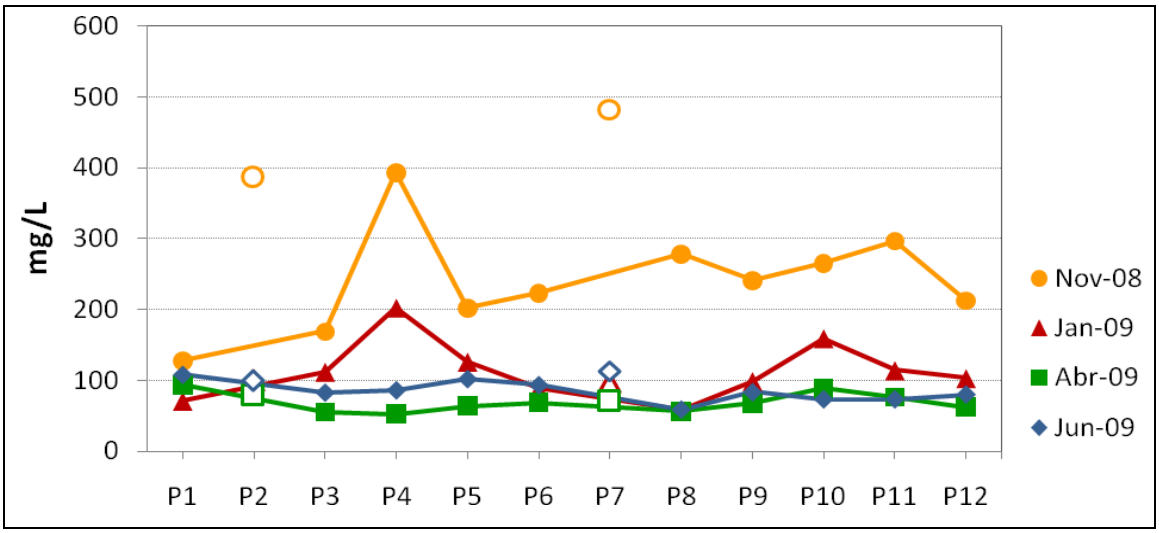


Figura 4.1.8-32 - Concentrações de Sólidos Totais (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

De acordo com a Resolução Conama nº 357/05, a concentração máxima de sólidos dissolvidos para águas de Classe 2 é de 500 mg/L. Todas as estações amostradas apresentaram valores inferiores a esse limite (**Figura 4.1.8-33**). As concentrações médias de sólidos dissolvidos variaram de 44,0 mg/L (seca) a 71,6 mg/L (cheia).

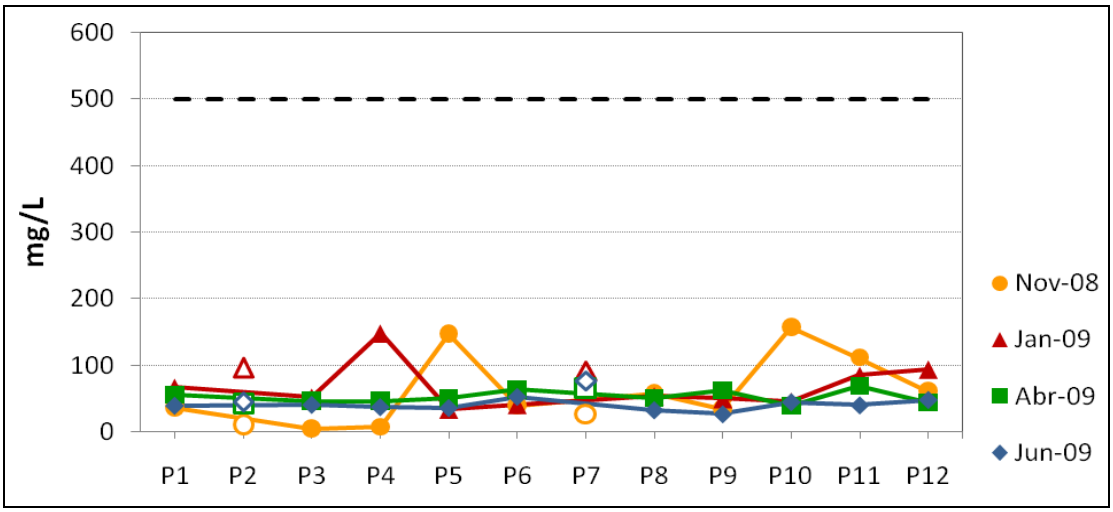


Figura 4.1.8-33 - Concentrações de Sólidos Dissolvidos (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. A linha tracejada indica o limite da Resolução Conama nº 357/05

4.1.8.4.8 - Nutrientes

Os ecossistemas aquáticos apresentam concentrações de formas nitrogenadas e fosfatadas pequenas do ponto de vista de composição da água, porém de extrema importância na manutenção da vida nestes ambientes. Quando a disponibilidade destes elementos é menor do que a demanda biológica, eles podem ser limitadores ou reguladores da produtividade nos ecossistemas aquáticos (Esteves, 1998). O aporte de nutrientes para os ecossistemas aquáticos pode determinar o estado trófico (Wetzel & Likens, 1991).

4.1.8.4.8.1 - Nitrogênio

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos, principalmente devido a sua participação na formação de proteínas. Quando presente em baixas concentrações, o nitrogênio pode atuar como fator limitante na produção primária (Esteves, 1988). As principais fontes naturais de nitrogênio são: chuva, materiais orgânicos e inorgânicos de origem alóctone (afluentes carregados de produtos de erosão e decomposição da região adjacente), poeiras trazidas pelo vento e fixação de nitrogênio molecular por organismos autóctones.

O nitrogênio inorgânico dissolvido é dado pela soma das concentrações dos íons nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal total. A absorção do nitrogênio amoniacal total, a fração mais reduzida de nitrogênio, por microorganismos é energeticamente mais favorável, o que lhe confere grande

importância para o metabolismo planctônico. Por outro lado, quando presente em grandes concentrações, o nitrogênio amoniacal total passa a ser tóxica a muitos organismos.

A Resolução Conama nº 357/05 estabelece um limite máximo de 3,7 mg/L de nitrogênio amoniacal total para águas na Classe 2, com pH menor ou igual a 7,5. Este limite foi, então, adotado para a maioria dos pontos amostrados. Em caso de águas com pH entre 7,5 e 8,0, o limite estabelecido pelo Conama é de 2,0 mg/L de nitrogênio amoniacal total, enquanto o limite de 1,0 mg/L é adotado para pH entre 8,0 e 8,5. Os valores de pH dos pontos amostrados variaram de 6,51 a 8,18 e as concentrações de nitrogênio amoniacal total foram inferiores aos limites estabelecidos pelo Conama em todas as faixas de pH.

As concentrações médias de nitrogênio amoniacal total na enchente (novembro-08), cheia (janeiro-09) e vazante (abril-09) foram semelhantes (0,024; 0,20 e 0,014 mg/L, respectivamente), apesar da grande variação espacial. Na seca (junho-09) as concentrações de nitrogênio amoniacal total foram menores quando comparadas às demais campanhas (**Figura 4.1.8-34**), com um valor médio de 0,052 mg/L. O ponto P7, localizado no rio Pirapetinga, na seca (junho-09), apresentou a maior concentração de nitrogênio amoniacal total observada, de 0,097 mg/L.

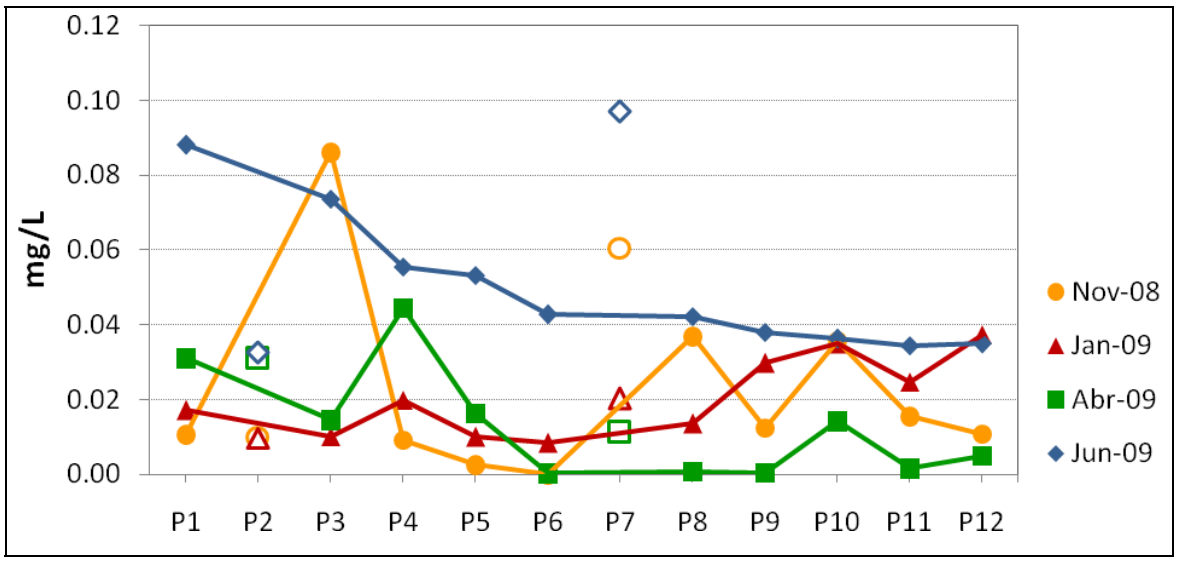


Figura 4.1.8-34 - Concentrações de Nitrogênio amoniacal total (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. O limite da Res. CONAMA 357/05 é 3,7 mg/L

O nitrato, juntamente com o nitrogênio amoniacal total, é a principal fonte de nitrogênio inorgânico assimilado por bactérias e algas, sendo ambos importantes reguladores da produtividade nos ecossistemas aquáticos. O nitrito, na maioria dos ambientes aquáticos,

representa a fração mais rara do nitrogênio inorgânico, estando muitas das vezes em concentrações impossíveis de serem quantificadas pelos métodos analíticos tradicionais, principalmente em ambientes aquáticos bem oxigenados.

As maiores concentrações tanto de nitrato (média de 0,91 mg/L) quanto de nitrito (média de 0,027 mg/L) foram medidas durante a enchente (novembro-08). Maiores concentrações de nutrientes nitrogenados são esperadas no período de início das chuvas quando comparado com o período de estiagem, uma vez que as chuvas causam um maior aporte de material terrestre proveniente da bacia de drenagem.

Os dados da cheia (janeiro-09) não seguem esse padrão, uma vez que as concentrações de nitrato (média de 0,25 mg/L) e nitrito (média de 0,005 mg/L) nessa campanha foram inferiores àquelas medidas durante a vazante e a seca. Provavelmente as menores concentrações de nitrato e nitrito no período de cheia estão relacionadas à diluição destes íons na coluna de água (**Figura 4.1.8-35** e **Figura 4.1.8-36**).

A Resolução Conama nº 357/05 estabelece os limites máximos de 10,0 mg/L de nitrato e 1,0 mg/L de nitrito para águas na Classe 2. Todos os pontos amostrados nas quatro campanhas apresentaram concentrações inferiores a esse limite.

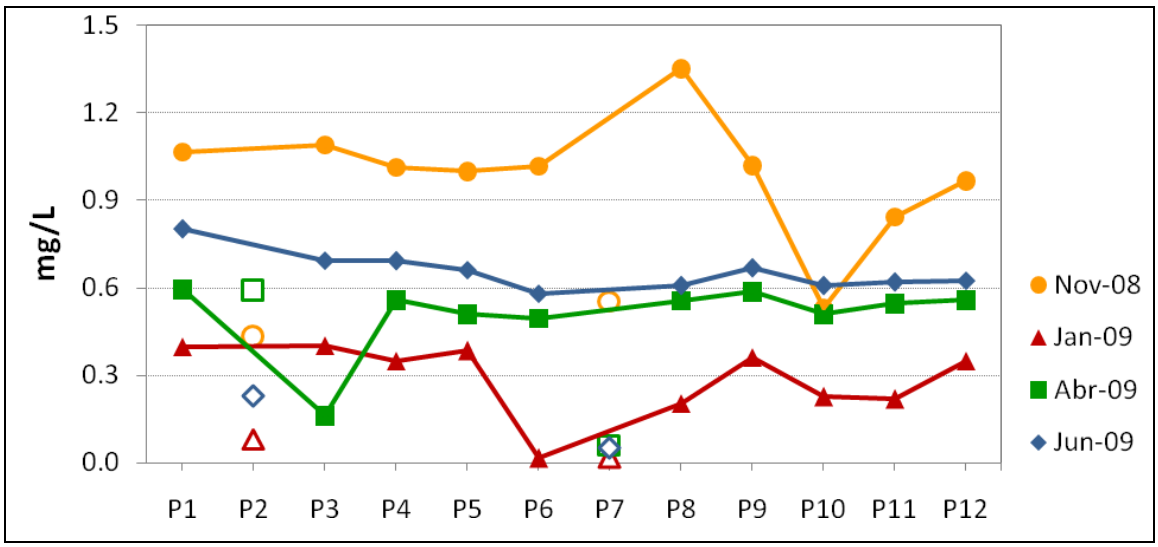


Figura 4.1.8-35 - Concentrações de Nitrato (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. O limite da Resolução Conama nº 357/05 é 10 mg/L

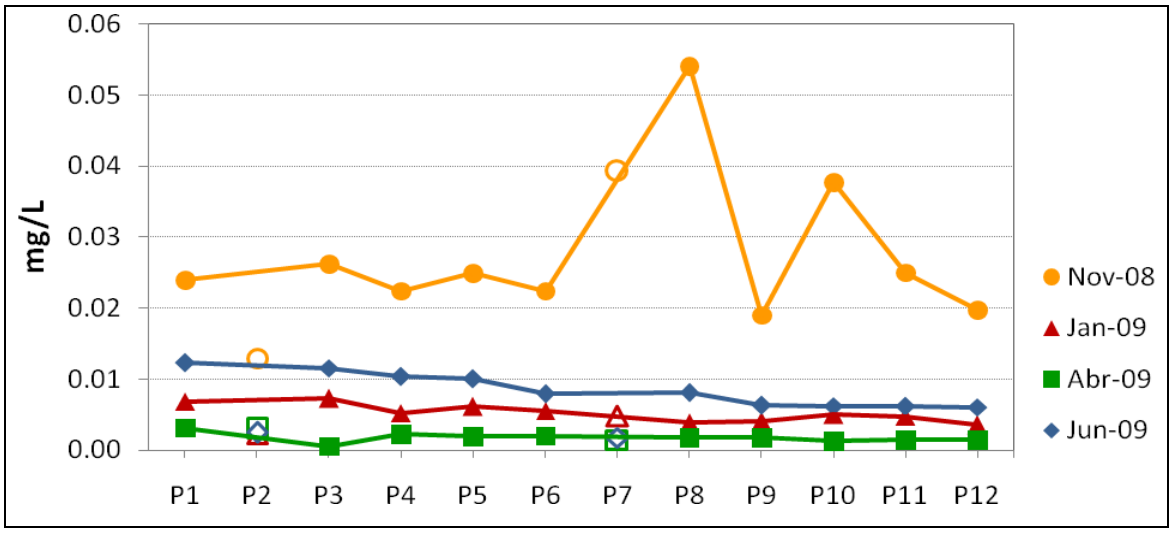


Figura 4.1.8-36 - Concentrações de Nitrito (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. O limite da Resolução Conama nº 357/05 é 1,0 mg/L

O nitrogênio total é dado pelas formas inorgânicas dissolvidas (nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal total), somadas ao nitrogênio orgânico. A sazonalidade da variação nas concentrações de nitrogênio total foi marcante. No entanto, por influência dos teores de nitrato e nitrito, não houve uma separação entre estações de chuva (enchente e cheia) e estiagem (vazante e seca), como seria esperado.

As maiores concentrações de nitrogênio total ocorreram na enchente (novembro-08, média de 1,72 mg/L). Na cheia (janeiro-09), a segunda coleta no período de chuvas, no entanto, as concentrações foram as mais baixas (média de 0,46 mg/L) (**Figura 4.1.8-37**). Cabe destacar que os valores de nitrogênio total estiverem sempre abaixo dos limites estabelecidos pelo artigo 10, § 3º da Resolução Conama nº 357/2005.

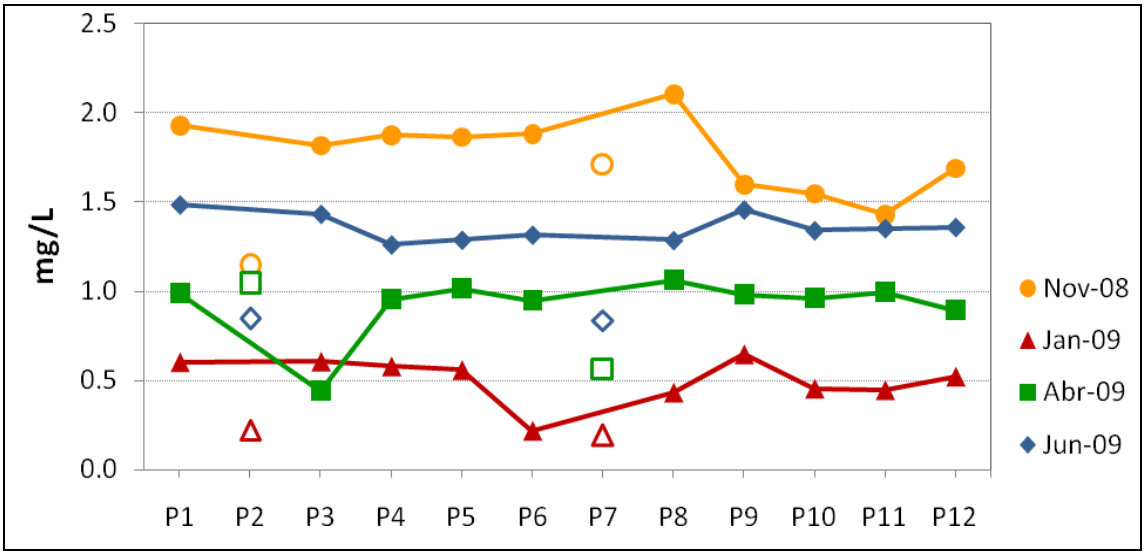


Figura 4.1.8-37 - Concentrações de Nitrogênio Total (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

A fração inorgânica dissolvida contribuiu, em média, com 53% do nitrogênio total no trecho estudado do rio Paraíba do Sul, enquanto que a fração orgânica representa, em média, 47%. O nitrato representou, em média, 90% do nitrogênio inorgânico, valor que pode estar associado às boas condições de oxigenação das águas e à pronta oxidação das formas mais reduzidas (nitrogênio amoniacal total e nitrito). O nitrogênio na forma de nitrato parece ser a principal fonte de N para os produtores primários. As concentrações observadas indicam que o nitrato pode passar a exercer papel relevante no futuro reservatório, em relação ao fitoplâncton e macrófitas aquáticas, quando da modificação do sistema lótico para lêntico.

4.1.8.4.8.2 - Fósforo

O fósforo é o principal limitante da produção primária no ambiente aquático, sendo também o principal responsável pelo processo de eutrofização artificial. Esse nutriente participa de processos fundamentais ao metabolismo dos seres vivos, tais como armazenamento de energia (molécula de ATP) e estruturação da membrana celular (fosfolipídios). A fonte primária de fósforo para o ambiente aquático está nas rochas da bacia de drenagem. No entanto, outras fontes, tais como a decomposição de matéria orgânica terrestre, lançamento de esgotos, fertilizantes agrícolas, dentre outras, podem representar contribuições consideráveis em alguns ecossistemas.

A fração de fósforo mais assimilada pelos organismos aquáticos é o fosfato. As concentrações médias de fosfato nas estações amostradas variaram entre 0,021 na vazante (abril-09) e 0,080 mg/L na enchente (novembro-08). A variação espacial das concentrações de fosfato foi marcante principalmente na campanha de enchente (novembro-08) (**Figura 4.1.8-38**).

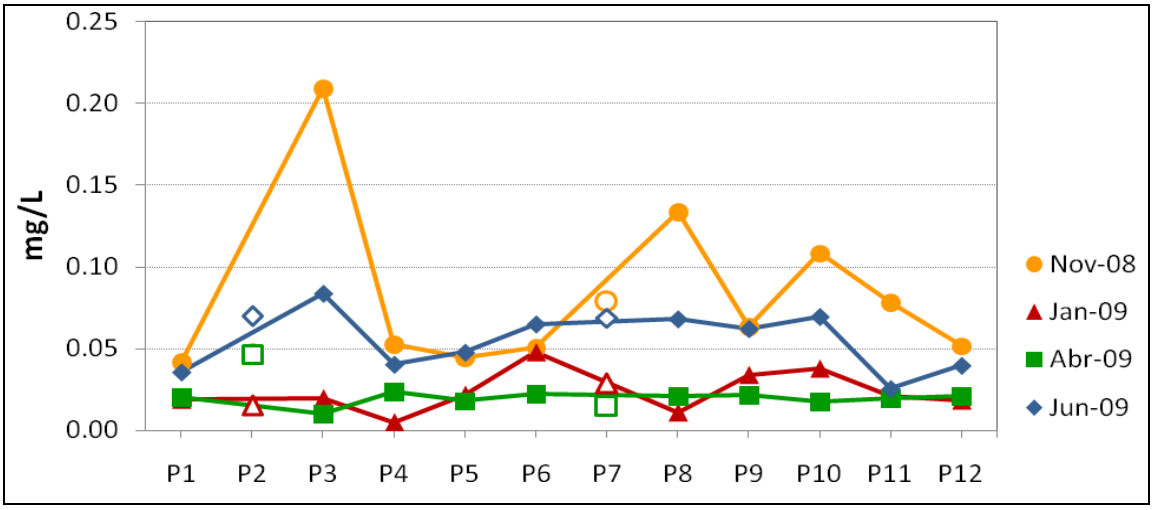


Figura 4.1.8-38 - Concentrações de Fosfato (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

A variação sazonal nas concentrações de fósforo foi marcante, com maiores valores nas campanhas realizadas na enchente e na cheia. As concentrações médias na enchente (novembro-08) e na cheia (janeiro-09) foram de 0,26 e 0,20 mg/L, respectivamente. Todos os pontos amostrados nessas duas campanhas apresentaram teores de fósforo total superiores ao limite estabelecido como máximo para águas de Classe 2 pela Resolução Conama nº 357/05 (0,1 mg/L) (**Figura 4.1.8-39**).

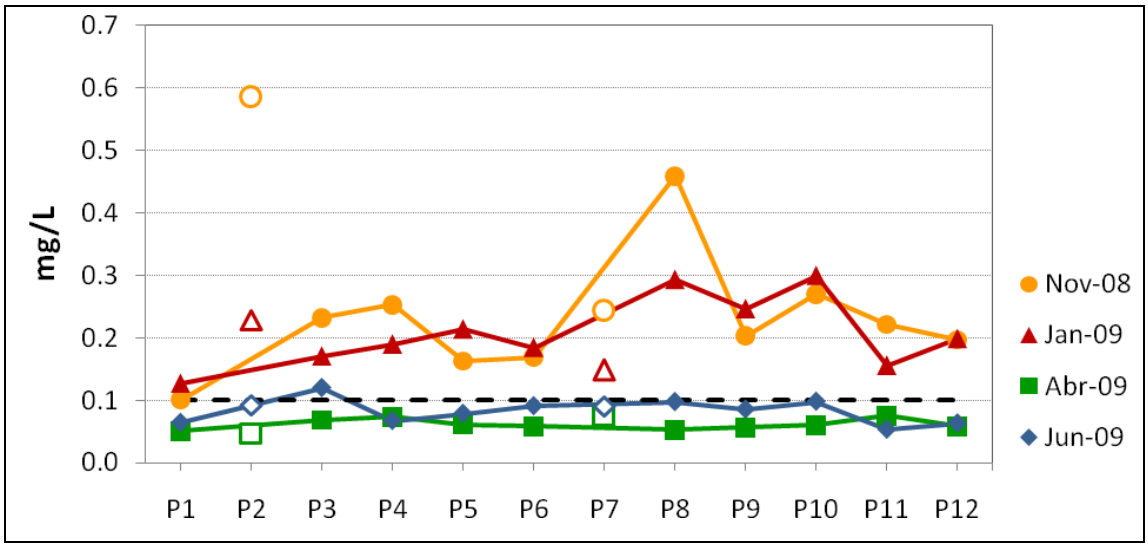


Figura 4.1.8-39 - Concentrações de Fósforo Total (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. O limite da Res. CONAMA 357/05 é 0,1 mg/L

Já nas campanhas realizadas durante o período de estiagem, os teores de fósforo total foram menores, com concentrações médias de 0,06 e 0,08 mg/L na vazante (abril-09) e na seca (junho-09), respectivamente. Durante o período de seca (junho-09), apenas o ponto P3, em junho-09, apresentou concentração de fósforo total elevada (0,12 mg/L), superior ao limite estabelecido como máximo pelo Conama.

Além do nitrato, o fósforo também pode vir a desempenhar papel relevante no ecossistema aquático do reservatório a ser formado pela UHE Itaocara. Os valores de fósforo total, que estiveram dentro dos padrões para Classe 2 durante a estação seca, são superiores ao limite de 0,025 mg/L estabelecido para ambientes com tempo de residência entre 2 e 40 dias, o que será o caso do reservatório da UHE Itaocara.

Considerando três sistemas de classificação comumente utilizados na limnologia pode-se verificar que os teores de fósforo total e nitrogênio total apontam para um sistema já eutrofizado (**Quadro 4.1.8-10**). As concentrações de nutrientes dissolvidos e totais registradas nas 12 estações em todas as campanhas realizadas apontam, também, para a formação de um reservatório eutrofizado.

Quadro 4.1.8-10 - Categorias de estado trófico baseadas na qualidade da água

Nürnberg, 1996				
	Oligotrófico	**Mesotrófico**	**Eutrófico**	**Hipereutrófico**
Fósforo Total (µg/L)	< 10	10 - 30	**31 - 100**	> 100
Nitrogênio Total (µg/L)	< 350	350 - 650	**651 - 1.200**	> 1.200
Clorofila a (µg/L)	< 3,5	3,5 - 9	9,1 - 25	> 25
Transparência (m)	> 4	2 - 4	1 - 2,1	< 1
Vollenweider & Kerekes, 1980				
	Oligotrófico	**Mesotrófico**	**Eutrófico**	**Hipereutrófico**
Fósforo Total (µg/L)	4,8 - 13,3	13,7 - 37	**38 - 189**	750 - 1.200
Nitrogênio Total (µg/L)	321 - 1.180	485 - 1.170	**861 - 4.085**	-
Clorofila a (µg/L)	0,8 - 7,4	3 - 7,4	6,7 - 31	100 - 150
Salas & Martino, 1991				
	Oligotrófico	**Mesotrófico**	**Eutrófico**	**Hipereutrófico**
Fósforo Total (µg/L)	21 ± 1,5	40 ± 11,2	**119 ± 2,1**	-
Clorofila a (µg/L)	3,6	6,7	17,4	-

4.1.8.4.8.3 - Sílica

A sílica presente no ambiente aquático é proveniente, principalmente, da decomposição de minerais de silicato. É de fundamental importância para a elaboração de carapaças de diatomáceas, podendo ser um fator limitante ao crescimento destes organismos.

As maiores concentrações de sílica foram observadas na cheia (janeiro-09), média de 10,1 mg/L, e as menores, na vazante (abril-09), média de 2,3 mg/L. A variação espacial das concentrações de sílica no rio Paraíba do Sul foi grande apenas na enchente (novembro-08) (**Figura 4.1.8-40**). No entanto, comparado aos valores médios no rio Paraíba do Sul, os tributários amostrados apresentaram concentrações de sílica superiores. Estas concentrações são elevadas e não limitantes ao crescimento de espécies fitoplanctônicas (Reynolds, 1997).

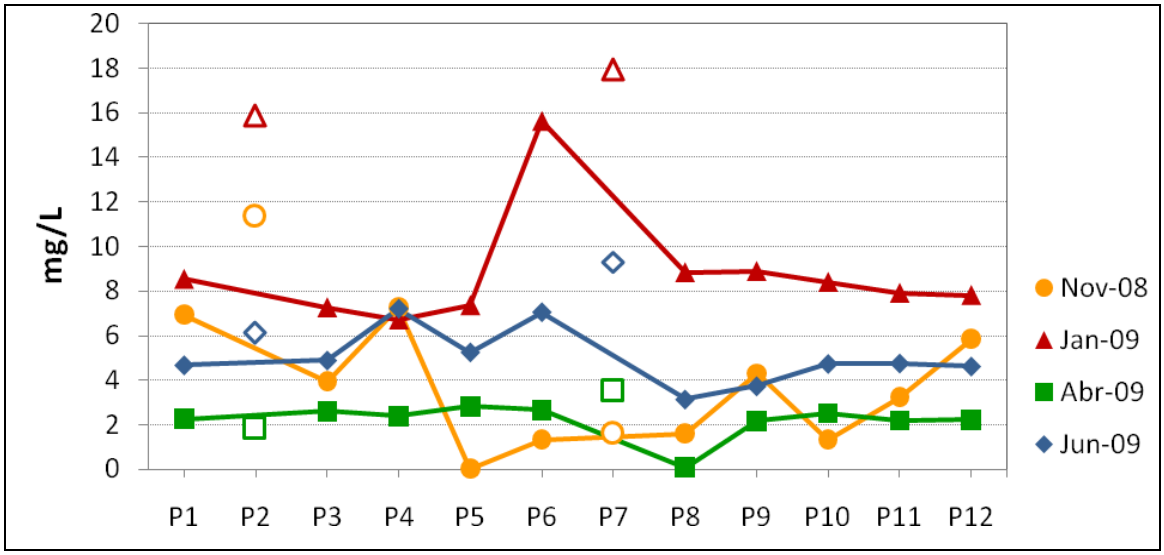


Figura 4.1.8-40 - Concentrações de Sílica (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

4.1.8.4.9 - Sulfato, Cloreto e Potássio

Sulfato, cloreto e potássio são alguns dos íons responsáveis pela dureza e salinidade da água, além de desempenharem importante papel na produtividade global dos ecossistemas aquáticos. Comumente abundantes na coluna d'água, estes íons são raramente limitantes para a produção primária. Vários fatores podem influenciar a composição iônica dos ecossistemas aquáticos, tais como a geologia da bacia de drenagem e o regime de chuvas, além da influência antrópica. As principais origens dos íons sulfato para o meio aquático são os depósitos minerais (especialmente gipsita e anidrita), a oxidação de matéria orgânica e despejos industriais.

As concentrações médias de sulfato variaram de 1,18 mg/L, na vazante (abril-09), a 2,81 mg/L, na enchente (novembro-08). Os tributários amostrados apresentaram concentrações de sulfato inferiores aos valores medidos no rio Paraíba do Sul, com teores acima do mínimo detectável pelo método (1,0 mg/L) apenas na coleta de enchente (novembro-08) (**Figura 4.1.8-41**). De acordo com a Resolução Conama nº 357/2005, a concentração máxima de sulfato para águas de Classe 2 deve ser 250 mg/L. Todos os pontos amostrados, durante as quatro coletas, apresentaram concentrações inferiores a esse valor.

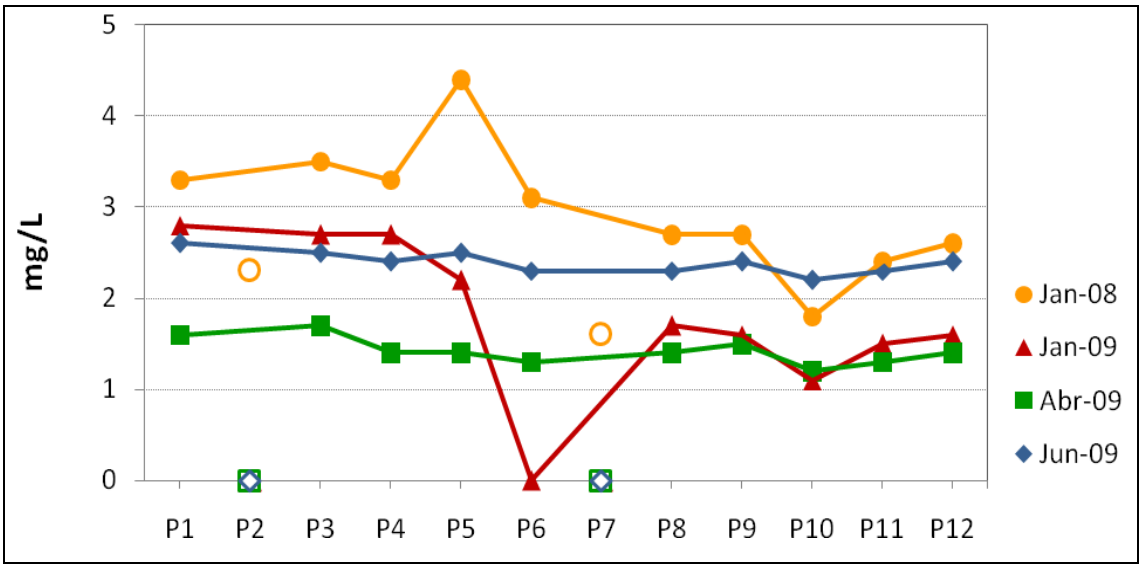


Figura 4.1.8-41 - Concentrações de Sulfato (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. O limite da Resolução Conama nº 357/05 é 250 mg/L

As concentrações médias de cloretos variaram de 1,80 mg/L na cheia (janeiro-09) a 2,73 mg/L na seca (junho-09). Em todas as campanhas as menores concentrações foram observadas no ponto P2, localizado no rio Angu (**Figura 4.1.8-42**). De acordo com a Resolução Conama nº 357/2005, a concentração máxima de cloretos para águas de Classe 2 deve ser 250 mg/L. Todos os pontos amostrados durante as quatro coletas apresentaram concentrações inferiores a esse valor.

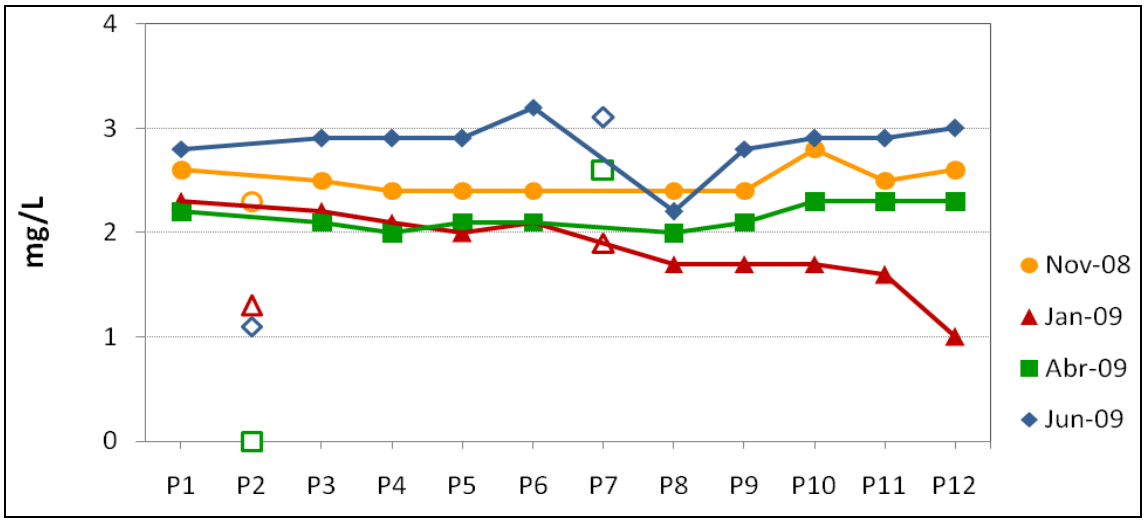


Figura 4.1.8-42 - Concentrações de Cloreto (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. O limite da Resolução Conama nº 357/05 é 250 mg/L

Todas as estações amostradas apresentaram concentrações de potássio abaixo de 4,0 mg/L, com exceção do ponto P2 (**Figura 4.1.8-43**). O ponto P2, na enchente (novembro-08), apresentou 10 mg/L de potássio. Este íon, no entanto, não é considerado crítico para a qualidade da água. A Resolução Conama nº 357/05 não estabelece um limite para o teor de potássio em ambientes aquáticos.

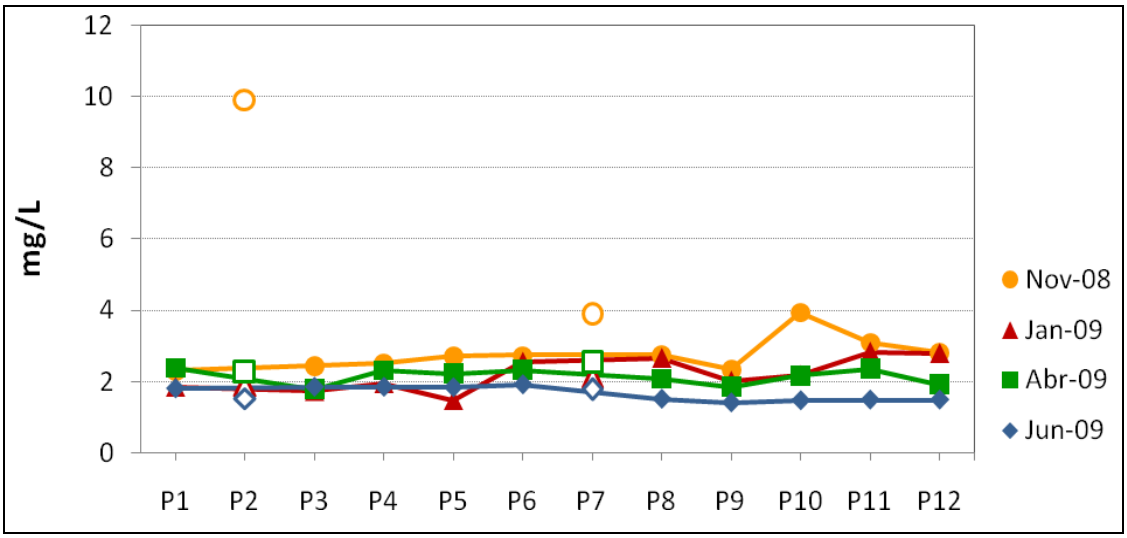


Figura 4.1.8-43 - Concentrações de Potássio (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

4.1.8.4.10 - Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio

Medidas de Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO são utilizadas como indicadores da concentração de matéria orgânica na coluna d'água. A DBO representa uma medida indireta da matéria orgânica presente na água através do cálculo do consumo de oxigênio por microorganismos aeróbios em um período de tempo de cinco dias. Quanto mais matéria orgânica disponível na água, maior é o consumo de oxigênio pelos microorganismos que a degradam, e maior é a liberação de CO_2 no ambiente. No entanto, diferente dos oxidantes químicos, os microorganismos não conseguem quebrar a matéria orgânica muito complexa em um curto espaço de tempo.

A Demanda Química de Oxigênio – DQO é uma medida da quantidade de oxidantes fortes necessária para a oxidação completa de todas as espécies reduzidas presentes na água. O volume de oxidante consumido expressa a concentração de toda a matéria orgânica, biodegradável ou não, passível de sofrer oxidação. Os fortes agentes químicos oxidantes utilizados na DQO conseguem quebrar todas as cadeias de carbono existentes.

A Resolução Conama nº 357/05 estabelece 5 mg/L como o limite máximo de DBO para águas de Classe 2. Teores superiores a esse limite foram observados apenas no ponto P10, na enchente (novembro-08), e no ponto P5, na cheia (janeiro-09) (**Figura 4.1.8-44**). A elevada DBO no ponto P5 está provavelmente relacionada ao fato de esse ponto estar localizado imediatamente a jusante dos municípios de Formiga e São Sebastião do Paraíso. Nas campanhas realizadas durante a vazante (abril-09), a seca (junho-09) e a cheia (janeiro-09, com exceção do ponto P5), todos os pontos amostrados apresentaram teores inferiores ao limite de detecção do método adotado (2,0 mg/L).

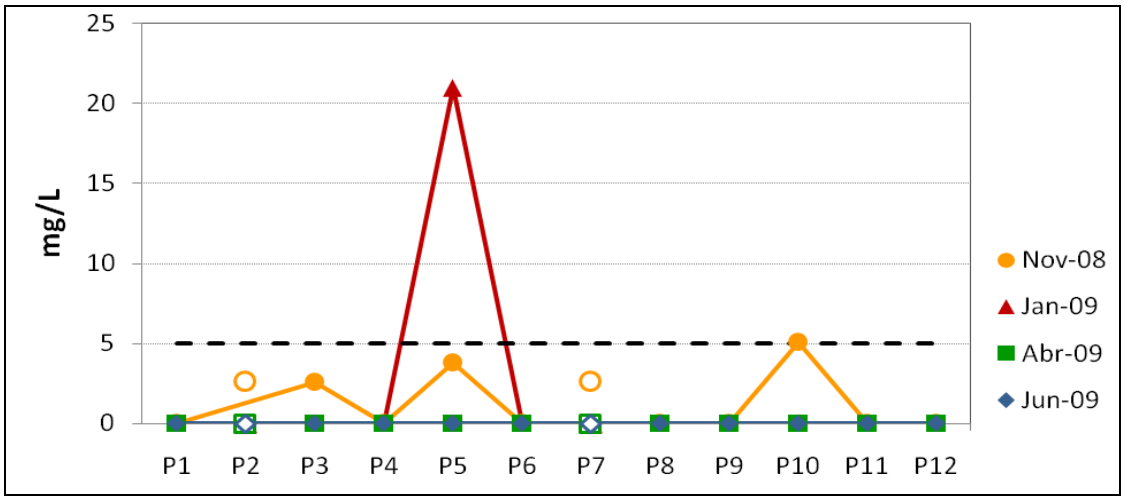


Figura 4.1.8-44 - Variação da DBO (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. A linha tracejada indica o limite da Resolução Conama nº 357/05

O ponto P5, na cheia (janeiro-09), apresentou também a maior DQO, de 57,0 mg/L (**Figura 4.1.8-45**). Devido à influência desse valor elevado, o maior DQO média, de 13,9 mg/L, foi observada também na cheia (janeiro-09). Assim como ocorreu para DBO, os maiores teores de DQO foram observados nas campanhas realizadas nos períodos de chuva (enchente e cheia). A DQO média na enchente (novembro-08) foi de 10,3 mg/L. No período de estiagem a DBO média foi de 2,9 mg/L na vazante (abril/09) e 1,25 mg/L na seca (junho/09).

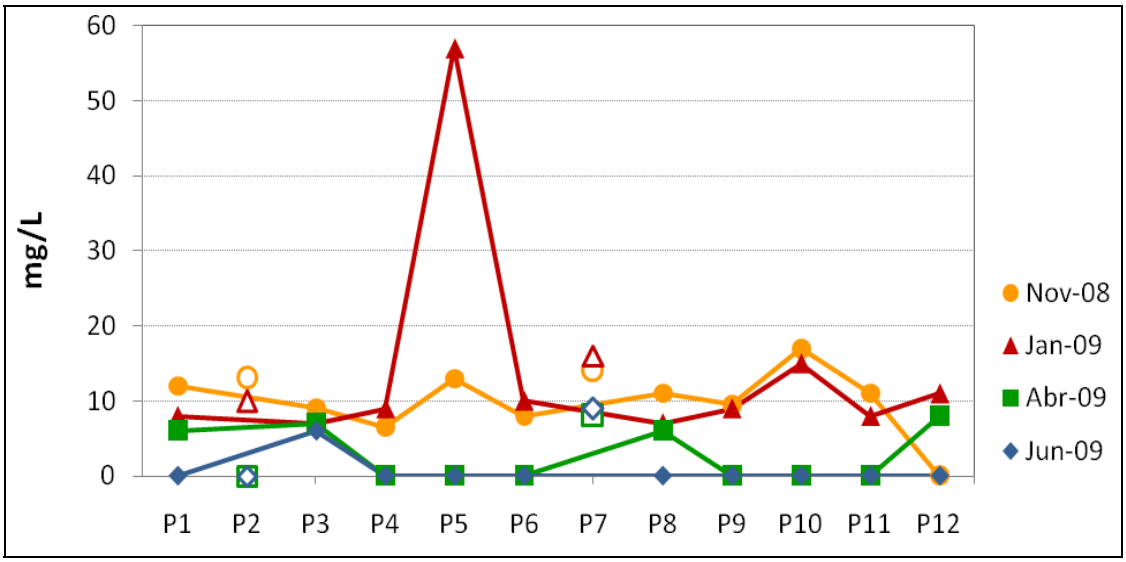


Figura 4.1.8-45 - Variação da DQO (mg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

4.1.8.4.11 - Clorofila-*a*

A clorofila-*a* é o principal pigmento responsável pela fotossíntese. Este pigmento representa, aproximadamente, de 1 a 2% do peso seco do material orgânico em todas as algas planctônicas. Desta maneira a clorofila-*a* pode ser um indicador da biomassa fitoplanctônica, sendo considerada uma importante variável indicadora de estado trófico dos ambientes aquáticos.

As concentrações de clorofila foram baixas, tanto no rio Paraíba do Sul quanto nos seus tributários. Estas concentrações, que estão dentro do limite estabelecido pela Resolução Conama nº 357/05 (máximo de 30 µg/L), são esperadas para um sistema lótico. Os menores valores de clorofila foram observados na seca (0,05 ug/L, junho-09), nas estações P7 e P12. A maior concentração foi 3,0 ug/L, na enchente (novembro-08), em P7.

Apesar de não apresentar padrão claramente definido, houve uma tendência a maiores valores de clorofila-*a* nas campanhas de enchente (novembro-08) e vazante (abril-09), com médias gerais mais elevadas (1,45 e 1,47 mg/L, respectivamente) (**Figura 4.1.8-46**). A variação da concentração de clorofila-*a* não correspondeu à sazonalidade chuva/seca e não está correlacionada com nenhuma das variáveis ambientais analisadas neste estudo. A heterogeneidade espacial observada nos resultados reflete o fluxo turbulento característico da dinâmica dos sistemas lóticos que carreia microalgas de origem planctônica, bentônica ou perifítica originadas na sua calha, ou mesmo em sistemas lênticos presentes na bacia de drenagem.

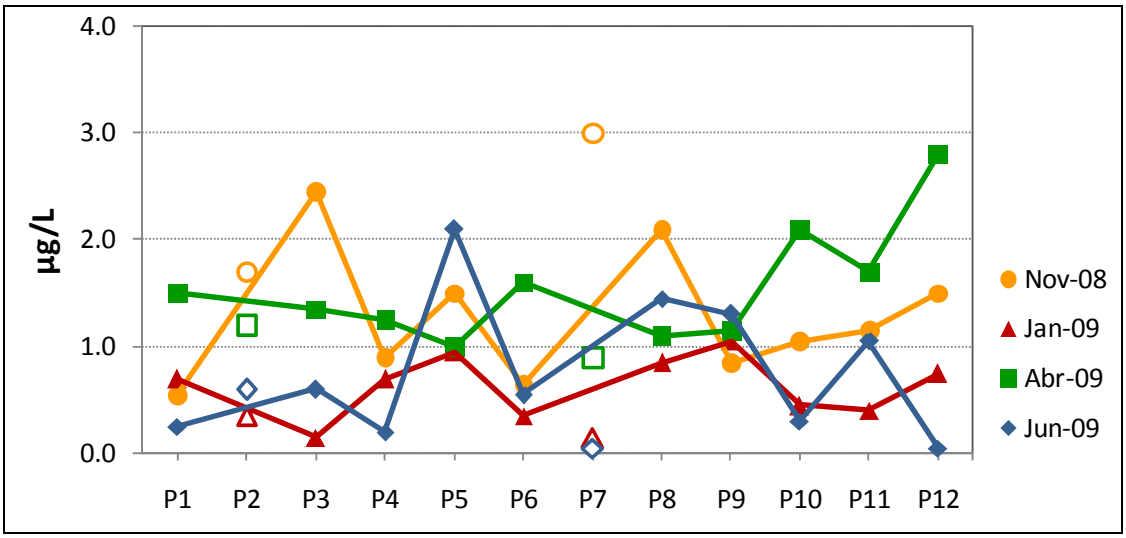


Figura 4.1.8-46 - Concentrações de Clorofila *a* (µg/L), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. O limite da Resolução Conama nº 357/05 é 30 µg/L

Apesar das baixas concentrações de clorofila-*a* registradas, o potencial para desenvolvimento do fitoplâncton no futuro reservatório da UHE Itaocara é elevado. O aumento do tempo de residência decorrente do barramento irá resultar em aumento da sedimentação de sólidos, com conseqüente aumento na disponibilidade de luz que, associado ao elevado aporte de nutrientes, favorecerá o aumento da biomassa fitoplanctônica.

4.1.8.4.12 - Bacteriológicos – Coliformes Termotolerantes

As bactérias do grupo coliformes são bacilos gram negativos, de vida livre, classificados na família Enterobacteriana, comumente encontrados no ambiente e no trato intestinal de humanos e outros animais homeotérmicos. Coliformes são excelentes indicadores de contaminação da água por organismos patogênicos, dada a sua grande viabilidade e resistência nos corpos d'água, por apresentarem-se em maior número que os microorganismos patogênicos e por não se reproduzirem no meio ambiente (Cabelli, 1978). No entanto, coliformes também ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminadas por material fecal.

A ausência destas bactérias, que são provenientes do carregamento pela água da chuva e do lançamento de esgoto doméstico em corpos receptores, implica em uma água bacteriologicamente potável. Bactérias do grupo coliformes são divididas em coliformes totais e coliformes termotolerantes. Os coliformes totais englobam espécies generalistas, tais como: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* e *Klebsiella*, capazes de crescer à temperatura ambiente. São aeróbios ou anaeróbicos facultativos, não formadores de esporos e oxidase negativos. Os

coliformes termotolerantes, também conhecidos como coliformes fecais, são muito bem representados pela *Escherichia coli*, o único coliforme de origem fecal, caracterizado por apresentar as enzimas ß-galactosidase e ß-glucuromidase.

A avaliação da contaminação das águas do rio Paraíba do Sul por microorganismos patogênicos foi realizada através de análises quantitativas durante a enchente e a cheia e por análise qualitativa (presença/ausência) durante a vazante e a seca. Coliformes termotolerantes foram registrados em todas as estações de coleta durante as quatro campanhas realizadas, indicando a contaminação das águas. As análises quantitativas realizadas durante a enchente e a cheia mostraram valores elevados de coliformes com violações dos limites em grande parte dos pontos de coleta (**Figura 4.1.8-47**). Os valores variaram entre 187 (P8) e 41.060 UFC/100ml (P10). As concentrações médias foram de 8.682 na enchente (novembro-08) e 11.134 UFC/100ml na cheia (janeiro-09).

A Resolução Conama nº 357/05 estabelece um limite máximo de 1.000 UFC/100ml de coliformes fecais para águas de Classe 2. A maioria dos pontos amostrados apresentou densidade de coliformes termotolerantes superiores a esse limite, com exceção apenas de alguns pontos no rio Paraíba do Sul em janeiro-09. Em geral, as concentrações foram bastante elevadas (> 10.000 UFC/100ml) especialmente nos pontos P2, P4, P5, P6, P9 e P10, evidenciando o impacto do esgoto produzido pelos municípios localizados à margem do rio Paraíba do Sul.

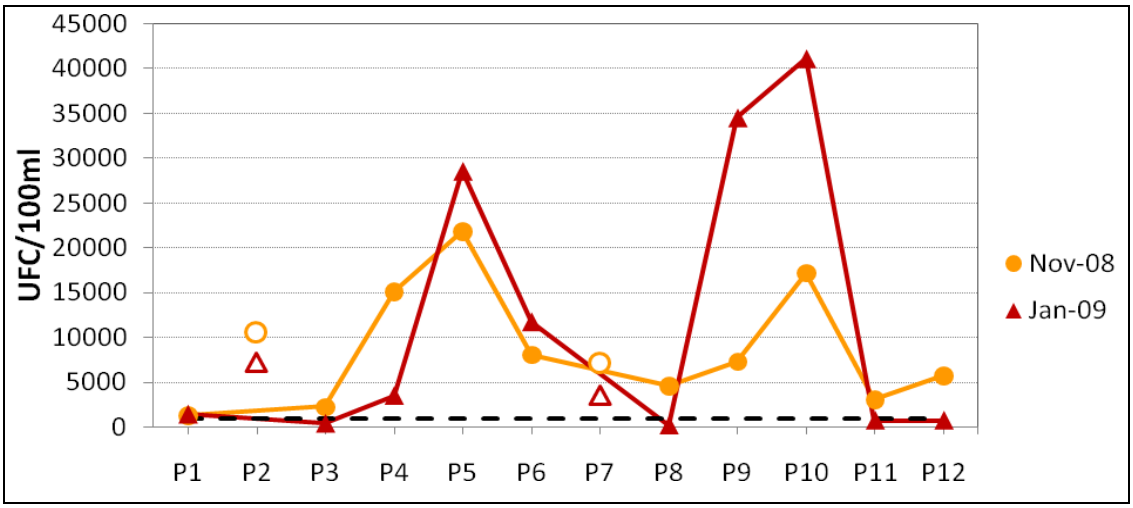


Figura 4.1.8-47 - Variação dos Coliformes Termotolerantes (UFC/100ml), em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. A linha tracejada indica o limite da Resolução Conama nº 357/05

4.1.8.4.13 - Metais – Água e Sedimento

Alguns elementos-traço são essenciais aos seres vivos desempenhando importante papel no seu metabolismo, uma vez que participam de um grande número de processos fisiológicos como fotossíntese, cadeia respiratória e fixação de nitrogênio. Contudo, outros não apresentam função biológica conhecida e são geralmente tóxicos a uma grande variedade de organismos. Dentre estes se destacam o grupo dos metais.

Em rios, a carga total de elementos-traço depende das características geológicas e ecológicas da bacia de drenagem e do tipo de atividade humana nela presente. Seu transporte é realizado principalmente sobre a forma dissolvida ou ligada ao material particulado em suspensão. Cabe ressaltar a possibilidade de ocorrência de precipitação, que leva a imobilização dos metais no sedimento. Assim, a ressuspensão do sedimento pode disponibilizar estes elementos na coluna d'água.

O ferro, o zinco e o cobre têm importante papel no metabolismo dos organismos aquáticos, uma vez que participam de um grande número de processos fisiológicos, tais como fotossíntese, cadeia respiratória, fixação de nitrogênio, entre outros. No entanto, quando em altas concentrações, esses elementos podem ser tóxicos. O chumbo, o cádmio, o cromo, o mercúrio e o alumínio não apresentam função biológica conhecida e são geralmente tóxicos a muitos organismos.

As principais fontes naturais de elementos-traço para ecossistemas aquáticos são o intemperismo de rochas e a erosão de solos ricos nestes elementos. As fontes antrópicas são o lançamento de efluentes domésticos e de efluentes provenientes de atividades industriais, atividades de mineração e atividades agrícolas, além da poluição atmosférica.

4.1.8.4.13.1 - Água

A presença de alumínio e ferro foi registrada em todas as estações de amostragem, em concentrações em geral elevadas, sendo os maiores teores no ponto P10 (23,5 mg/L de alumínio e 9,38 mg/L de ferro) (**Figura 4.1.8-48**). As concentrações foram superiores aos limites da Resolução Conama nº 357/05 nas campanhas realizadas na enchente, na cheia e na seca. Cobalto e cobre também foram registrados em elevadas concentrações durante a vazante (abril-09). Porém violações dos padrões ocorreram somente nas estações P1, P2, P4, P5, P6, P7 para cobalto e nas estações P1, P4 e P10 para cobre (**Figura 4.1.8-48**).

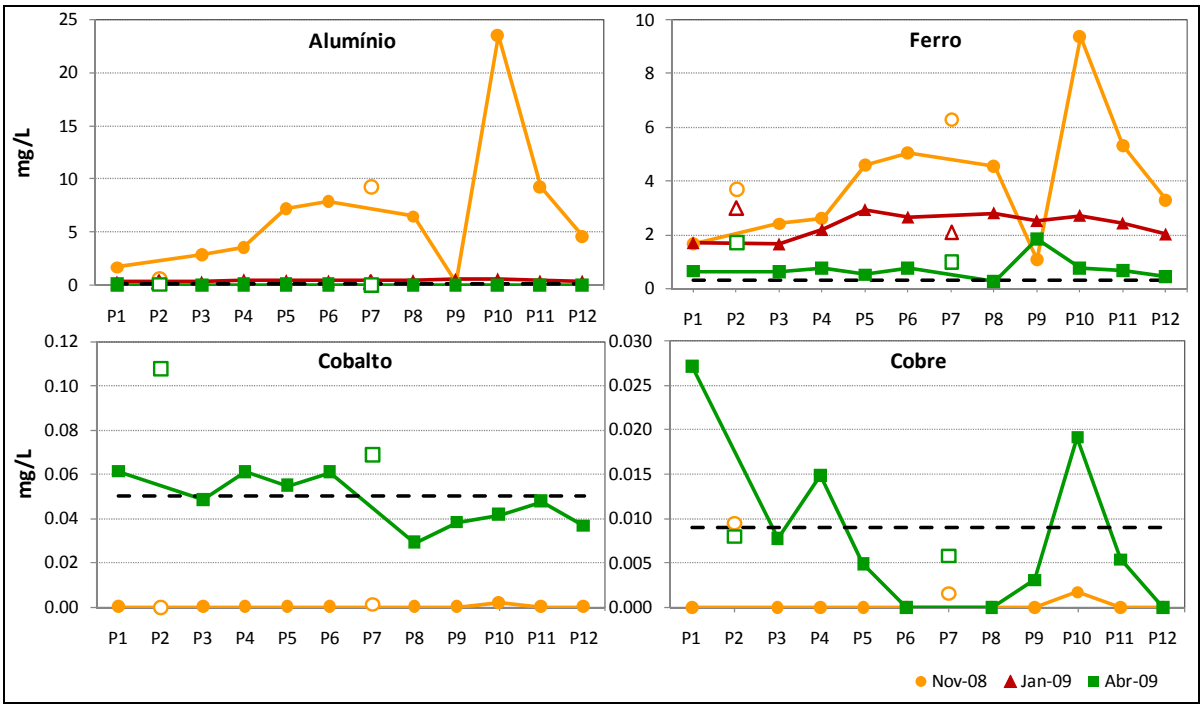


Figura 4.1.8-48 - Concentrações de Alumínio, Ferro, Cobalto e Cobre (mg/L) na água, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. As linhas tracejadas indicam os limites da Resolução Conama nº 357/05

Cádmio, níquel, cromo, chumbo e zinco também foram registrados em algumas estações de coleta principalmente na enchente (novembro-08). Contudo, as concentrações observadas estiveram sempre bem abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução Conama nº 357/05 (**Figura 4.1.8-49**). Em nenhum nos pontos amostrados foi registrada a presença de prata, arsênio e mercúrio.

Figura 4.1.8-49 - Variação de Cádmio, Níquel, Cromo, Chumbo e Zinco (mg/L) na água, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. As linhas tracejadas indicam os limites da Resolução Conama nº 357/05

4.1.8.4.13.2 - Sedimento

O sedimento é formado pela matéria depositada nos ambientes aquáticos. Este compartimento integra os processos que ocorrem na coluna de água e, por isso, pode refletir as modificações ocorridas no ambiente (Esteves, 1998). Por ser um compartimento que acumula minerais ao longo do tempo, o sedimento pode ser um indicador de mudanças no ecossitema aquático. Os metais contidos nas camadas superficiais do sedimento podem ser liberados para a coluna d'água por mecanismos físicos ou biológicos, aumentando sua disponibilidade para os organismos aquáticos e modificando a qualidade da água.

A presença de metais e arsênio no sedimento do rio Paraíba do Sul foi avaliada na enchente (novembro-08). Como valores de referência, foram utilizados os valores do folhelho padrão de

Turekian & Wedepohl (1961), para uma melhor interpretação dos valores registrados. Esta é a referência básica para estudos com metais pesados em sedimentos. Embora não tenha sido observada a presença de prata e arsênio nas amostras de sedimento analisadas, muitos metais foram detectados (**Quadro 4.1.8-8**).

Assim como observado na coluna d'água, os metais alumínio e ferro apresentaram as maiores concentrações no sedimento. As concentrações de alumínio variaram de 371 (P7) a 13.730 mg/kg (P3), enquanto as concentrações de ferro variaram de 2.562 (P7) a 37.727 mg/kg (P9). Os teores de alumínio e ferro em todos os pontos e campanhas foram superiores àqueles definidos como padrão para sedimento (8,0 mg/kg para alumínio e 4,7 mg/kg para ferro). A maior concentração de cobre foi detectada no ponto P3, com 19 mg/kg, valor inferior ao considerado como padrão pela literatura (45,0 mg/kg). Nos pontos de amostragem, as concentrações de cobalto variaram de valores menores que o limite de detecção do método (0,6 mg/kg) a 12,0 mg/kg (**Figura 4.1.8-50**). O folhelho de Turekian & Wedepohl (1961) não trata dos teores de cobalto no sedimento.

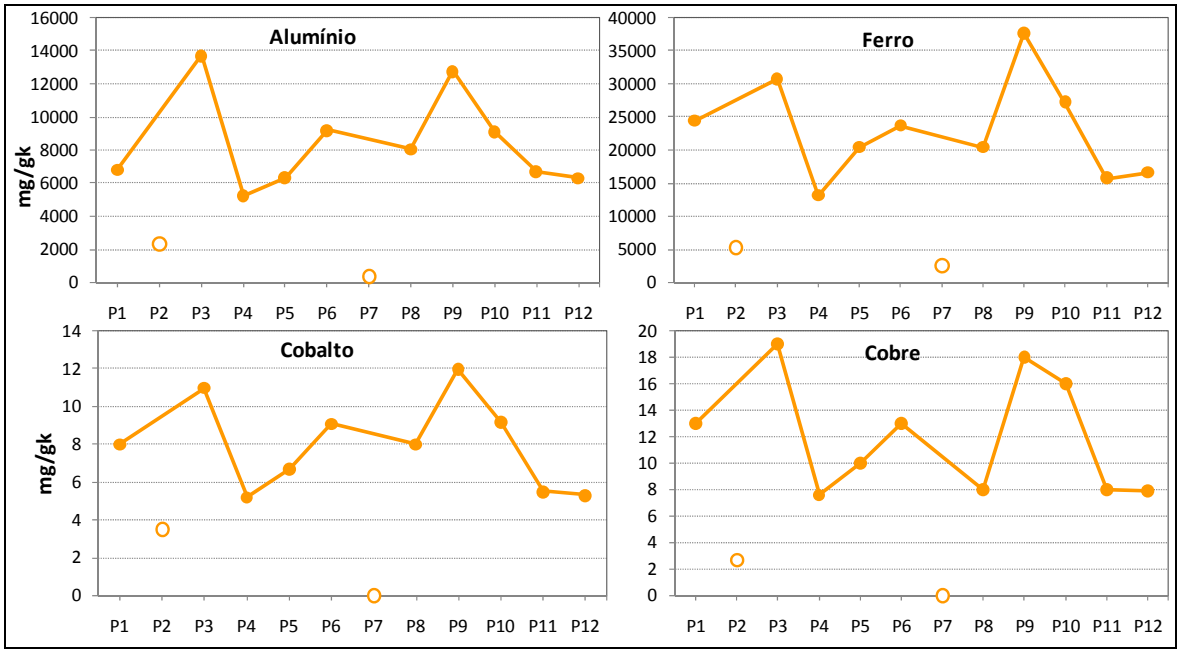


Figura 4.1.8-50 - Concentrações de Alumínio, Ferro, Cobalto e Cobre (mg/kg) no sedimento, em novembro-08 (enchente), na área de influência da UHE Itaocara

Apenas o ponto P3 apresentou concentração detectável de cádmio, com 1,1 mg/kg, teor elevado em relação ao padrão para sedimento (0,1 mg/kg). A presença de níquel e cromo foi registrada em todos os pontos de coletas, no entanto em concentrações menores que aquela considerada

padrão para sedimento. Os teores de zinco foram elevados em todos os pontos do rio Paraíba do Sul, mas especialmente em P3, P6, P9 e P10, onde as concentrações foram superiores a 95 mg/kg, valor considerado padrão para sedimento (**Figura 4.1.8-51**). As análises do sedimento também indicaram a presença de chumbo em todos os pontos. Nas estações P1, P3, P6, P9 e P10 os valores foram muito próximos ou até superiores àquele considerado padrão (20 mg/kg). O mercúrio foi observado na maioria dos pontos de coleta. No entanto, apenas o ponto P9 apresentou teor superior a 0,18 mg/kg, valor utilizado como padrão.

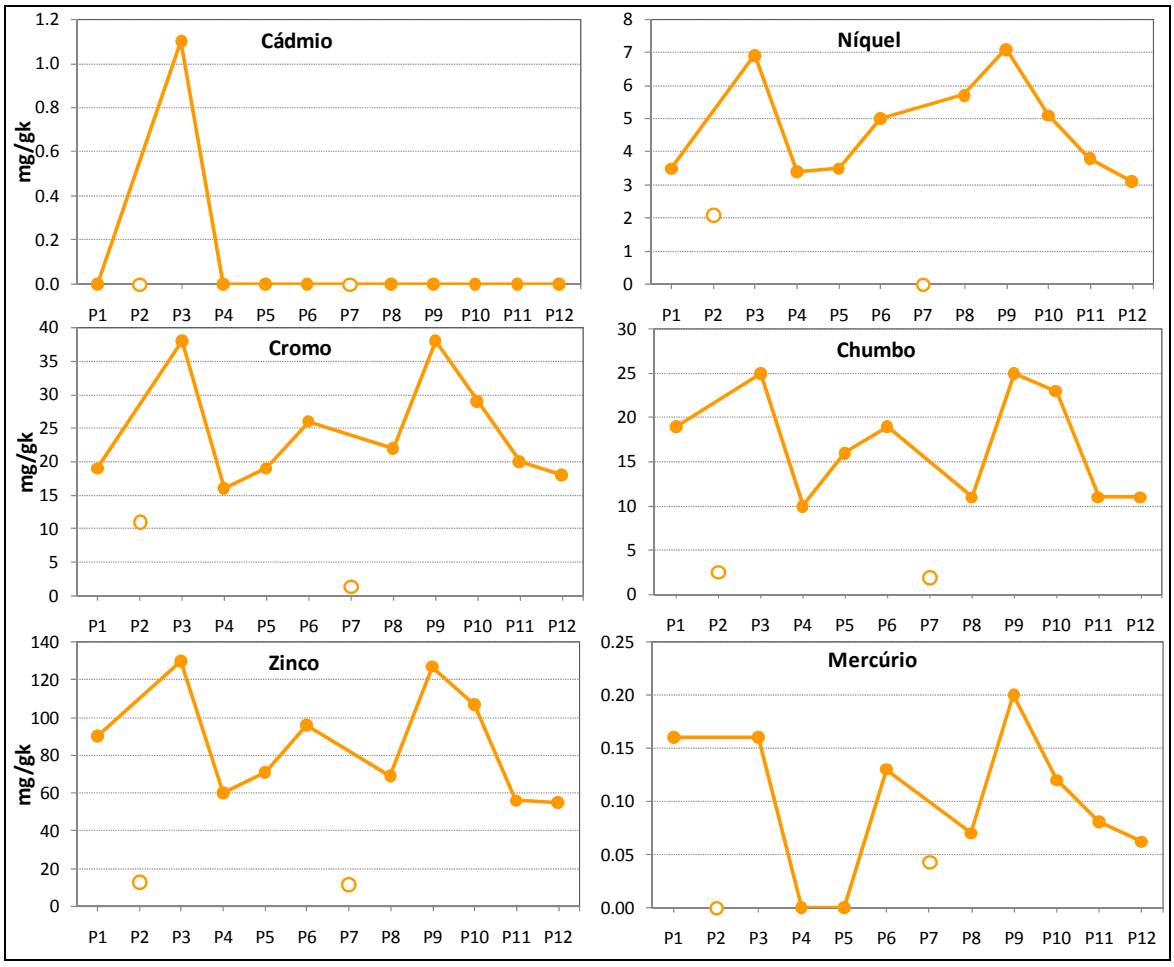


Figura 4.1.8-51 - Concentrações de Cádmio, Níquel, Cromo, Chumbo e Zinco (mg/kg) no sedimento, em novembro-09 (enchente), na área de influência da UHE Itaocara

Visando identificar um padrão espacial da distribuição de metais no sedimento foi realizada uma análise de agrupamentos. Foram identificados 4 agrupamentos baseados no grau de contaminação dos sedimentos (**Figura 4.1.8-52**). O primeiro formado pelos tributários (P2 e P7) onde foram registradas as menores concentrações de todos os metais analisados. É importante destacar que no sedimento dos tributários (P2 e P7) as concentrações dos metais investigados foi

sempre inferior àquelas registradas nos pontos do rio Paraíba do Sul (**Quadro 4.1.8-8**). O segundo grupo foi formado pelos pontos que apresentaram as maiores concentrações de metais no sedimento (P3 e P9). O terceiro (P4, P11 e P12) e quarto (P1, P6, P10, P5 e P8) grupos foram formados por estações com graus intermediários de contaminação (**Quadro 4.1.8-8** e **Figura 4.1.8-52**). Estes agrupamentos provavelmente refletem processos diferenciados de exposição e fontes poluidoras ao longo do trecho estudado do Rio Paraíba do Sul.

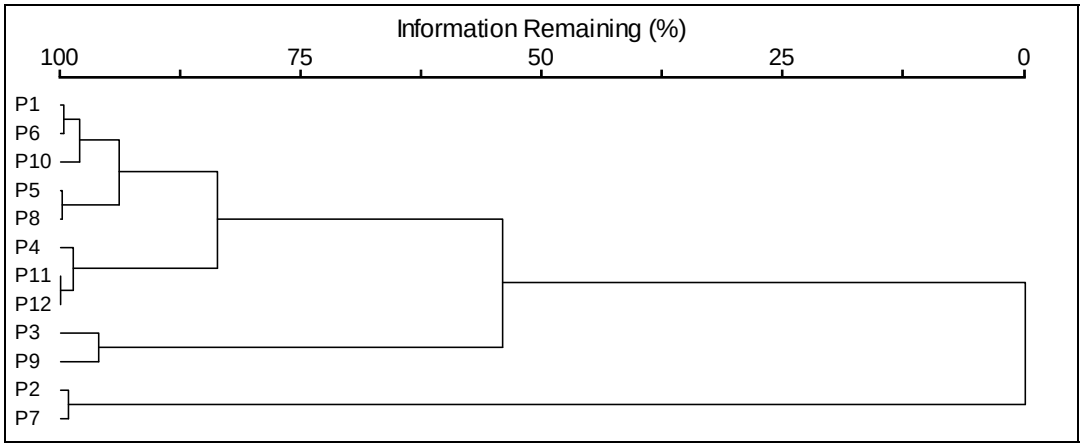


Figura 4.1.8-52 - Dendograma dos agrupamentos das estações de amostragem com base nas concentrações de metais e arsênio encontradas no sedimento na campanha de novembro-08 (enchente)

4.1.8.4.14 - Análise Espaço-Temporal Integrada - Variáveis Ambientais

Na natureza, numerosos processos bióticos e abióticos interagem, contribuindo para a formação de padrões estruturais, espaciais e temporais nas comunidades biológicas. Pode-se dizer, então, que a natureza é de característica multifatorial. Detectar e descrever esses padrões, bem como formular hipóteses sobre as possíveis causas que os regem, constituem os principais objetivos das técnicas de análises multivariadas de classificação e ordenação.

Nos estudos ambientais as amostras são geralmente ordenadas em função de um grande número de critérios (*m* variáveis), e se posicionam dentro de um espaço de *m* dimensões (hiperespaço), com projeções ao longo dos *m* eixos de um hiperelipsóide (os seus valores para as *m* variáveis). A representação gráfica deste ambiente é impossível. No entanto, graças ao cálculo matricial, projetam-se as amostras em um plano e tem-se, assim, uma imagem simplificada desta estrutura multidimensional.

Ordenação é definida como um conjunto de técnicas pelas quais objetos são posicionados em relação a um ou mais eixos, de tal maneira que suas posições relativas aos eixos e entre eles proporcionem o máximo de informação sobre suas semelhanças ecológicas. As técnicas de

ordenação, também chamadas de "técnicas fatoriais", visam definir esses eixos de dispersão como fatores ambientais responsáveis pelo determinismo dessa estrutura. Em suma, o princípio da ordenação consiste em simplificar, condensar e representar sinteticamente vastos conjuntos de dados, com o objetivo de que verificar a existência de inter-relações.

A fim de se determinar às diferenças entre os 12 pontos de coleta e os quatro períodos amostrais, foi aplicada uma técnica de análise multivariada, Análise de Componentes Principais – ACP. Trata-se de uma análise de ordenação que apresenta, como principal vantagem, a capacidade de resumir e descrever as relações multidimensionais dos dados. Os eixos componentes principais numa ACP, que representam combinações lineares das variáveis, são extraídos da matriz de correlações entre as variáveis.

A matriz de dados utilizada na análise (48 amostras x 25 variáveis) abrangeu as seguintes variáveis limnológicas: temperatura do ar (Tar), temperatura da água (Tagua), condutividade (Cond), potencial redox (Redox), pH, oxigênio dissolvido (OD), turbidez (Turb), transparência (Transp), alcalinidade (Alc), sólidos totais (SolTot), sólidos dissolvidos (SolDiss), nitrogênio total (NT), nitrogênio orgânico total (NOT), nitrato (NO3), nitrogênio amoniacal (NH4), nitrito (NO2), fósforo total (PT), ortofosfato (PO4), silicato (SIO3), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), cloretos (Cl), potássio (K), sulfato (SO4) e clorofila-a (CHL-a).

Os dois primeiros eixos componentes principais da ACP foram significativos, totalizando uma explicabilidade de 52,2% da variância dos dados. As correlações das variáveis com os eixos da ACP são apresentadas no **Quadro 4.1.8-11**. O eixo 1 esteve correlacionado negativamente com condutividade e pH e positivamente com turbidez, sólidos totais, nitrato, nitrito, nitrogênio orgânico total e nitrogênio total. O eixo 2 apresentou correlação positiva com temperatura e negativa com OD e transparência.

Quadro 4.1.8-11 - Correlações das variáveis limnológicas com os eixos das análises de componentes principais (ACP) para variabilidade temporal. Foram consideradas as correlações > 0,7

	Eixos da ACP	
	1	2
Temperatura ar	-0,20	0,44
Temperatura água	0,11	0,73
Condutividade	-0,78	0,07
Potencial Redox	0,25	0,42
pH	-0,79	0,32
OD	-0,51	-0,76
Turbidez	0,76	0,50
Transparência	-0,31	-0,82
Alcalinidade	-0,22	0,52
Sólidos totais	0,80	0,36
Sólidos dissolvidos	-0,08	0,34
NO3	0,78	-0,37
NO2	0,91	0,11
NH4	0,10	-0,43
NOT	0,73	-0,46
NT	0,85	-0,46
SIO3	-0,42	0,52
PO4	0,66	-0,17
PT	0,51	0,64
Clorofila-a	0,48	-0,10
DBO	0,16	0,35
DQO	0,15	0,65
K	0,45	0,42
Cl	0,35	-0,48
SO4	0,63	-0,21

Os resultados da análise promoveram a separação dos pontos segundo um padrão temporal (**Figura 4.1.8-53**).

Foram observados agrupamentos das estações de coleta entre as campanhas, demonstrando o aspecto sazonal. Além disso, a relação da sazonalidade com os aspectos hidrológicos fica evidenciada, uma vez que podem ser verificados dois agrupamentos maiores: o primeiro contendo as campanhas do período de chuvas, que inclui enchente (novembro-08) e cheia (janeiro-09); e o segundo contendo as campanhas da estiagem, incluindo vazante (abril-09) e seca (junho-09).

Contudo, o diagrama de ordenação mostra que a cheia (janeiro-09) se diferencia da campanha de novembro, principalmente, por apresentar valores mais elevados de pH e condutividade e menores teores de nitrato (**Figura 4.1.8-28, Figura 4.1.8-31** e **Figura 4.1.8-35**). Este fato

provavelmente foi resultante da precipitação que se distribui irregularmente durante a estação chuvosa. A ACP evidenciou, então, uma maior variabilidade em relação aos períodos de chuvas, que inclui enchente (novembro-08) e cheia (janeiro-09), quando comparada com o período de estiagem, que inclui vazante (abril-09) e seca (junho-09).

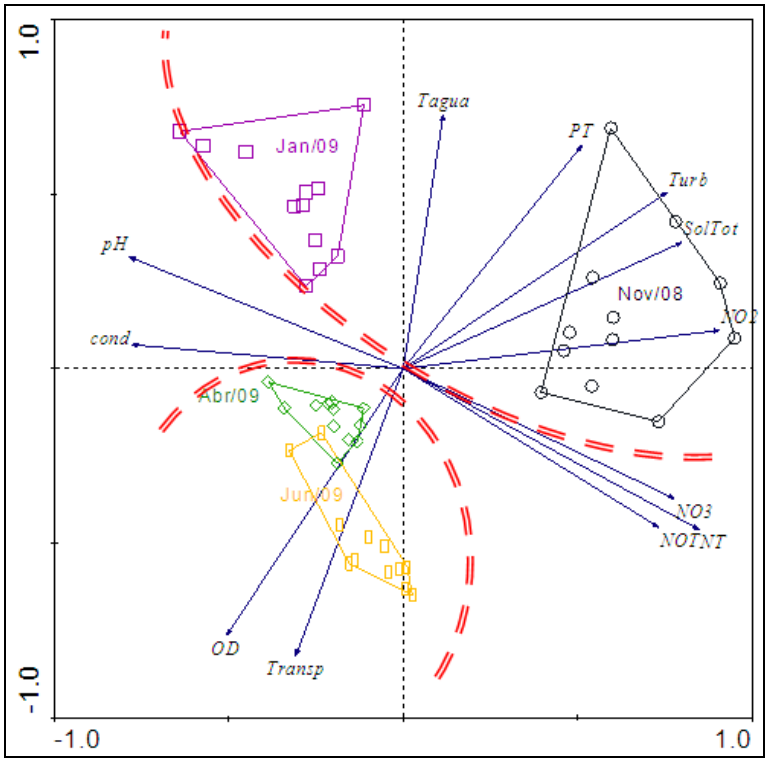


Figura 4.1.8-53 - Diagrama de ordenação dos dois primeiros eixos da ACP para as estações de coleta, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

Cabe destacar que os agrupamentos observados são definidos pelas variáveis limnológicas que sofreram influência do ciclo climático, como por exemplo, a carga de sólidos totais, a transparência/turbidez das águas e o aporte de nutrientes. O fator sazonalidade é determinante e está associado, principalmente, ao ciclo hidrológico/climático.

Visando identificar possíveis grupos de estações relacionadas com variáveis indicadoras de poluição, foram realizadas análises de agrupamentos abordando todas as estações, nas quatro campanhas. Estas análises foram realizadas também para cada campanha, separadamente. Os parâmetros considerados foram: oxigênio dissolvido, turbidez, sólidos totais, nitrogênio total, fósforo total, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio e coliformes termotolerantes.

A análise de todas as campanhas evidenciou um forte padrão sazonal de variabilidade dos parâmetros abordados. Foram agrupadas as estações dentro de uma mesma campanha (**Figura 4.1.8-54**). Deste modo, não foram detectadas, entre as estações amostradas, fontes pontuais de poluição ou áreas contaminadas.

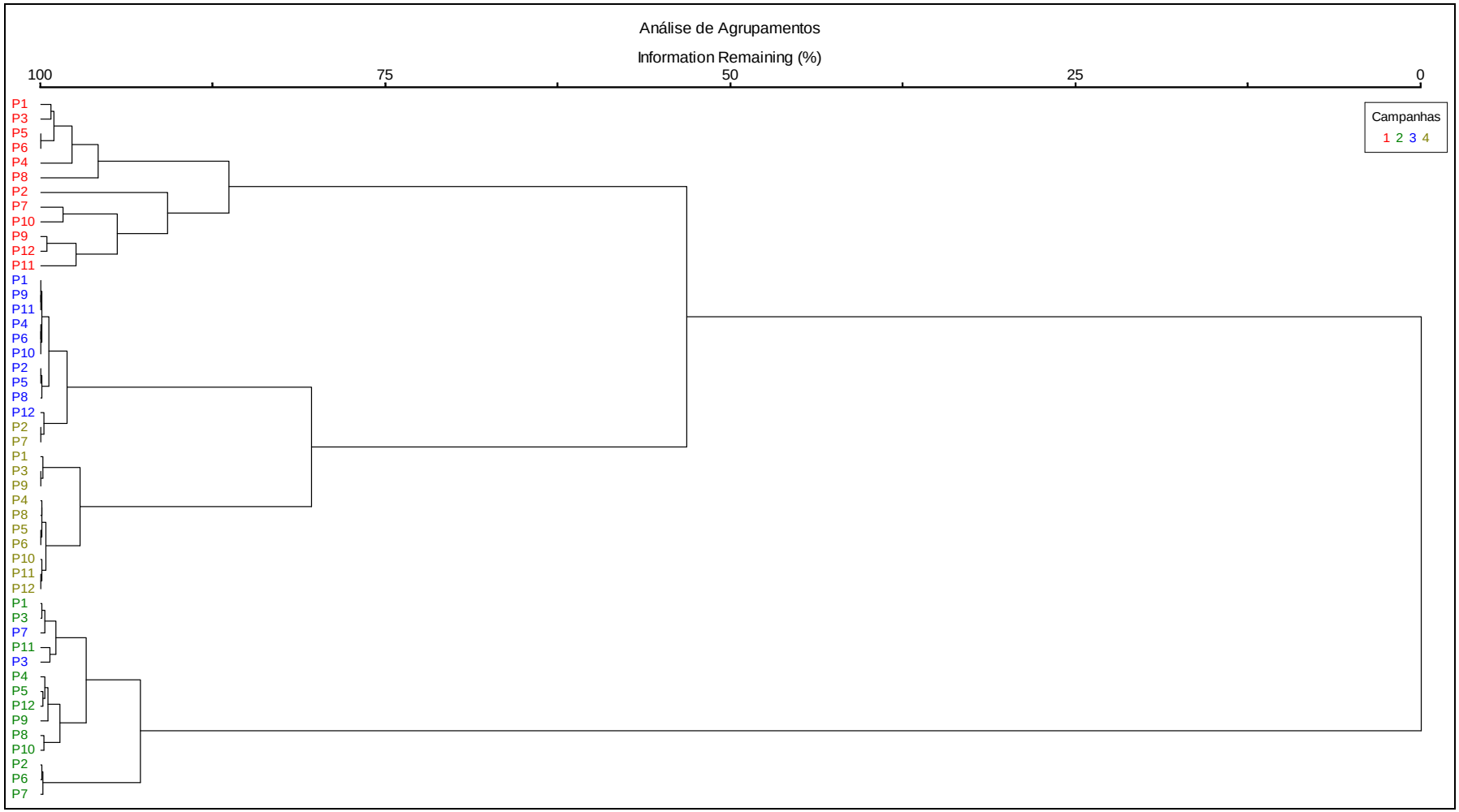


Figura 4.1.8-54 – Análise de agrupamentos dos pontos amostrais considerando as quatro campanhas

As análises realizadas por campanha, no entanto, evidenciaram que em novembro e janeiro/09 foi possível identificar a formação de três grupos (Novembro/08 - G1: P1/P3/P11; G2: P6/P7/P8/P9/P12; G3: P4/P10/P6; Janeiro/09 - G1: P1/P3/P8/P11/P12; G2: P2/P4/P7; G3: P5/P9/P10) definidos principalmente pela concentração crescente de coliformes (**Figura 4.1.8-55** e **Figura 4.1.8-56**).

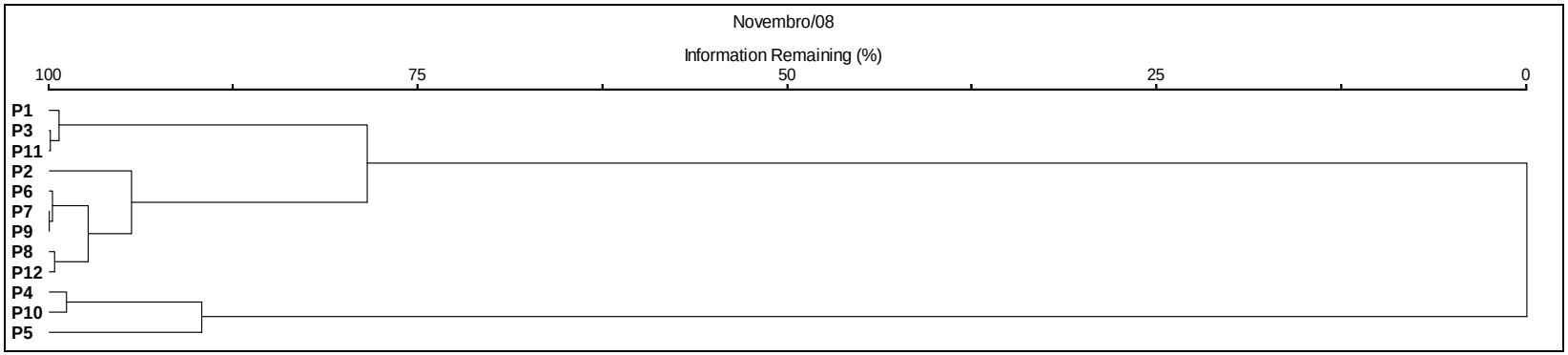


Figura 4.1.8-55 - Análise de agrupamentos dos pontos amostrais na campanha de novembro/08

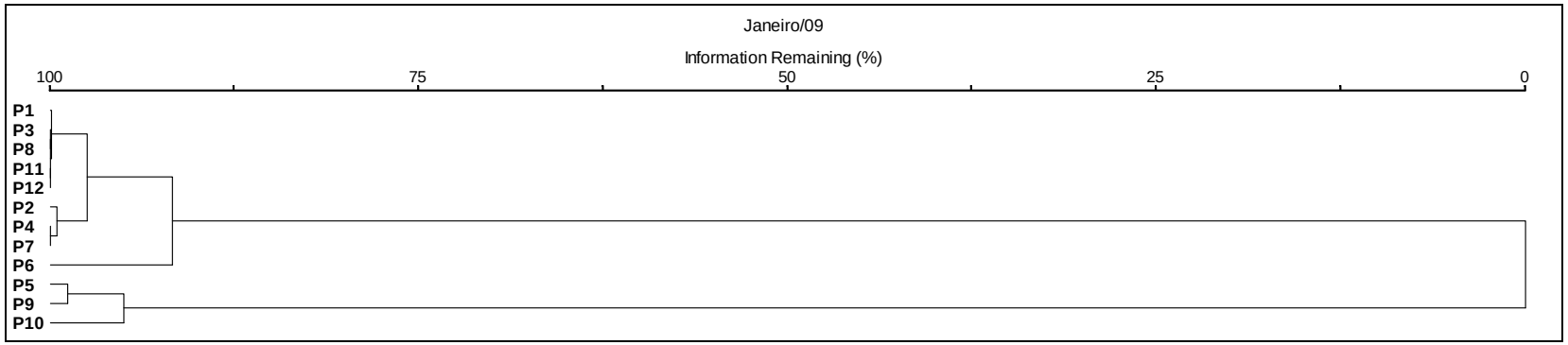


Figura 4.1.8-56 - Análise de agrupamentos dos pontos amostrais na campanha de janeiro/09

Já nas campanhas de abril/09 e junho/09, os agrupamentos foram definidos pela concentração de N e P total (**Figura 4.1.8-57** e **Figura 4.1.8-58**).

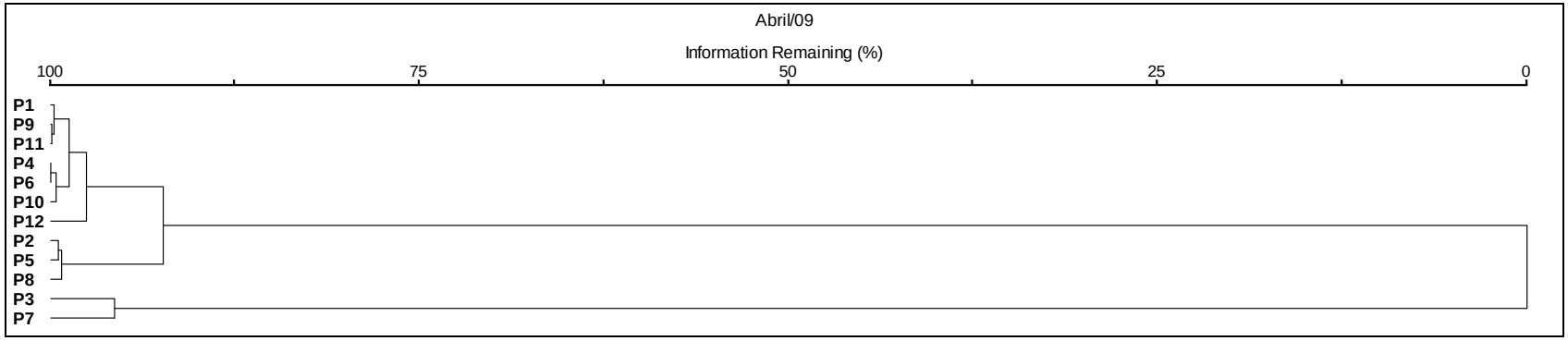


Figura 4.1.8-57 - Análise de agrupamentos dos pontos amostrais na campanha de abril/09

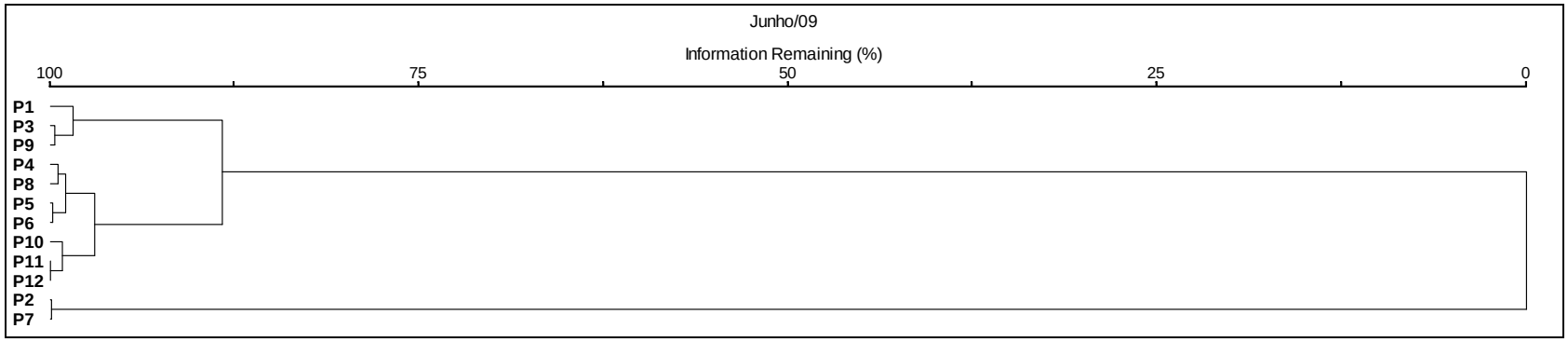


Figura 4.1.8-58 - Análise de agrupamentos dos pontos amostrais na campanha de junho/09

Os resultados demonstraram que os padrões de variação espacial são suplantados pelas marcantes variações sazonais.

4.1.8.5 - Análise dos Dados Bióticos

4.1.8.5.1 - Fitoplâncton (Item 4.2.1_205 a 209 do TR)

O estudo da dinâmica da comunidade fitoplanctônica, incluindo suas flutuações temporais e espaciais em composição e biomassa, pode ser indicador eficiente das alterações naturais ou antrópicas nos ecossistemas aquáticos.

A comunidade fitoplanctônica de rios é influenciada tanto por mecanismos hidrológicos comuns, tal qual o fluxo dos rios, quanto por recursos, tais como a disponibilidade de nutrientes e o regime de luz. A grande quantidade de material em suspensão em rios pode vir a reduzir a intensidade luminosa. Dessa forma, espécies com sucesso em rios são selecionadas permanentemente pela habilidade de sobreviverem em altas flutuações de incidência luminosa (Reynolds *et al.*, 1994).

Embora fatores reguladores de populações fitoplanctônicas em lagos, como nutrientes e herbivoria, sejam importantes em rios, os fatores físicos, como descarga, extensão e forma do canal são mais fortes. Rios geralmente favorecem uma maior abundância de diatomáceas, pela capacidade destas se adaptarem à alta turbulência e à reduzida penetração de luz, típica de ambientes lóticos. Além disso, as biomassas de rios são menores que as de lagos com composição química similar (Reynolds et al. 1994; Rojo et al. 1994). O regime de chuvas das regiões tropicais e sua conseqüência na variação da descarga ao longo do ano assumem grande importância para a comunidade fitoplanctônica dos rios.

A comunidade fitoplanctônica do rio Paraíba do Sul e seus tributários foi formada por 66 espécies, compreendendo 8 classes de algas: cianobactérias (Cyanobacteria), crisofíceas (Chrysophyceae), criptofíceas (Cryptophyceae), diatomáceas (Bacillariophyceae), clorofíceas (Chlorophyceae), euglenas (Euglenophyceae), dinoflagelados (Dinophyceae) e desmídias (Zygnematophyceae) (**Anexo 4.1.8-2**). As diatomáceas, clorofíceas e cianobactérias foram as classes que mais contribuíram com a riqueza, representando mais de 70% das espécies (**Figura 4.1.8-59**). O predomínio florístico de diatomáceas e cianobactérias também foi observado para o rio Paraibuna, tributário do rio Paraíba do Sul (Soares et al. 2007a). Neste mesmo estudo, os autores registraram para outro tributário, o rio Pomba, uma maior importância de diatomáceas e desmídeas.

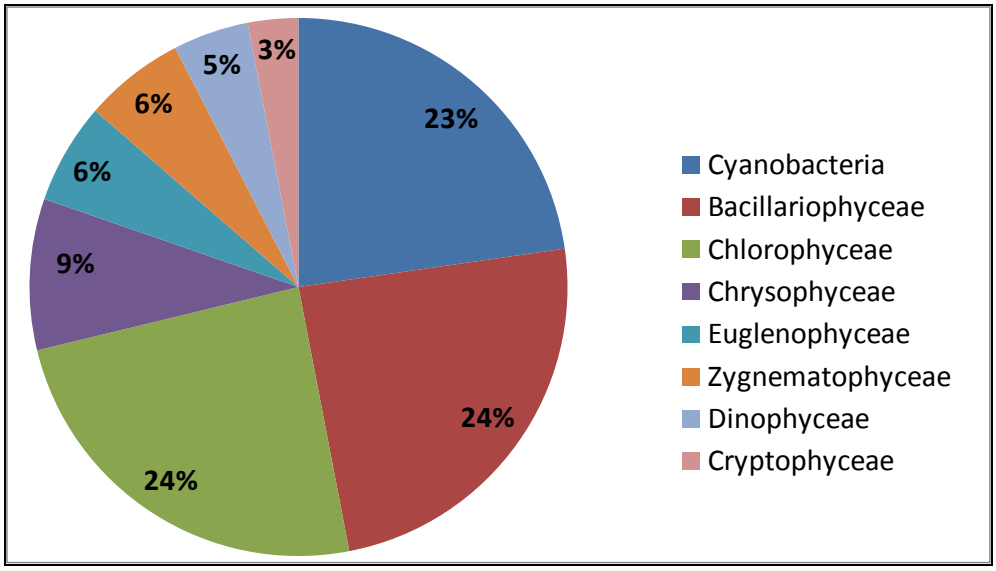


Figura 4.1.8-59 - Contribuição relativa média das classes de algas para a riqueza total do fitoplâncton, na área de influência da UHE Itaocara

A riqueza fitoplanctônica foi baixa, conforme o esperado para um sistema lótico como o rio Paraíba do Sul e seus tributários. Os valores de riqueza variaram entre 6 táxons/amostra (P7, na enchente) e 31 táxons/amostra (P1, também na enchente) (**Figura 4.1.8-60**). A estação P3 apresentou a maior riqueza média, de 21 táxons/amostra. No geral, foi registrada menor riqueza nos tributários (P2 e P7), quando comparado com o rio Paraíba do Sul. As maiores riquezas médias no rio Paraíba do Sul foram observadas nas campanhas realizadas na enchente (novembro-08, 20 táxons/amostra) e na seca (junho-09, 19 táxons/amostra). Nos tributários, foi observado um aumento da riqueza média durante a estiagem. Estes baixos valores de riqueza estão de acordo com os dados obtidos para os rios Pomba (0 a 5 táxons/amostra) e Paraíbuna (0 a 13 táxons/amostra) que também evidenciaram padrões relacionados aos períodos de seca e chuva (Soares et. al, 2007a).

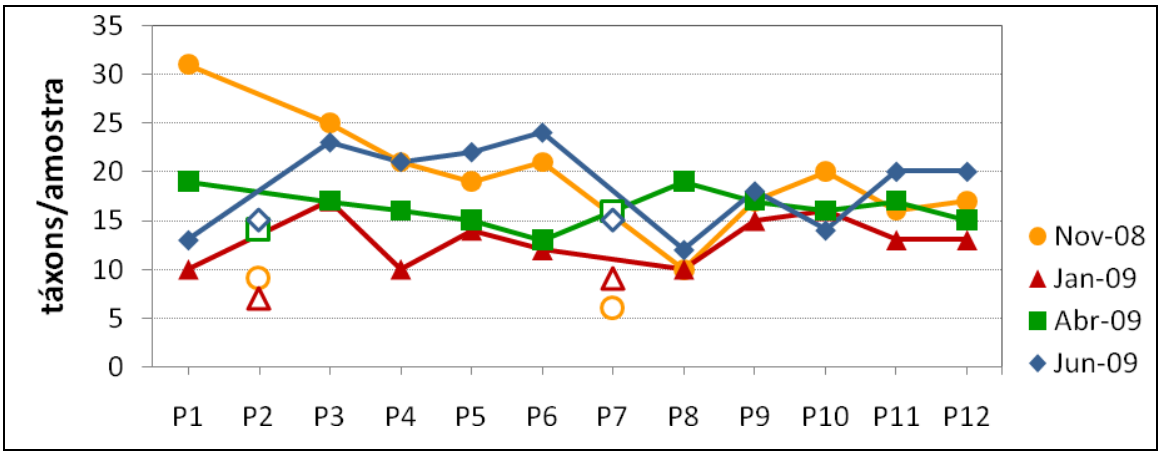
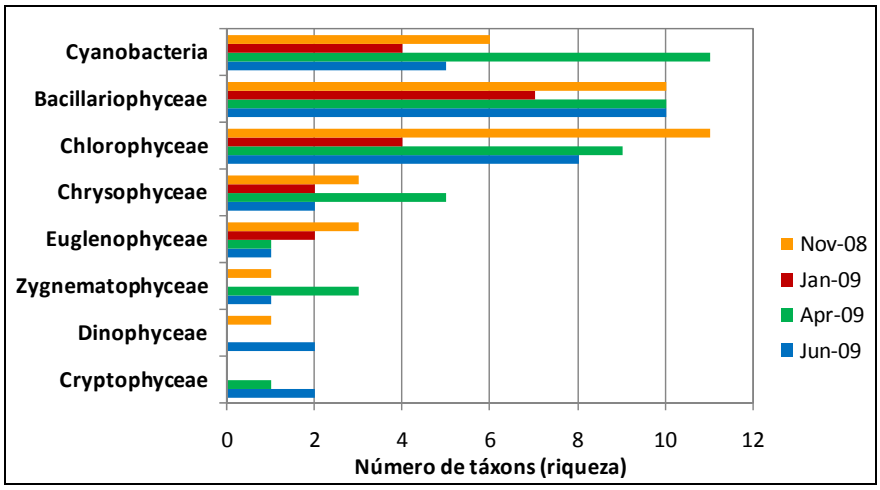


Figura 4.1.8-60 - Riqueza fitoplanctônica total, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

As diatomáceas estiveram sempre presentes, apresentando pequena redução do número de espécies apenas na cheia (janeiro-09) (**Figura 4.1.8-61**). As cianobactérias e as clorofíceas, também sempre presentes, apresentaram maior variação no número de táxons. Uma maior riqueza de cianobactérias foi observada na vazante (abril-09), enquanto que um maior número de táxons de clorofíceas foi registrado na enchente (novembro-08). E ainda, táxons de crisofíceas e euglenas foram registrados em todas as campanhas, porém contribuindo com poucas espécies. Desmídias, dinoflagelados e criptofíceas ocorreram principalmente durante a estiagem (abril-09 e junho-09) (**Figura 4.1.8-61**). Registros bibliográficos reportam o predomínio de clorofíceas e diatomáceas em sistemas fluviais, como na planície de inundação do alto Paraná (Borges & Train, 2009), e o predomínio de clorofíceas e euglenofíceas no delta do Jacuí, formado pelos rios Gravataí, Sinos, Caí e Jacuí (Rodrigues *et al*, 2007a). Contudo, nestes rios a riqueza de espécies é maior, tendo sido registrados até 50 táxons/amostra (Rodrigues *et al*, 2007).



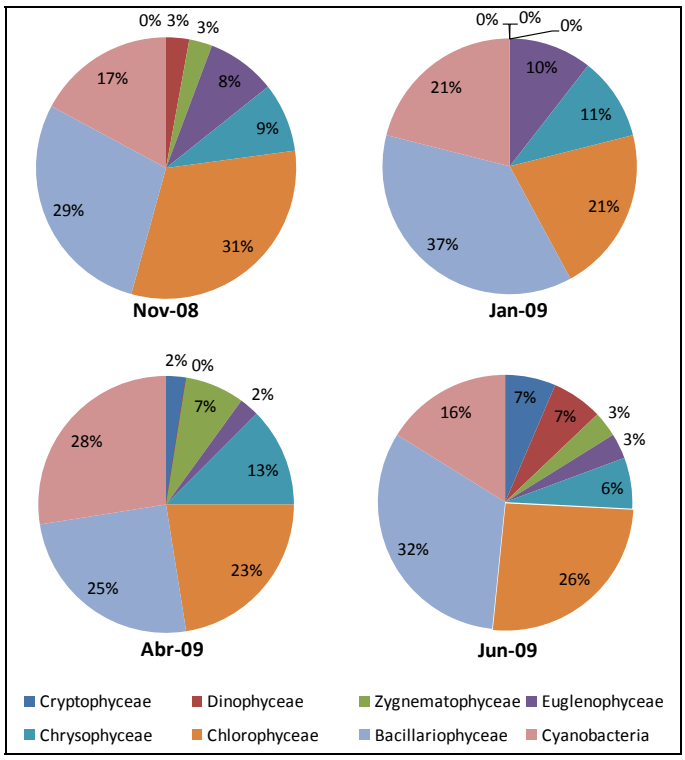


Figura 4.1.8-61 - Número de táxons dos principais grupos fitoplanctônicos, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca)

A análise da contribuição relativa das classes de algas para o número de táxons fitoplanctônicos evidenciou o predomínio de táxons de diatomáceas em todos os pontos de coleta, tanto na estação de chuvas quanto na estiagem, indicando pouca heterogeneidade espacial e temporal (**Figura 4.1.8-62**). As diatomáceas, assim como as clorofíceas e as desmídeas, desenvolveram habilidades para sobreviver em baixa intensidade luminosa e elevada turbulência, sendo comuns

em rios tropicais (Rojo et al. 1994). As contribuições das cianobactérias e clorofíceas foram bastante variáveis ao longo do rio Paraíba do Sul e seus tributários, sem apresentar padrão espacial definido (**Figura 4.1.8-62**).

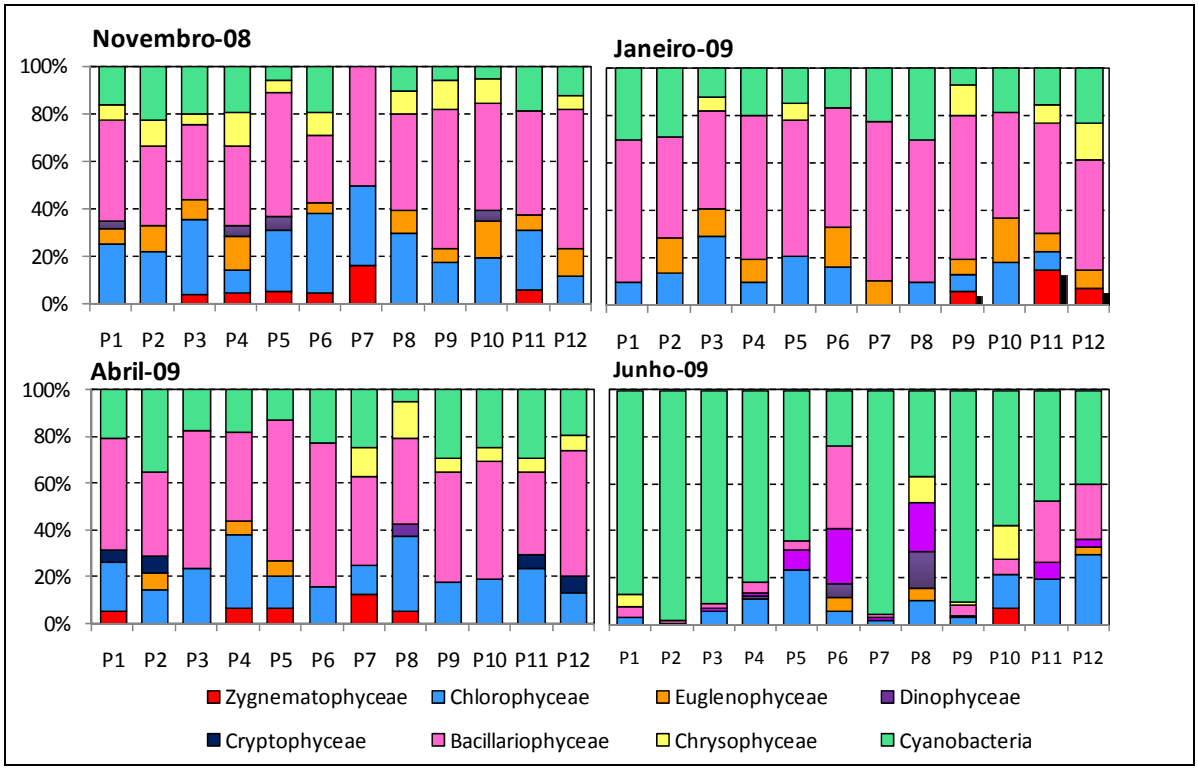


Figura 4.1.8-62 - Contribuição relativa das classes de algas para o número de táxons fitoplanctônicos, por ponto de amostragem, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

A densidade fitoplanctônica foi, em geral, baixa (<1.000 indivíduos/mL) em todos os pontos de coleta durante todos os períodos amostrados, com exceção dos pontos P1, P2, P3 e P9, que apresentaram valores elevados na vazante (**Figura 4.1.8-63**). Os valores de densidade variaram entre 48 indivíduos/mL (P4 jan-09) e 35.907 indivíduos/mL (P1 abr-09), com densidades médias <1.000 indivíduos/mL, exceto na vazante (abril-09, densidade média 6.680 indivíduos/mL). Foi observada uma homogeneidade espacial durante a estação de chuvas, com densidades médias de 164 indivíduos/mL na enchente (novembro-08) e 225 indivíduos/mL na cheia (janeiro-09). Estes valores são comparáveis aos observados para tributários do rio Paraíba do Sul (Soares et al 2007b) e também a outros sistemas fluviais como a planície de inundação do alto Paraná (Borges e Train 2009).

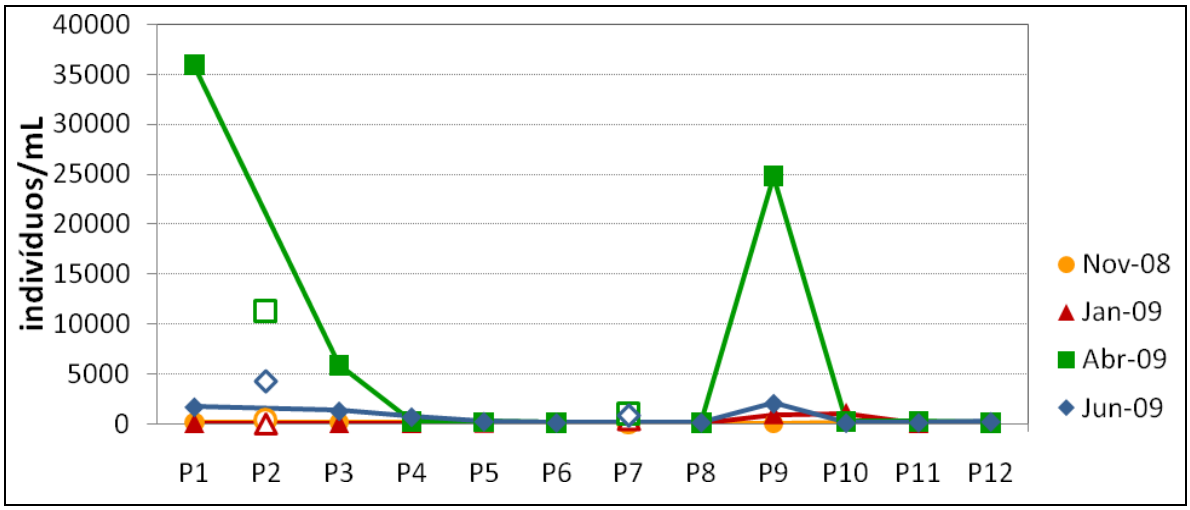


Figura 4.1.8-63 - Densidade total do fitoplâncton, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

As cianobactérias, clorofíceas e diatomáceas foram os grupos mais abundantes no fitoplâncton do rio Paraíba do Sul na área de influência da UHE Itaocara, contribuindo com mais de 70% da densidade total (**Figura 4.1.8-64**). O fitoplâncton de rios é formado por organismos que tenham desenvolvido habilidade para sobreviver à baixa intensidade luminosa e elevada turbulência, sendo as diatomáceas, clorofíceas e desmídias os grupos mais comuns em rios tropicais (Rojo *et al.*, 1994). Entretanto, as cianobactérias se constituíram o grupo predominante do fitoplâncton do rio Paraíba do Sul, em termos de densidade.

Durante as estações de enchente (novembro-08) e cheia (janeiro-09), as clorofíceas e diatomáceas apresentaram importantes contribuições relativas (**Figura 4.1.8-64**). Na enchente (novembro-08), foi observada grande variação da abundância dos grupos entre as estações de coleta, com predomínio de clorofíceas e diatomáceas, exceto nas estações P2 e P10, onde as cianobactérias foram dominantes (**Figura 4.1.8-64**). Na cheia (janeiro-09), as densidades totais foram reduzidas (**Figura 4.1.8-63**), com predomínio de diatomáceas nas estações P3, P6 e P11 e de clorofíceas nas estações P9 e P10 (**Figura 4.1.8-64**). Dentre as clorofíceas, destacam-se as espécies *Chlorella vulgaris* e *Monoraphidium* sp, espécies pequenas, de rápido crescimento e r-estrategistas. *Synedra* sp e *Surirella* sp foram as diatomáceas mais importantes. Diatomáceas são os organismos mais comumente encontrados em rios, principalmente em períodos de elevada vazão (Reynolds et al. 1994). Contudo, na campanha de cheia (janeiro-09), o predomínio de espécies de cianobactérias foi registrado em vários pontos de coleta (**Figura 4.1.8-64**). Dentre as cianobactérias, *Planktolyngbya* sp foi a espécie mais abundante nos pontos P1, P2, P4, P7 e P8.

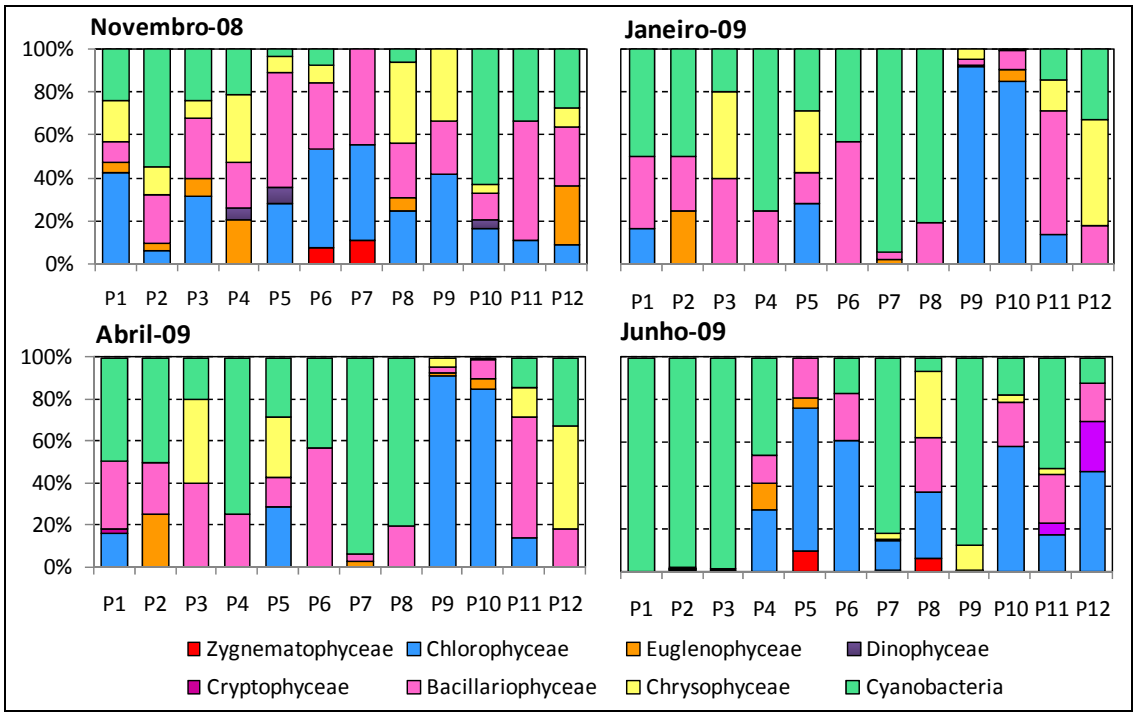


Figura 4.1.8-64 - Contribuição relativa das classes de algas para a densidade fitoplanctônica, por ponto de amostragem, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

Durante o período de estiagem, foram observadas densidades mais elevadas, especialmente nas estações P1, P2, P3 e P9, com valores médios de 6.680 indivíduos/mL na vazante (abril-09) e 997 indivíduos/mL na seca (junho-09) (**Figura 4.1.8-63**). As cianobactérias foram o grupo mais abundante durante o período de estiagem (**Figura 4.1.8-65**), contribuindo com mais de 80% da densidade total nas estações P1, P2, P3, P4, P7 e P9 (**Figura 4.1.8-64**). Embora a ocorrência de cianobactérias seja mais comum em lagos e reservatórios, seu desenvolvimento em rios é possível durante períodos de baixa descarga, quando o tempo de retenção é maior. Cianobactérias têm sido registradas em rios, especialmente em períodos de reduzida descarga ou sendo favorecidas pela presença de reservatórios ou lagos ao longo dos rios e tributários, que criam ambientes mais favoráveis ao desenvolvimento (Westwood & Ganf 2004; Soares et al. 2007).

Entretanto, neste trabalho, houve predomínio de cianobactérias não apenas no período de estiagem, mas também na campanha de cheia. As cianobactérias podem ter sido favorecidas pelas elevadas concentrações de nutrientes nos sistemas amostrados. Dentre as cianobactérias, *Chroococcus minor* e *Synechococcus nidulans* foram as espécies mais representativas no período de estiagem. Estas espécies são pequenas, de crescimento rápido e com elevada tolerância a pouca disponibilidade luminosa. Dessa forma, podem ser consideradas adaptadas às condições de

elevada turbulência e pouca luminosidade características dos ambientes lóticos, quando comparados aos lênticos (Reynolds *et al.*, 1994).

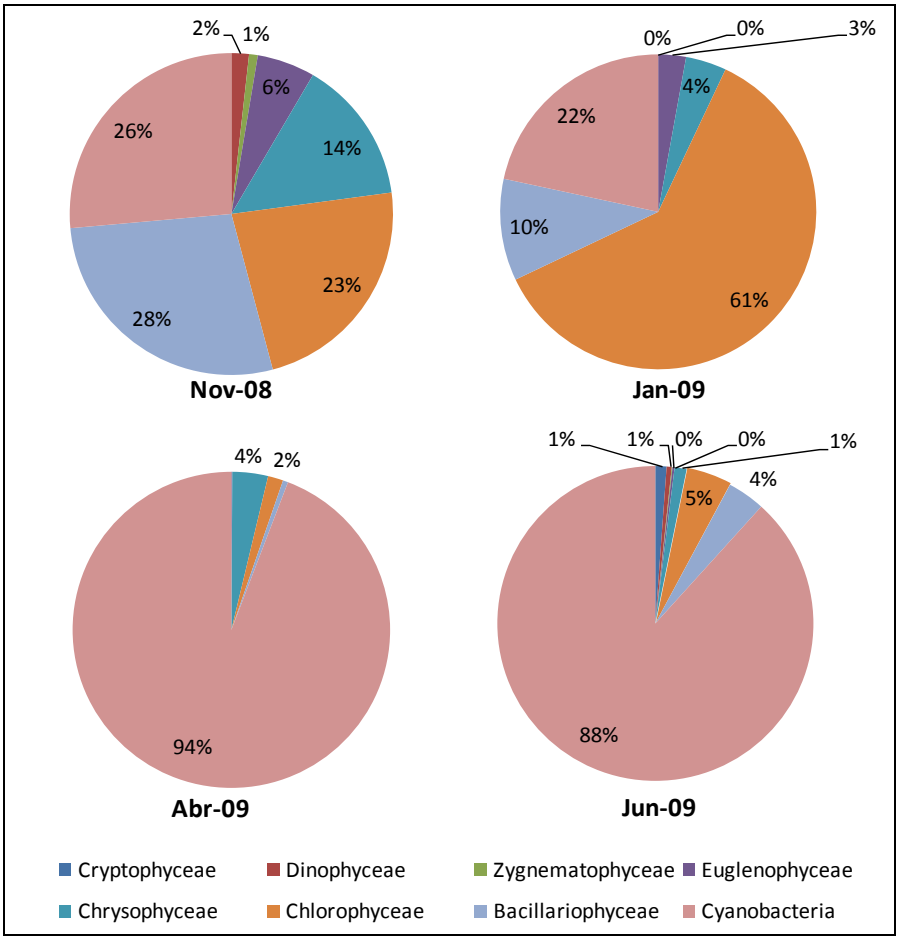


Figura 4.1.8-65 - Contribuição relativa das classes de algas para a densidade fitoplanctônica, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

Na campanha de vazante (abril-09), a dominância de cianobactérias foi marcada por elevadas densidades (>20.000 células/ml), registradas nos pontos P1, P2 e P9 (**Figura 4.1.8-66**). Nestas estações, foi observada a presença de densidades superiores ao limites estabelecidos pela Resolução Conama nº 357/05. As elevadas densidades de células foram decorrentes, sobretudo, da espécie *Synechococcus nidulans,* que contribuiu com 100% da densidade nos pontos P1 e P2 e com 66% no ponto P9. Vale ressaltar que na campanha seguinte (seca, junho-09) a densidade de cianobactérias foi novamente inferior ao limite estabelecido pela Resolução Conama nº 357/05. As altas concentrações observadas durante a campanha de vazante (abril-09) parecem estar mais relacionadas a eventos pontuais, não sendo constantes ao longo do ano.

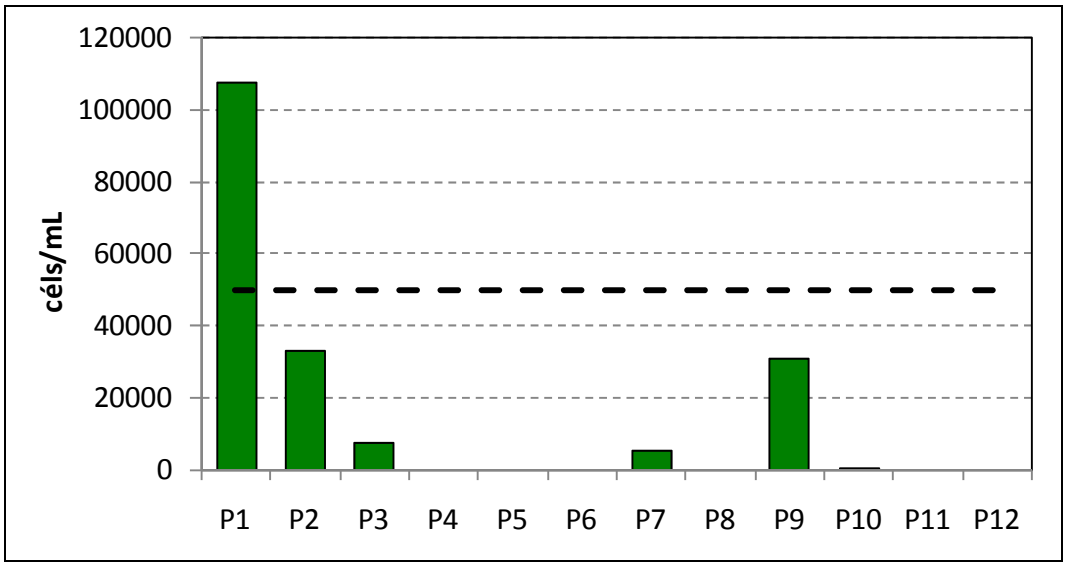


Figura 4.1.8-66 - Densidade total de cianobactérias (células/mL) em abril de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. A linha preta indica o valor referentes à densidade de cianobactérias considerada como limite para águas de Classe 2, pela Resolução Conama nº357/05

A ocorrência de cianobactérias no rio Paraíba do Sul em densidades acima dos padrões estabelecidos pela legislação é um fato de grande relevância, especialmente tendo em vista o aumento do tempo de retenção decorrente da implantação da UHE de Itaocara. Este aumento no tempo de retenção da água irá favorecer ainda mais o crescimento destas espécies. Até o momento, não foi reportada na literatura a produção de toxinas pela espécie *Synechococcus nidulans*, que foi a espécie de cianobactéria mais abundante. No entanto, cabe destacar que também foram registradas ocorrências de espécies potencialmente produtoras de cianotoxinas, tais como *Cylindrospermorpsis raciborskii* e *Microcystis aeruginosa*.

A diversidade fitoplanctônica variou entre 0 (P1, na vazante) e 3,6 bits/indivíduos (P3 e P5, na enchente). Durante o período de chuvas, foi observada grande variação da diversidade, com maior valor médio e pouca heterogeneidade espacial na enchente (novembro-08, 2,9 bits/indivíduos) e com menor valor médio e maior heterogeneidade espacial na cheia (janeiro-09, 1,4 bits/indivíduos) (**Figura 4.1.8-67**). Durante as campanhas do período de estiagem, foi observado um mesmo padrão de variação, com valores médios idênticos nas duas campanhas (1,8 bist/indivíduos). As estações P1, P2, P3 e P9 apresentaram valores reduzidos decorrente da dominância de cianobactérias na comunidade fitoplanctônica (**Figura 4.1.8-67**). A diversidade fitoplactônica na área de influência da UHE Itaocara é, em geral, semelhante aos valores registrados em outros sistemas fluviais brasileiros (Borges e Train 2009; Rodrigues et al, 2007).

No entanto, os valores encontrados neste estudo foram elevados em relação àqueles registrados para os rios Paraibuna (0,7 a 2,5 bits/ind) e rio Pomba (0 a 1 bit/ind) (Soares et al 2007b).

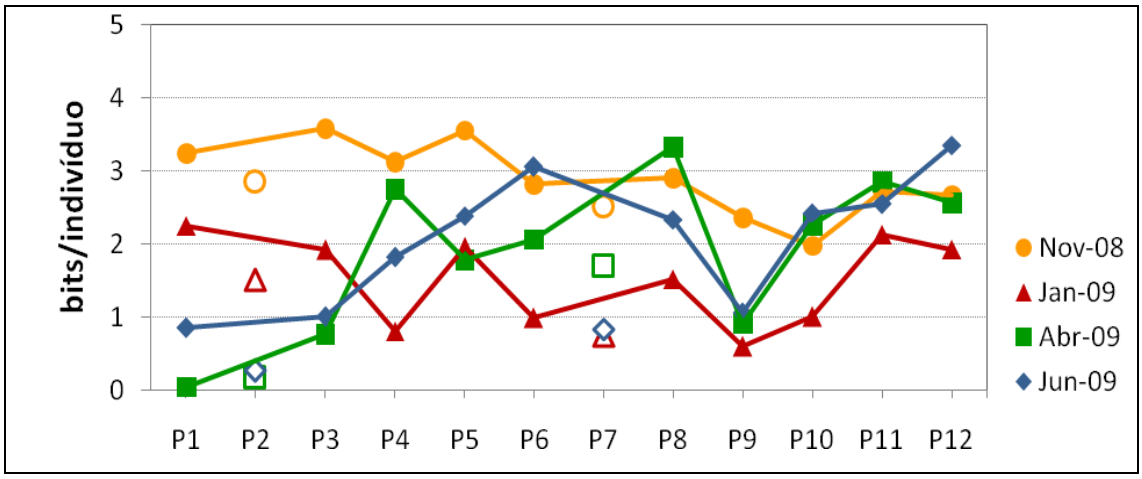


Figura 4.1.8-67 - Variação da diversidade de espécies fitoplanctônicas, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

4.1.8.5.1.1 - Correlações do Fitoplâncton com as Variáveis Ambientais

Várias correlações significativas (p<0,05) foram observadas entre o fitoplâncton (total e principais grupos) e as possíveis variáveis controladoras (**Quadro 4.1.8-12**). Foi observada relação inversa entre o fitoplâncton, turbidez e concentração de sólidos totais. Correlações negativas com o fósforo total também foram significativas para fitoplâncton total, cianobactérias, clorofíceaes, criptofíceas e crisofíceas. Alguns grupos fitoplanctônicas se associaram positivamente com as diferentes frações de nitrogênio.

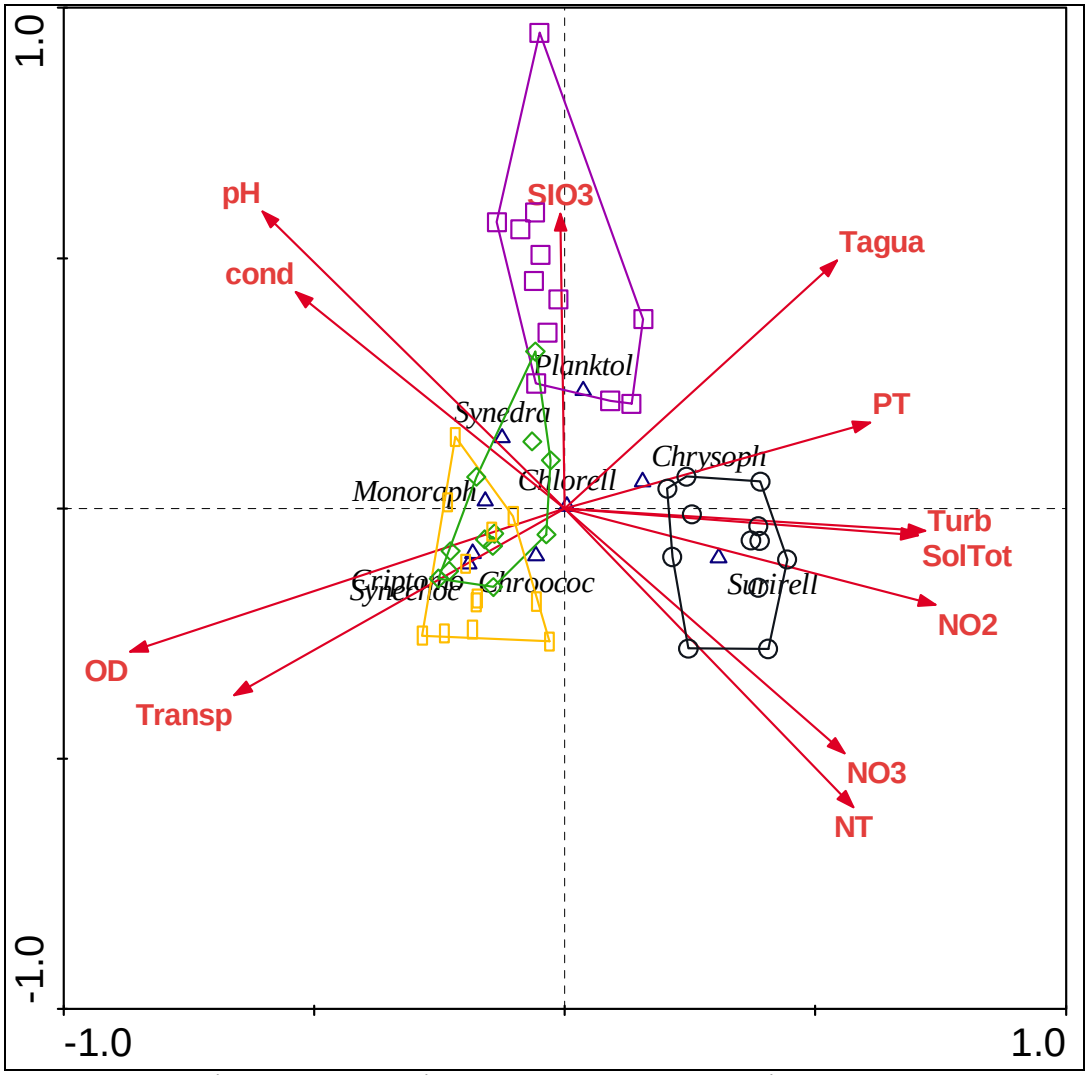
Quadro 4.1.8-12 - Correlações (Spearman) entre o fitoplâncton total e os principais grupos com as variáveis ambientais e nas estações amostrais na área de influência da UHE Itaocara (somente são mostradas as correlações significativas, p<0,05)

	Fito total	Cianobactérias	Diatomáceas	Clorofíceas	Criptofíceas	Crisofíceas
Turbidez	-0,40	-0,52	-	-0,43	-0,57	-
Sólidos Totais	-	-	-	-	-	-
Secchi	0,44	0,47	-	0,52	0,45	-
Sólidos Totais	-	-0,31	-	-0,32	-0,31	-
Sólidos Dissolvidos	-	-	-	-	-	-
NO3-	-	-	-	0,40	-	0,31
NO2-	-	-	-	-	-	-
NH4-	-	-	-	-	0,31	-
DIN	-	-	-	0,38	-	0,29
NOT	-	-	0,31	0,34	-	-
NT	-	-	0,29	0,38	-	0,32
SiO3	-	-	-	-	-	-
PO43-	-	-	-	-	-	-
PT	-0,43	-0,43	-	-0,67	-0,46	-

Visando elucidar as relações entre as espécies fitoplanctônicas e as variáveis ambientais, foi aplicada uma análise de ordenação de gradiente direto, a análise de correspondências canônicas (CCA). Foram utilizadas as matrizes com densidades das espécies e variáveis ambientais. O teste de Monte Carlo foi significativo (p = 0,01 para todos os eixos), indicando que a distribuição das variáveis não é ao acaso. A CCA indicou 12 variáveis significativas (OD, Transp, Cond, pH, SiO_3, $T_{água}$, PT, Turb, Sol_{Tot}, NO_2, NO_3 e NT) (p < 0,05).

Foi observado que o padrão sazonal do ciclo hidrológico descrito para as variáveis limnológicas influenciou a ocorrência das principais espécies fitoplanctônicas (**Figura 4.1.8-68**). A ocorrência das principais espécies de cianobactérias (*Synechococcus nidulans* e *Chroococcus minor*) esteve associada ao período de estiagem (novembro-08 e janeiro-09), com maior transparência e menor turbidez da coluna d'água. A principal cianobactéria presente no período de cheia (janeiro-09) ocorreu em condições de baixa transparência, porém menor disponibilidade de nutrientes. Por outro lado, as diatomáceas estiveram associadas à maior disponibilidade de nitrogênio e maior turbidez, no caso de *Surirella* sp, ou à maior disponibilidade de sílica, no caso de Synedra sp.

De forma geral, os dados sugerem que as variações sazonais do ciclo hidrológico, impostas principalmente pelo regime de chuvas, podem influenciar diretamente os fatores controladores da produtividade primária nas estações amostradas.



Transp = Transparência; OD = Oxigênio dissolvido; NT = Nitrogênio Total;
NO3 = Nitrato; NO2 = Nitrito; Sol Tot = Sólidos Totais; Turb = Turbidez; PT= Fósforo Total;
Tagua = Temperatura da Água; SIO3 = Silicato; pH = pH; Cond = Condutividade;
Planktol = Planktolyngbya sp.; Synedra = Synedra sp.; Monoraph = Monoraphidium sp.;
Chlorell = Chlorella vulgaris; Chrysoph = Chrysophyceae sp.; Surirell = Surirella sp.;
Criptomo = Cryptomonas marsonii; Synecnoc = Synechococcus nidulans;
Chroococ = Chroococcus minor

Figura 4.1.8-68 - Análise de Correspondências Canônicas das variáveis abióticas e biológicas (espécies do fitoplâncton) nas estações amostrais na área de influência da UHE Itaocara

Quadro 4.1.8-13 - Correlações (Spearman) entre o fitoplâncton total e os principais grupos com as variáveis ambientais e nas estações amostrais na área de influência da UHE Itaocara (somente são mostradas as correlações significativas, p<0,05)

	Fito total	Cianobactérias	Diatomáceas	Clorofíceas	Criptofíceas	Crisofíceas
Turbidez	-0,40	-0,52	-	-0,43	-0,57	-
Sólidos Totais	-	-	-	-	-	-
Secchi	0,44	0,47	-	0,52	0,45	-
Sólidos Totais	-	-0,31	-	-0,32	-0,31	-
Sólidos Dissolvidos	-	-	-	-	-	-
NO3-	-	-	-	0,40	-	0,31
NO2-	-	-	-	-	-	-
NH4-	-	-	-	-	0,31	-
DIN	-	-	-	0,38	-	0,29
NOT	-	-	0,31	0,34	-	-
NT	-	-	0,29	0,38	-	0,32
SiO3	-	-	-	-	-	-
PO43-	-	-	-	-	-	-
PT	-0,43	-0,43	-	-0,67	-0,46	-

4.1.8.5.2 - Zooplâncton (Item 4.2.1_210 a 218 do TR)

A comunidade zooplanctônica é formada por animais de diferentes categorias sistemáticas, representada pelos protozoários, rotíferos, crustáceos (copépodos e cladóceros), larvas de insetos, nematóides de vida livre e, ocasionalmente, gastrotríqueos e tardígrados.

A comunidade zooplanctônica é controlada por uma série de fatores físicos (e.g. luz), químicos (e.g. concentrações de nutrientes), hidrológicos e biológicos. Em rios, o efeito de fatores hidrológicos, como descarga e tempo de residência, é de fundamental importância, além da quantidade de material em suspensão (Thorp & Casper, 2003). O plâncton de rios é abundante somente em ocasiões em que o tempo de residência da água é longo o suficiente para seu crescimento e reprodução (Lair & Reys-Marchant, 1997). Dessa forma, a densidade de organismos zooplanctônicos em ambientes lóticos é bem menor quando comparada a sistemas lênticos com concentrações semelhantes de nutrientes e clorofila (Pace *et al.*, 1992; Thorp *et al.*, 1994). Entretanto, vários estudos têm sugerido que o zooplâncton de rios ocupa um importante papel nas cadeias tróficas, contribuindo para a produção secundária e possibilitando o fluxo de energia do fitoplâncton para níveis tróficos mais elevados (Mwebaza-Ndawula *et al.*, 2005).

A comunidade zooplanctônica na área de influência da UHE Itaocara foi formada por protozoários, rotíferos, cladóceros, copépodos e outros grupos (Oligochaeta, Hidracarina, Ostracoda, Gastrotricha, Larvas de Chironomidae, Ephemeroptera, Plectopera, Nematoda, Turbellaria e Tardigrada). No total foram identificados 133 táxons, em diferentes níveis

taxonômicos (**Anexo 4.1.8-2**), sempre que possível em nível específico. Dentre esses táxons, houve predomínio de espécies de Protozoários (51 táxons) e Rotíferos (50 táxons) (**Figura 4.1.8-69**). O predomínio destes dois grupos já foi reportado para outros sistemas fluviais brasileiros (e.g. Lansac-Toha et al 2007). Foram identificados 14 táxons de Cladóceros, 7 de Copépodos e 11 de outros grupos animais. É importante destacar que entre os táxons identificados em nível específico, não foi registrada nenhuma espécie endêmica.

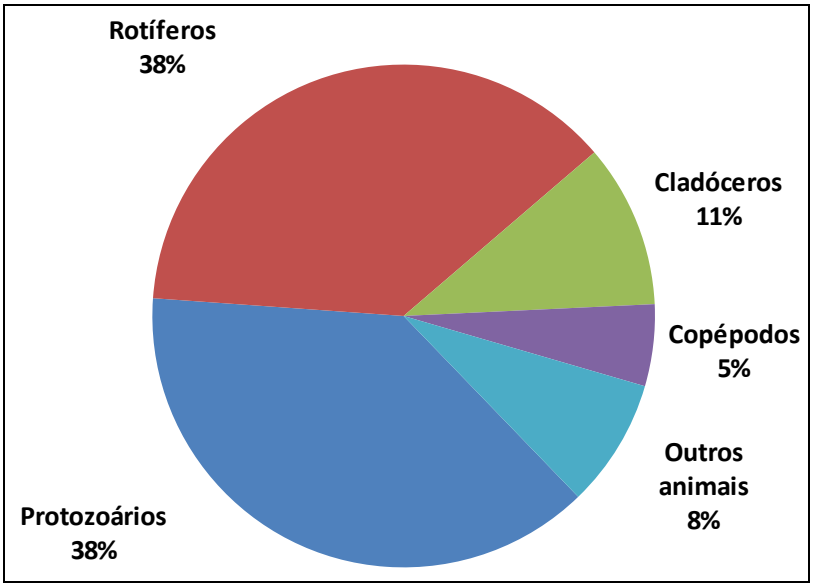


Figura 4.1.8-69 - Contribuição relativa média dos grupos zooplanctônicos paraa riqueza total, na área de influência da UHE Itaocara

A riqueza zooplanctônica total variou de 12 a 43 táxons/amostra, ambos os valores registrados no ponto P2. Em geral, a riqueza foi mais elevada no período de chuvas (novembro-08 e janeiro-09) (**Figura 4.1.8-70**). Durante as campanhas do período de chuvas foram registrados, em média, 30 táxons/amostra, enquanto que no período de estiagem registrou-se 24 táxons/amostra em média. Os tributários apresentaram quase sempre um maior número de táxons/amostra. Nos pontos do rio Paraíba do Sul, a variação da riqueza zooplanctônica total não apresentou padrão definido. A riqueza de espécies registrada no rio Paraíba do sul na área de influência da UHE Itaocara foi ligeiramente inferior aos valores observados em outros sistemas brasileiros, como os rios da planície de inundação da bacia do alto Paraná (35 a 60 táxons/amostra, Lansac-Toha et al 2009) ou o rio Corumbá (20 a 60 táxons/amostra, Lansac-Toha et al 2007). No caso do trabalho realizado na bacia do alto Paraná, foi observado aumento da riqueza após a construção de um reservatório na área de amostragem, devido ao aumento na contribuição de espécies planctônicas.

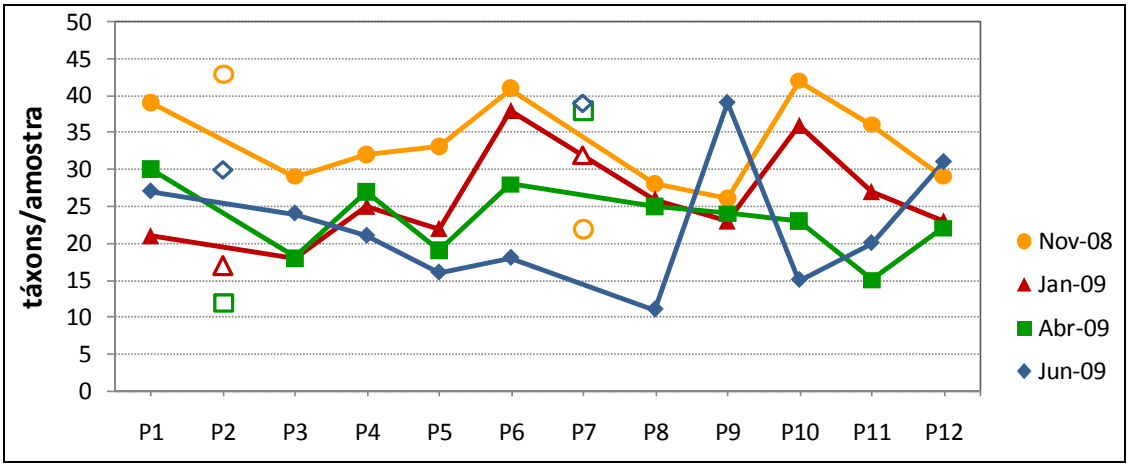


Figura 4.1.8-70 - Riqueza zooplanctônica total, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

Os protozoários foram o principal grupo em riqueza nas 12 estações amostradas, contribuindo com 40% a 80% do total de táxons/amostra (**Figura 4.1.8-71**). Os gêneros de protozoários *Arcella* (13 táxons), *Centropyxis* (10 táxons), *Difflugia* (10 táxons) e *Lecane* (9) foram os que mais contribuíram para a riqueza total.

Os rotíferos também foram freqüentes, porém com contribuição inferior à dos protozoários. De maneira geral, os táxons de rotíferos e protozoários foram bem representados em vários pontos, indicando pouca heterogeneidade espacial. O predomínio destes dois grupos tem sido observado em outros sistemas fluviais brasileiros (e.g. Lansac-Toha et al 2009, 2007). Táxons de copépodos estiveram quase sempre presentes, enquanto que o grupo dos cladóceros não foi registrado na maioria das amostras. No geral, não foram observadas diferenças importantes na contribuição dos grupos para a riqueza zooplanctônica total entre os períodos amostrados (**Figura 4.1.8-71**).

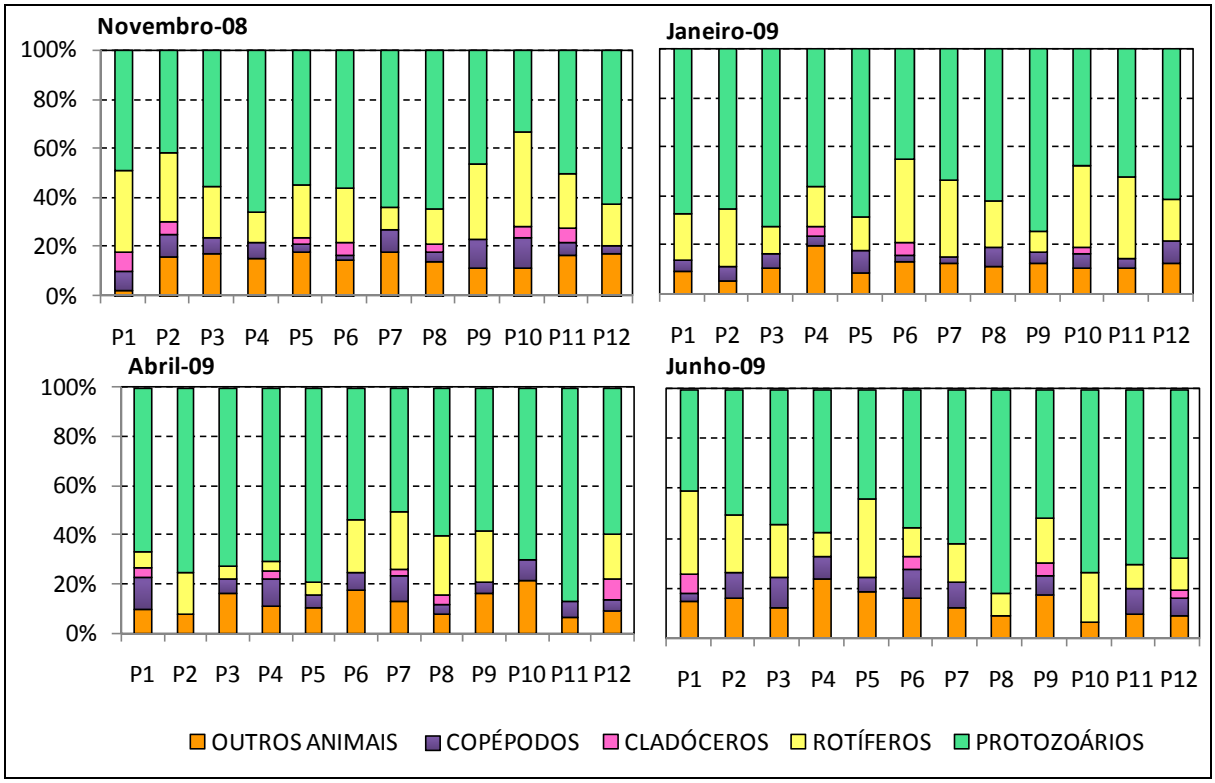


Figura 4.1.8-71 - Contribuição relativa dos grupos zooplanctônicos para o número de táxons, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

A densidade zooplanctônica total variou entre 10 e 25 indivíduos/ml na enchente, entre 2 e 10 indivíduos/ml na cheia, entre 1 e 26 indivíduos/ml na vazante e entre 1 e 35 indivíduos/ml na seca (**Figura 4.1.8-71**).

A densidade média durante a enchente (15 indivíduos/ml) foi o triplo da registrada nos demais períodos estudados (5 indivíduos/ml). Foi observada pouca heterogeneidade espacial, exceto no ponto do rio Pirapetinga (P7), que apresentou as densidades mais elevadas nas quatro campanhas realizadas (**Figura 4.1.8-72**). De maneira geral, a abundância zooplanctônica foi bastante reduzida em todos os pontos. Esta baixa abundância está de acordo com o esperado para rios, uma vez que, devido ao efeito da descarga, sistemas lóticos apresentam valores reduzidos de densidade quando comparados a lagos (Frutos, 1998). Contudo, valores de densidade zooplanctônica mais elevados são observados em sistemas fluviais com pouca degradação ambiental. Nestes casos, são comumente observadas densidades variando entre 30 e 300 ind/ml (Lansac-Toha et al 2009).

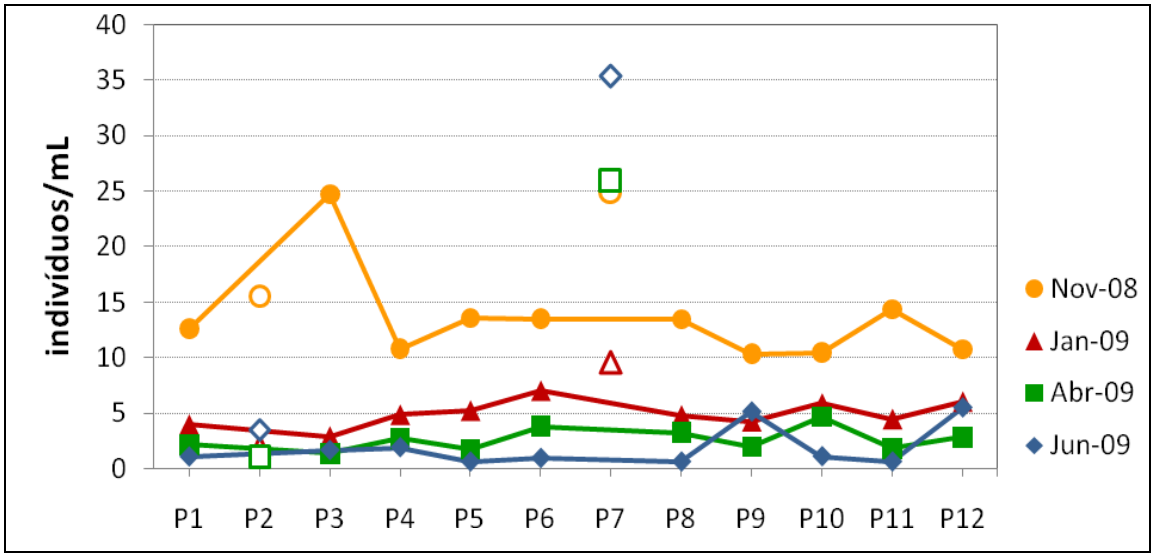


Figura 4.1.8-72 - Densidade total do zooplâncton, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

De maneira geral, os rotíferos são os organismos dominantes da comunidade zooplanctônica em rios (Margalef, 1983). Entretanto, os protozoários foram o grupo mais abundante, sendo responsável por mais de 70-80% da densidade total em todas as estações, em todos os períodos (**Figura 4.1.8-73**). Os protozoários foram representados principalmente por amebas testáceas, comuns em ambientes lênticos e lóticos de rios e em suas bacias de inundação (Velho & Lansac-Tôha, 1996, Lansac-Toha et al 2009).

Ao estudar a composição zooplanctônica de reservatórios brasileiros, Rosa (2008) destacou a elevada contribuição de protozoários em estações de amostragem localizadas em tributários ou regiões próximas a eles. Tôha et al. (2000) também identificou a presença de protozoários, principalmente em regiões lóticas do reservatório de Corumbá-GO, e em seus rios tributários. Durante o período de chuvas, os protozoários mais abundantes nos pontos amostrados foram *Centropyxis* spp, contribuindo com 20% da densidade total, *Peritrichia* sp com 9% e *Rotaria* sp com 9%. Na estiagem, *Centropyxis* spp (6%), *Peritrichia* sp (11%) e *Epistylis* spp (6%) foram os que mais contribuíram para a densidade total nos pontos amostrados.

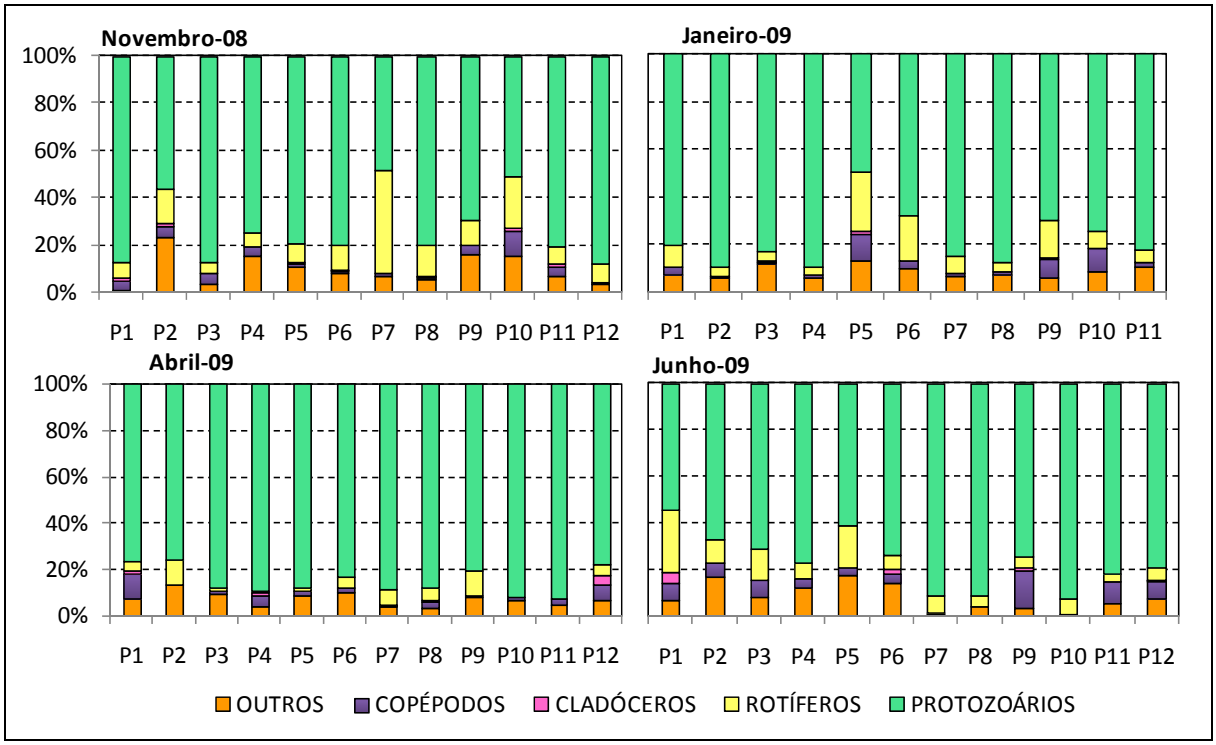


Figura 4.1.8-73 - Contribuição relativa dos grupos zooplanctônicos para densidade total, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

A diversidade do zooplâncton foi homogênea entre as estações de coleta, variando de 2,2 bits/indivíduo (vários pontos) a 3,1 bits/indivíduo (P10) no período de chuvas (novembro-08 e janeiro-09), com um valor médio de 2,6 bits/indivíduo.

No período de estiagem (abril-09 e junho-09), a diversidade zooplanctônica variou entre 1,8 bits/indivíduo em P7 a 3,0 bits/indivíduo em P1, com um valor médio de 2,4 bits/indivíduo. Estes resultados refletem uma constância na estrutura da comunidade zooplanctônica (**Figura 4.1.8-74**).

O índice de Shannon e Wienner varia de 0 a 5, sendo que valores inferiores a 3 são normalmente considerados baixos. Dessa forma, a diversidade zooplantônica foi baixa em todos os pontos e períodos de amostragem. A baixa densidade registrada está de acordo com outros estudos em sistemas fluviais (e.g. Frutos 2008).

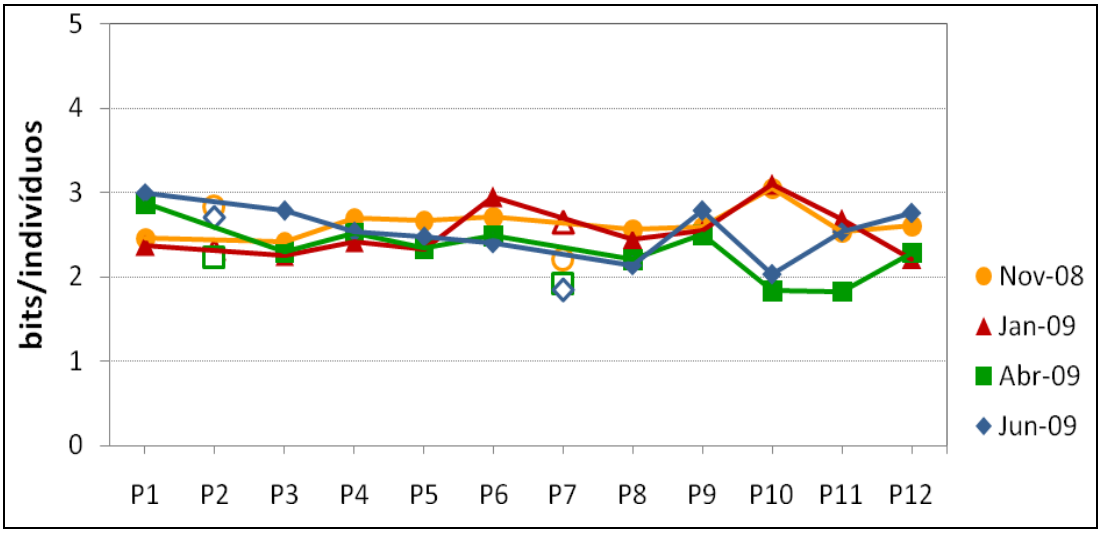


Figura 4.1.8-74 - Diversidade de espécies zooplanctônicas, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

4.1.8.5.2.1 - Correlação com as Variáveis Ambientais

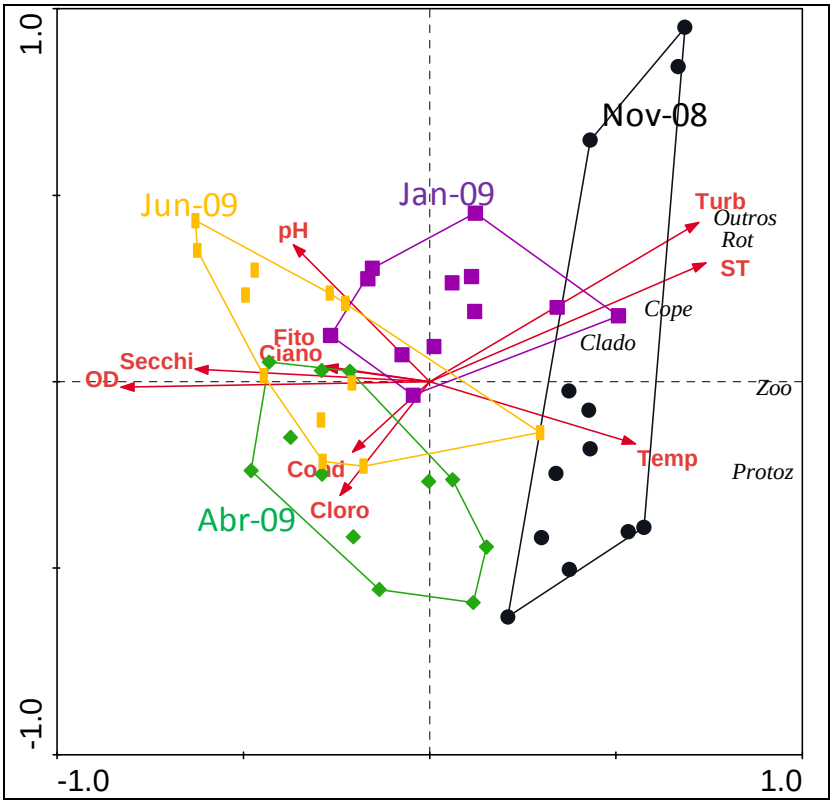
As densidades dos grupos zooplanctônicos, com exceção dos cladóceros, apresentaram correlação significativa e positiva com as variáveis turbidez e sólidos totais em suspensão. As correlações foram negativas com a transparência (estimada pela profundidade de Secchi) (**Quadro 4.1.8-14**). Em relação aos grupos fitoplanctônicos, a densidade total do zooplâncton e os protozoários foram inversamente relacionados com a densidade de cianobactérias, enquanto cladóceros e copépodos apresentaram correlação positiva com as diatomáceas.

Quadro 4.1.8-14 - Correlações (Spearman) entre a densidade do zooplâncton total e dos principais grupos com as variáveis ambientais e as densidades dos principais grupos fitoplanctônicos e nas estações amostrais na área de influência da UHE Itaocara (somente são mostradas as correlações significativas, p<0,05)

	Zooplâncton (total)	Protozoários	Rotíferos	Cladóceros	Copépodos
Secchi	-0,78	-0,74	-0,66	-	-0,44
Turbidez	0,74	0,70	0,61	-	0,41
Sólidos Totais	0,67	0,61	0,64	-	0,46
Sólidos Dissolvidos	-	-	-	-	-
Clorofila	-	-	-	-	-
Fitoplâncton total	-	-	-	-	-
Cianobactérias	-0,29	-0,32	-	-	-
Diatomáceas	-	-	-	0,35	0,37
Clorofíceas	-	-	-	-	-

Visando elucidar as correlações observadas entre os grupos zooplanctônicos e as variáveis ambientais e o fitoplâncton, foi aplicada uma análise de ordenação de gradiente direto, a análise de redundâncias (RDA). Foram utilizadas as matrizes com densidades dos grupos e variáveis ambientais (abióticas e fitoplâncton). O teste de Monte Carlo foi significativo (p = 0,01 para todos os eixos), indicando que a distribuição das variáveis não foi ao acaso. A RDA indicou 10 variáveis significativas (OD, Transp, Cond, pH, $T_{água}$, Turb, Sol_{Tot}, Fitoplâncton total, cianobactérias e clorofíceas) (p < 0,05).

Foi observado que o padrão sazonal do ciclo hidrológico descrito para as variáveis limnológicas influenciou a ocorrência dos principais grupos zooplanctônicos (**Figura 4.1.8-75**). As maiores densidades de todos os grupos foram registradas na enchente (novembro-08). Este período foi caracterizado por maiores valores de temperaturas, turbidez e concentração de sólidos totais.



Secchi = Transparência; OD = Oxigênio dissolvido; ST = Sólidos Totais; Turb = Turbidez; Temp = Temperatura da Água; pH = pH; Cond = Condutividade; Fito = fitoplâncton total; ciano = cianobactérias; cloro = clorofíceas; Zoo = zooplâncton total; Protoz = Protozoários; Rot = Rotíferos; Clado = cladóceros; Cope = Copépopdos.

Figura 4.1.8-75 - Análise de Redundâncias das variáveis abióticas e biológicas (grupos do zooplâncton e fitoplâncton) nas estações amostrais na área de influência da UHE Itaocara

Por outro lado, todos os grupos estiveram presentes em menores densidades nos períodos de vazante (abril-09) e seca (junho-09), quando foram registradas as maiores densidades do fitoplâncton, especialmente de cianobactérias. Contudo, apesar de estatisticamente significativas, os valores das correlações entre os grupos do zooplâncton e as cianobactérias foram baixos (**Quadro 4.1.8-14**), indicando que estas relações não explicam totalmente a variação da densidade de destes grupos zooplanctônicos.

De forma geral, os dados sugerem que as variações sazonais do ciclo hidrológico, impostas principalmente pelo regime de chuvas, podem influenciar diretamente os fatores controladores da comunidade zooplanctônica.

4.1.8.5.3 - Macroinvertebrados Aquáticos

Os macroinvertebrados aquáticos vivem integralmente ou parte do período de vida no ambiente aquático. Estes organismos possuem algumas características peculiares, dentre elas a capacidade de responder rapidamente a perturbações ambientais, resultando em alterações na estrutura da comunidade e/ou na redução da riqueza a poucos grupos tolerantes. Por serem vulneráveis as perturbações ambientais, macroinvertebrados aquáticos, vêm sendo utilizados em diversos programas de vigilância e monitoramento como indicadores de qualidade de água.

A premissa básica do uso de indicadores biológicos para avaliar a qualidade da água é que a presença, em números elevados, de uma espécie exigente nutricionalmente, significa que suas necessidades físicas, químicas e nutricionais estão sendo supridas. Por outro lado o desaparecimento de espécies sensíveis a perturbações significa que modificações ambientais estão influenciando a ocorrência desta espécie.

Macroinvertebrados aquáticos associados a pedras ou a macrófitas aquáticas foram coletados no rio Paraíba do Sul e seus tributários. Os indivíduos encontrados foram pertencentes aos seguintes filos: Arthropoda (Classe Insecta, Classe Chelicerata, Classe Crustacea), Molusca (Classe Bivalve, Classe Gastropoda, Classe Monoplacophora), Annelida (Classe Clitellata), Nematoda (**Anexo 4.1.8-2**). Foi coletado um total de 577 indivíduos, pertencentes a 48 unidades taxonômicas, com o Filo Arthropoda como o principal representante. Os moluscos foram registrados em todos os períodos, enquanto que anelídeos e nematódeos ocorreram pontualmente no espaço e no tempo (**Figura 4.1.8-76**).

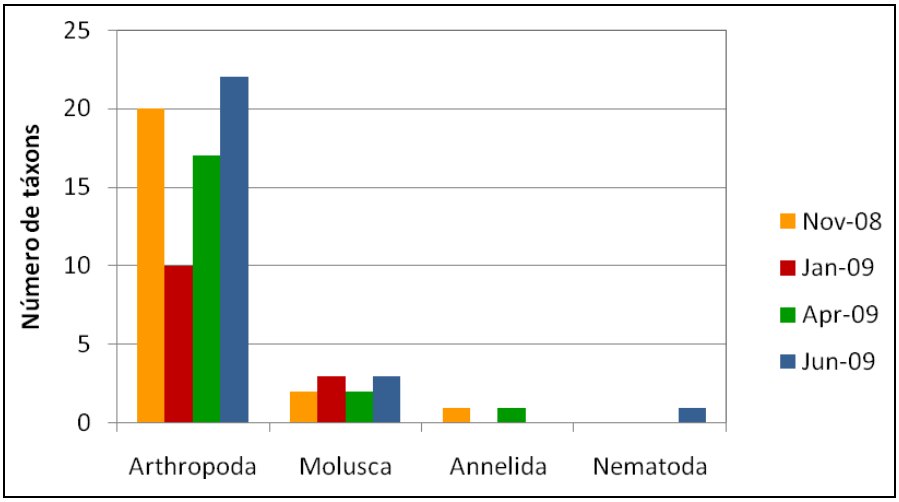


Figura 4.1.8-76 - Número táxons de macroinvertebrados aquáticos por filo, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

A riqueza de táxons de macroinvertebrados aquáticos não apresentou qualquer padrão de variação sazonal (**Figura 4.1.8-77**). Também não foi observado claro padrão de variação espacial definido para a riqueza de táxons. Os maiores valores foram registrados nos pontos P2, P9 (rio Paraíba do Sul) e P7 (rio Pirapetinga). Cabe destacar que o ponto P7 apresentou, em geral, riquezas elevadas quando comparadas aos demais pontos amostrais. Não foi encontrado nenhum organismo nos pontos P1 e P6 durante a enchente (novembro-08). Baixos valores de riqueza também foram registrados em estudos realizados nos rios Mogi-Guaçu e Ribeira (Brandimarte et al. 2007; Trivinho-Strixino & Strixino 2005). Contudo, valores de riqueza bem mais elevados (25 a 57 táxons/amostra) foram observados em riachos (Ribeiro e Uieda 2005) e em rios da bacia do rio Macaé (Silveira et al. 2006).

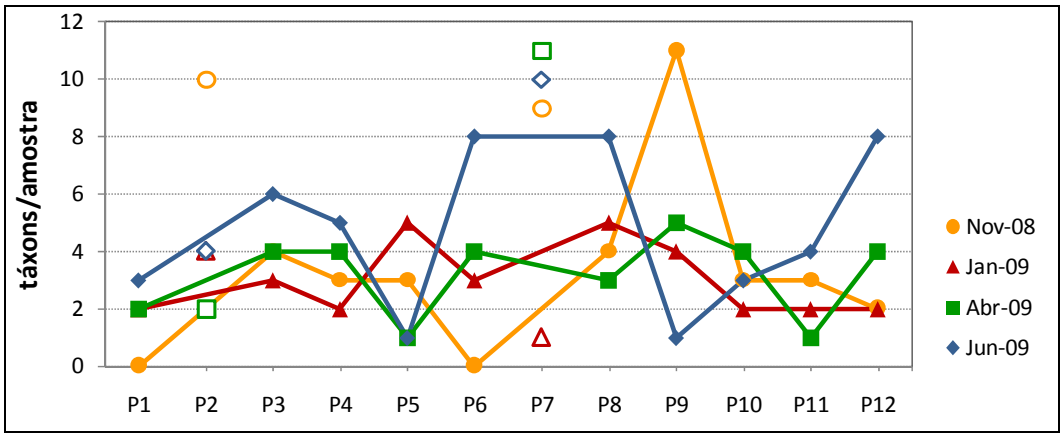


Figura 4.1.8-77 - Riqueza taxonômica da comunidade de macroinvertebrados aquáticos, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

Durante a estação de chuvas, incluindo os períodos de enchente (novembro-08) e cheia (janeiro-09), o grupo taxonômico mais abundante foi a classe Insecta. Dentro deste grupo destacaram-se os indivíduos pertencentes à ordem Hemiptera (em especial a família Belostomatidae) e a ordem Odonata (**Figura 4.1.8-76**). Os moluscos gastrópodes também apresentaram contribuições importantes durante a cheia (janeiro-09).

A classe Insecta foi o principal representante da comunidade de macroinvertebrados aquáticos também durante a vazante (abril-09) e a seca (junho-09), apresentando um maior número de grupos distintos. Além das ordens Hemiptera e Odonata, as ordens Coleoptera, Ephemeroptera e Tricoptera tiveram destaque. Moluscos das classes Gastropoda e Bivalve estiveram presentes em quase todos os pontos amostrais (**Figura 4.1.8-78**). Apesar de não ter ocorrido aumento na riqueza de táxons/amostra, o período seco apresentou uma comunidade formada por um maior número de grupos taxonômicos distintos, provavelmente devido à criação de novos habitats.

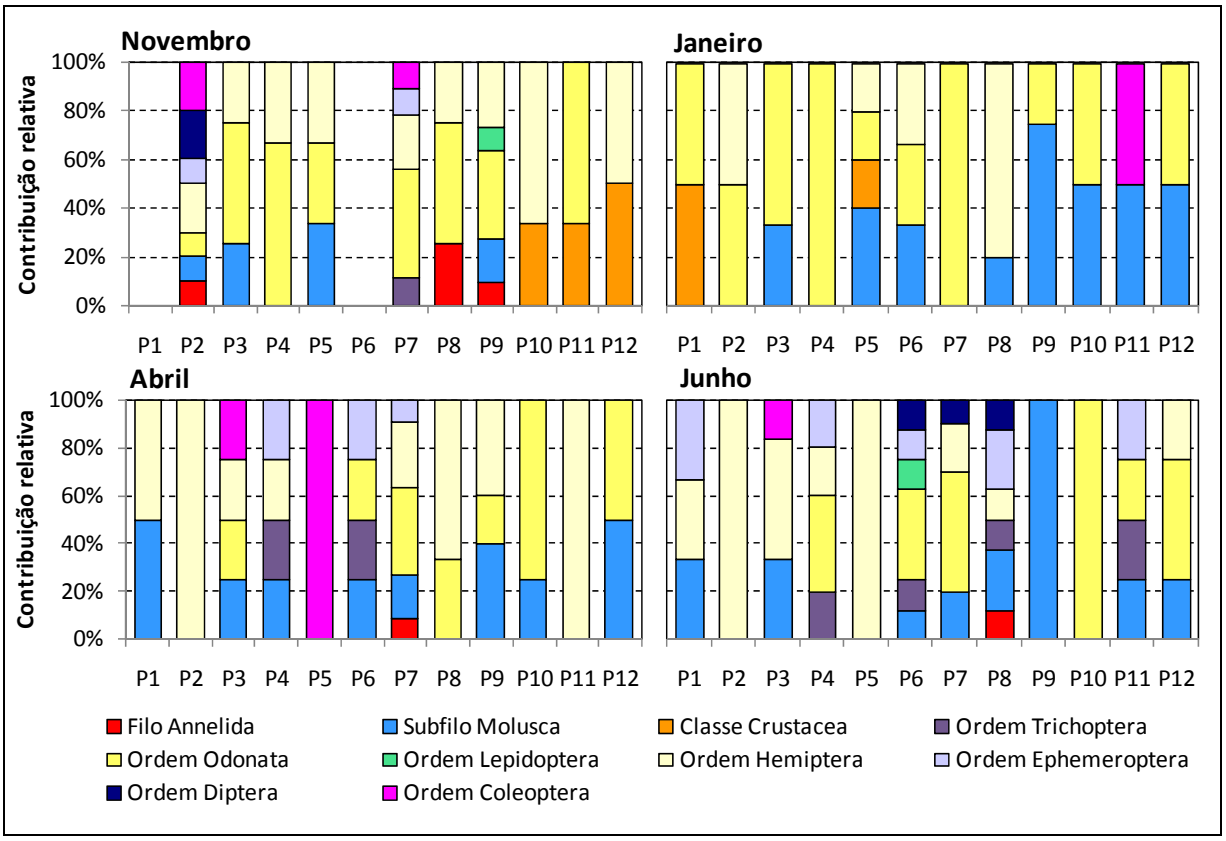


Figura 4.1.8-78 - Contribuição relativa dos táxons de macroinvertebrados aquáticos, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. Nenhum organismo foi registrado nos pontos P1 e P6 em novembro de 2008 (enchente)

Os resultados para as guildas tróficas observadas nas quatro campanhas estão apresentadas na **Figura 4.1.8-79**. Houve forte predomínio dos predadores nas campanhas realizadas na enchente (novembro-08) e na seca (junho-09). Na cheia (janeiro-09) houve o predomínio quase total de organismos pertencentes à guilda dos catadores-coletores. O predimínio desta guilda é comum em rios de planície com quantidades consideráveis de matéria orgânica particulada fina (Silveira et al. 2006). Organismos pertencentes à guilda dos coletores-filtradores foram registrados na vazante (abril-09) e na seca (junho-09). Coletores-filtradores apresentam, em geral, capacidade de rápida colonização e tolerância a distúrbios antrpogênicos (e.g. assoreamento e poluição orgânica), que favorecem a ocupação de todo tipo de substrato (Silveira et al 2006).

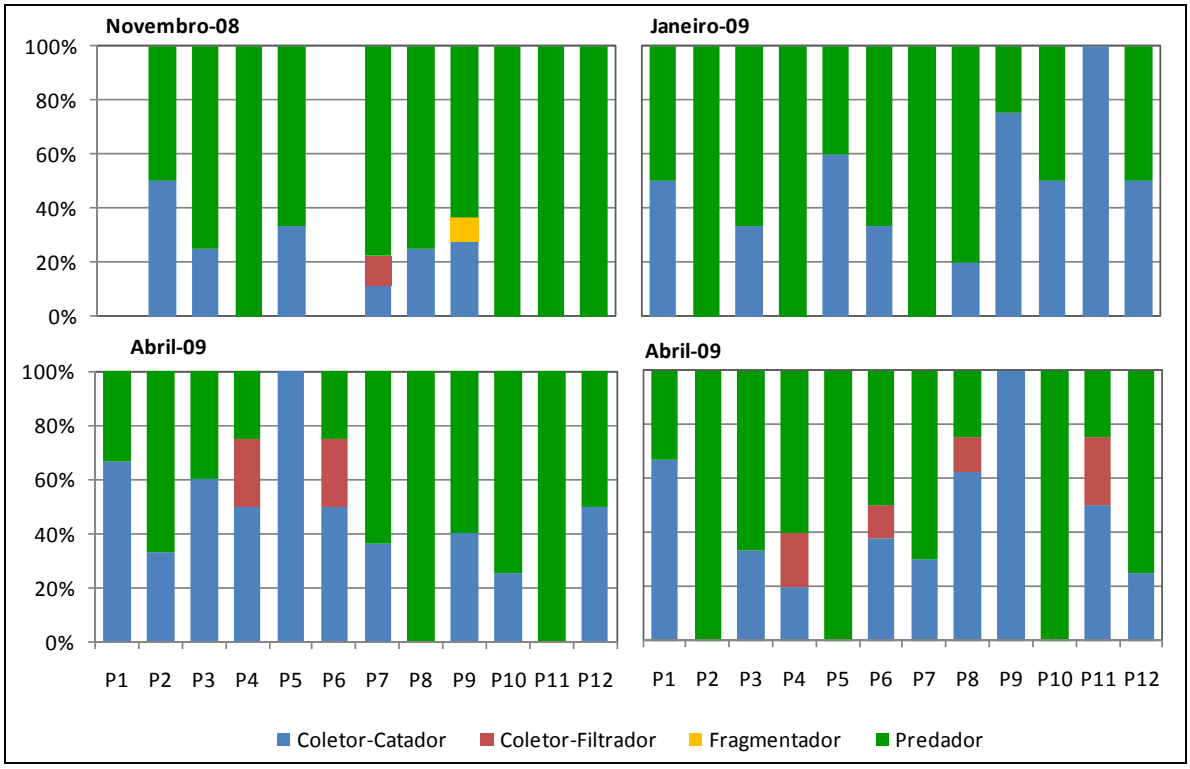


Figura 4.1.8-79 - Proporção relativa de táxons encontrados por hábito alimentar, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara.
Nenhum organismo foi registrado nos pontos P1 e P6 em novembro de 2008 (enchente)

O acompanhamento da composição da comunidade de invertebrados aquáticos durante as primeiras fases do empreendimento é fortemente recomendado, para que seja possível detectar os efeitos das alterações causadas pelo reservatório sobre esta comunidade.

4.1.8.5.3.1 - Ordenação Espacial e Temporal dos Grupos de Macroinvertebrados Aquáticos

A Análise de Componente Principal – ACP foi utilizada para identificar se a abundância dos grupos de macroinvertebrados aquáticos seria indicativo da variabilidade entre os pontos de coleta. A dispersão dos escores é apresentada na **Figura 4.1.8-80**.

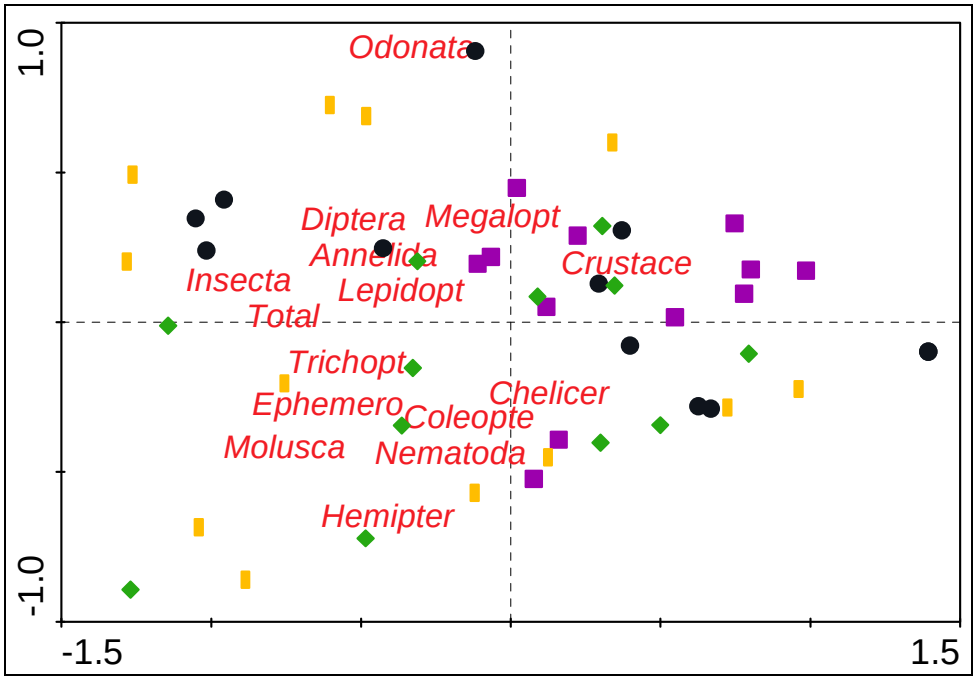


Figura 4.1.8-80 - Diagrama de ordenação da análise de componentes principais (PCA) considerando a ocorrência dos grupos de macroinvertebrados aquáticos, em novembro de 2008 (enchente, pontos em roxo), janeiro de 2009 (cheia, pontos em preto), abril de 2009 (vazante, pontos em verde) e junho de 2009 (seca, pontos em amarelo), na área de influência da UHE Itaocara

Os dois primeiros eixos dessa análise explicaram cumulativamente 66,8% da variabilidade total dos dados. Não foi observado padrão espacial para a ocorrência dos grupos de macroinvertebrados aquáticos. No entanto, foi observada separação entre os períodos hidrológicos com relação à distribuição das comunidades. Nas amostras dos períodos de vazante (abril-09) e seca (junho-09) foi observada uma maior riqueza de macroinvertebrados, especialmente de táxons pertencentes aos grupos Hemiptera e Mollusca. Grupos como Trichoptera e Ephemeroptera ocorreram quase que exclusivamente nestes períodos. Por outro lado, táxons de Crustacea foram registrados exclusivamente durante o período de enchente (novembro-08) e cheia (janeiro-09). Fica evidente, então, a forte influência da sazonalidade e do ciclo hidrológico sobre a ocorrência dos grupos da comunidade de macroinvertebrados aquáticos.

4.1.8.5.4 - Macroinvertebrados Bentônicos (Item 4.2.1_219 a 226 do TR)

Os organismos bentônicos têm importante papel no metabolismo dos ecossistemas aquáticos, participando da ciclagem de nutrientes, reduzindo o tamanho das partículas orgânicas (e.g. fragmentadores) e facilitando a ação de micro-decompositores, como bactérias e fungos (Callisto & Esteves, 1995). Também são importantes no fluxo de energia, constituindo a principal fonte de alimento para outros organismos, como peixes e outros insetos (Rosemberg & Resh, 1993).

A comunidade bentônica dos pontos amostrados foi composta por organismos pertencentes aos filos Arthropoda (Classe Insecta), Molusca (Classes Bivalve e Gastropoda), Annelida (Classe Clitellata) e Nematoda (**Figura 4.1.8-81**). No total foram identificados 27 táxons (**Anexo 4.1.8-2**). O filo Arthropoda, representado apenas pela classe Insecta, foi o que apresentou o maior número de táxons.

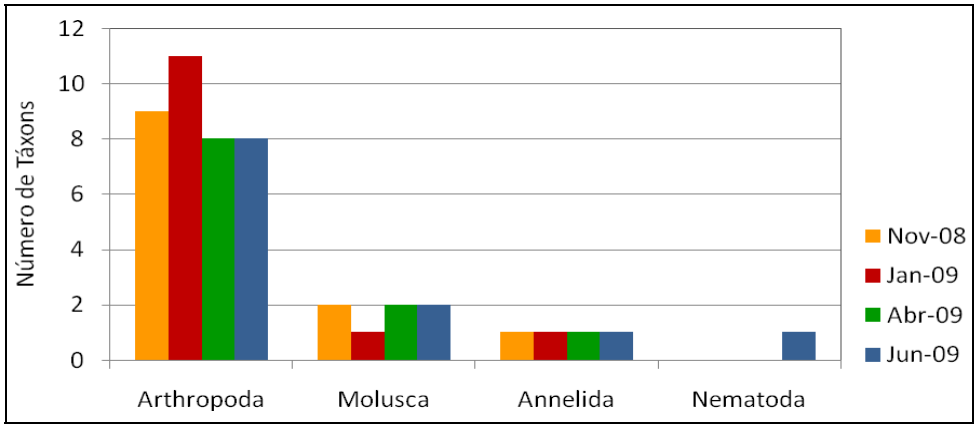


Figura 4.1.8-81 - Número táxons de macroinvertebrados bentônicos por filo, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

A riqueza de táxons de macroinvertebrados bentônicos não apresentou qualquer padrão de variação sazonal ou entre as estações amostradas (**Figura 4.1.8-82**). Houve, entretanto, uma tendência a uma maior riqueza taxonômica na estação P5, chegando a 8 táxons por amostra na seca (junho-09) e a manutenção de valores mais baixos, entre 2 e 4 táxons por amostra, nas estações P1 a P4, P8 e P9. As maiores variações na riqueza taxonômica ocorreram nas estações P5 (de 2 taxa na cheia a 8 táxons na seca) e P7 (de 1 táxon na cheia a 7 táxons na enchente). As estações P10 à P12 apresentaram baixa riqueza taxonômica em relação aos demais pontos nos primeiros períodos amostrais, e um aumento acentuado na campanha realizada no período de seca (junho-09).

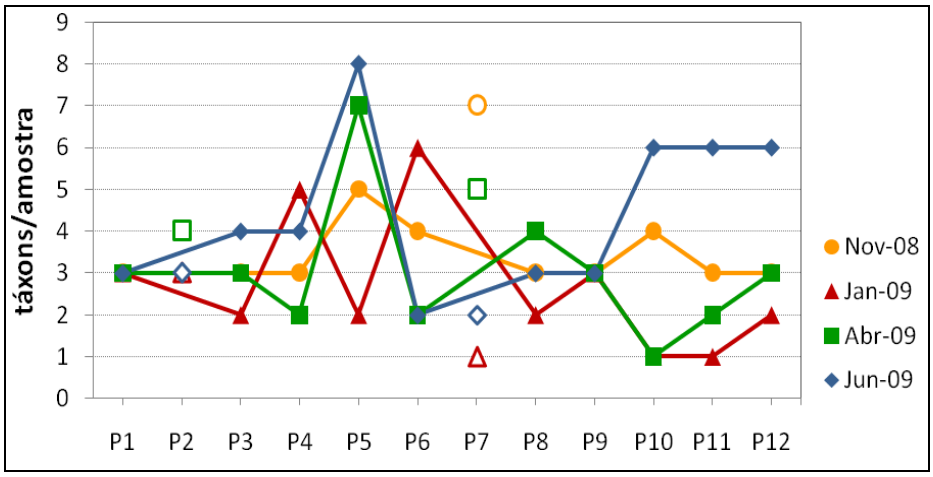


Figura 4.1.8-82 - Riqueza taxonômica da comunidade de macroinvertebrados bentônicos, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca)

A densidade de macroinvertebrados bentônicos variou entre 50 indivíduos/m² (vários pontos) e 8300 indivíduos/m² (P7, na enchente) (**Figura 4.1.8-83**).

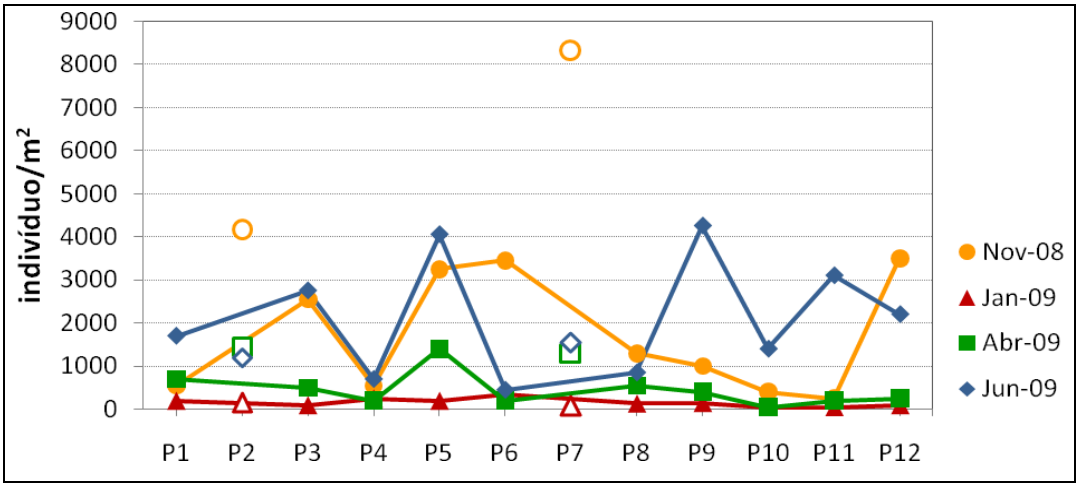


Figura 4.1.8-83 - Densidade de macroinvertebrados bentônicos nas estações de coleta, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

A maior densidade média de macroinvertebrados bentônicos foi observada na enchente (novembro-08, 2437 indivíduos/m^2) seguida do período de seca (junho-09, 2016 indivíduos/m^2). Nestes períodos, houve grande variação entre os pontos de amostragem. Os rios tributários apresentaram maior densidade de macroinvertebrados bentônicos durante a enchente (novembro-08). Nas demais campanhas, no entanto, não houve diferença entre o rio Paraíba do Sul e seus tributários. As estações P3, P5, P6, P9, P11 e P12 apresentaram a tendência geral de

registro de uma maior densidade de organismos nos períodos amostrais. Um estudo da fauna de macroinvertebrados bentônicos em córregos do Vale do Itajaí (SC) registrou valores de densidade semelhantes àqueles observados neste estudo (1052 a 3435 indivíduos/m^2, Molozzi et al. 2007). Já os valores de densidade registrados em córregos da bacia do rio Caí (RS) atingiram valores superiores (940 a 9186 indivíduos/m^2, Pereira & de Luca 2003). São escassos os dados de densidade e riqueza de macroinvertebrados bentônicos em rios de grande porte.

Foi possível observar uma flutuação sazonal na densidade de organismos. As maiores densidades foram observadas nos períodos de seca (junho-09) e enchente (novembro-09), enquanto as menores foram registradas nos períodos de cheia (janeiro-09) e vazante (abril-09). Este padrão de flutuação sazonal pode ocorrer visto que uma boa parte dos organismos apresenta um atraso na resposta a mudanças ambientais naturais, como a flutuação sazonal dos níveis de água nos rios (Gotelli, 2007). Desta forma, o início da estação de chuvas ainda representaria um período adequado à reprodução e à propagação da maioria dos taxa e, com o passar do tempo, a queda da qualidade natural do habitat passaria a afetar estas populações.

O filo Arthropoda apresentou grande contribuição para a comunidade de macroinvertebrados bentônicos, com densidades médias elevadas nas campanhas de enchente (novembro-08, 1188 indivíduos/m^2) e seca (junho-09, 1413 indivíduos/m^2). Durante a cheia (janeiro-09), o filo Annelida apresentou maior densidade média, com 426 indivíduos/m^2, enquanto na vazante (abril-09), o filo Molusca foi o grupo de maior densidade média, com 271 indivíduos/m^2 (**Figura 4.1.8-84**).

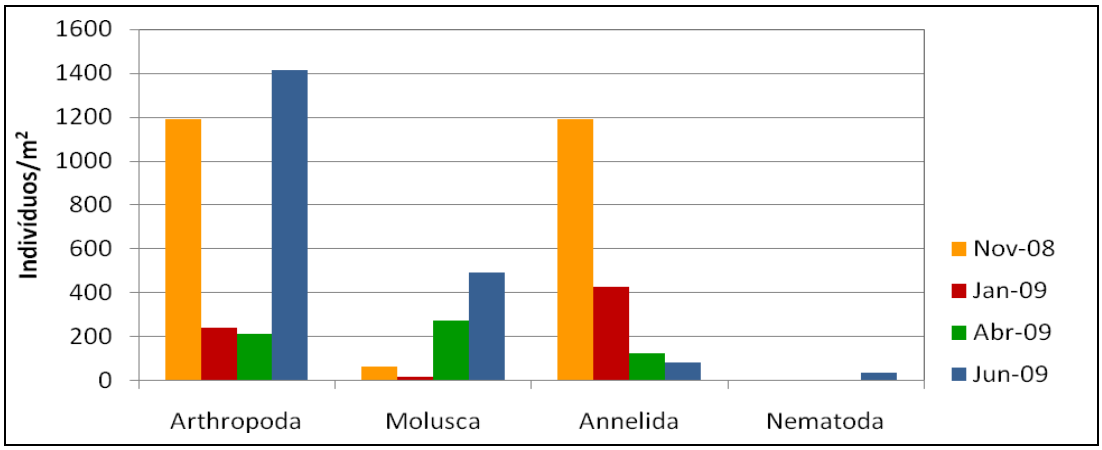


Figura 4.1.8-84 - Densidade média de macroinvertebrados bentônicos, por filo, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

Os dados sugerem que a comunidade dos insetos bentônicos é sensível a flutuações no nível da água, o que possivelmente teria causado as mudanças observadas na riqueza e na densidade dos táxons. Os demais grupos encontrados parecem não responder a este fator ambiental, provavelmente respondendo a uma sinergia de fatores, sem uma correlação direta com a variação de vazão.

Dentre os organismos registrados na classe Insecta, os pertencentes à ordem Diptera predominaram em praticamente todas as estações amostrais durante a enchente (novembro-08) e a seca (junho-09). Nas demais campanhas, os filos Annelida e Molusca foram mais abundantes em termos de densidade, no entanto, houve predomínio de organismos da ordem Diptera em alguns dos pontos de amostragem (**Figura 4.1.8-85**).

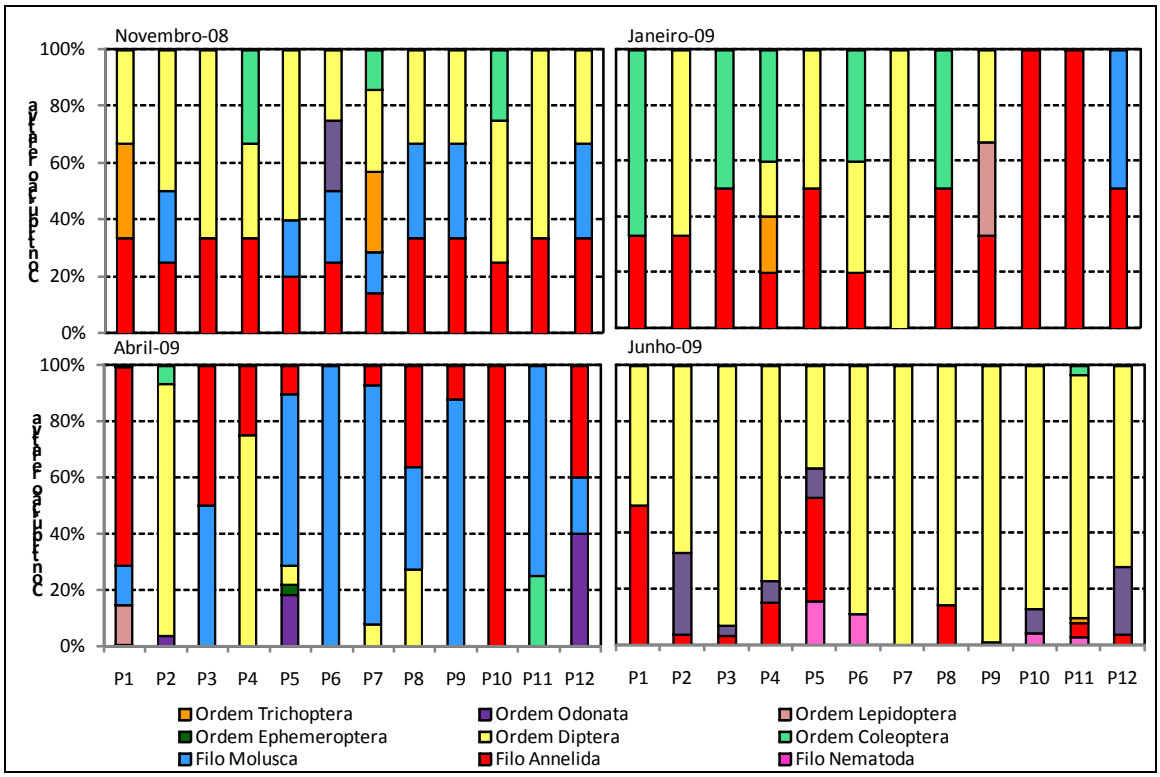


Figura 4.1.8-85 - Contribuição relativa de macroinvertebrados bentônicos, por grupos taxonômicos, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

A classificação dos macroinvertebrados bentônicos de acordo com seus hábitos alimentares possui grande importância ecológica, podendo até mesmo indicar possíveis alterações ambientais, atuando como uma importante ferramenta bioindicadora. Em geral, os predadores são mais sensíveis a alterações qualitativas e quantitativas no habitat e por isso podem ser

empregados como indicadores diretos da qualidade ambiental. Além disso, a presença de detritívoros (em especial os coletores-catadores) em elevada densidade pode constituir um forte indicativo de distúrbio ambiental. Desta forma, a análise da proporção relativa dos hábitos alimentares da comunidade de organismos bentônicos também pode fornecer uma idéia geral da qualidade ambiental em cada estação. Os táxons encontrados foram classificados de acordo com seu hábito alimentar, baseada nas informações disponíveis em Merrit & Cummings (1996).

O grupo dos coletores-catadores apresentou maior número de táxons em todos os pontos, nas quatro coletas (**Figura 4.1.8-86**). Não foi possível observar um padrão de flutuação sazonal da proporção relativa dos demais hábitos alimentares. Entretanto, houve tendência ao desaparecimento da guilda trófica dos fragmentadores e aumento da proporção de predadores com a chegada do período de seca. O desaparecimento dos fragmentadores pode indicar um princípio de alteração ambiental, sugerindo que o aporte de material particulado mais fino deve estar ocorrendo, diminuindo a quantidade de recursos disponíveis para os organismos desta guilda (detritos maiores, como pedaços de folhas e galhos). Não foi possível, no entanto, observar um padrão sazonal de mudança das guildas tróficas relacionada aos períodos hidrológicos.

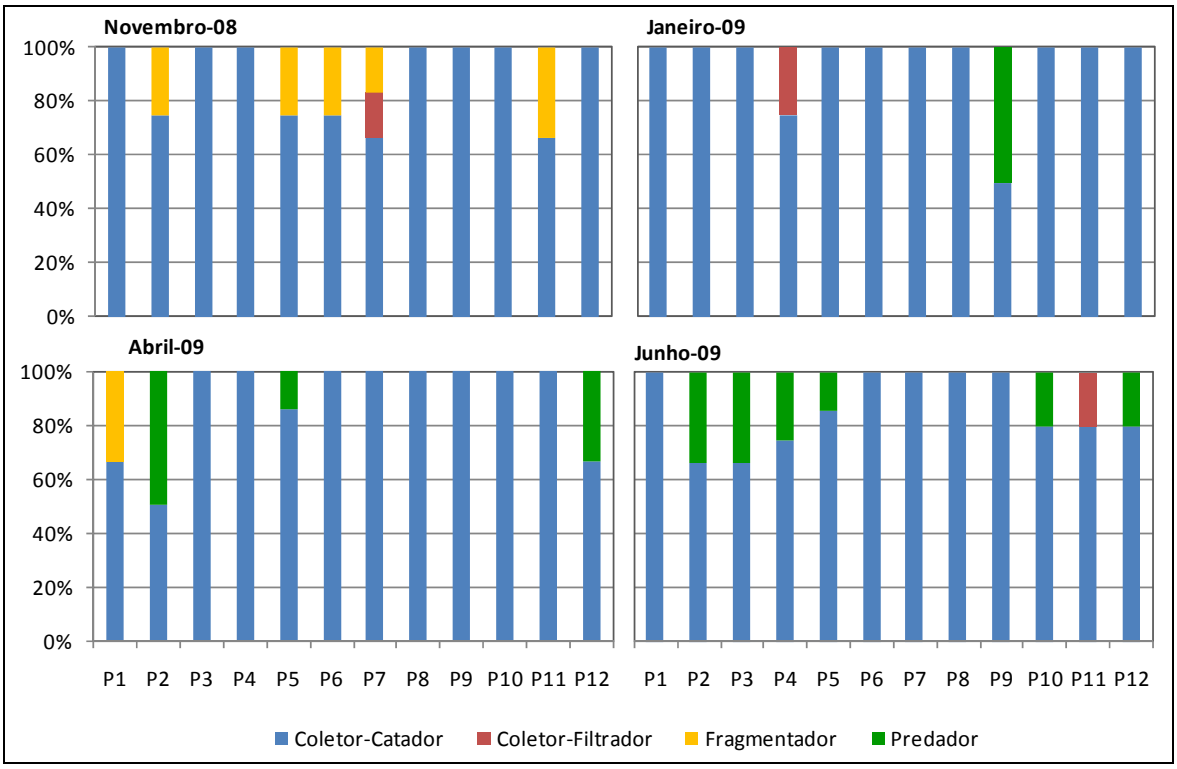


Figura 4.1.8-86 - Proporção relativa dos táxons encontrados, por hábito alimentar, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

Os valores de diversidade foram baixos (menores que 2,0) durante todo o estudo, não sendo observado padrão sazonal. Valores de diversidade levemente superiores foram encontrados na campanha realizada durante a enchente (novembro-08), mas diminuíram nas campanhas seguintes (**Figura 4.1.8-87**). Também não foi identificado nenhum padrão espacial no índice de diversidade.

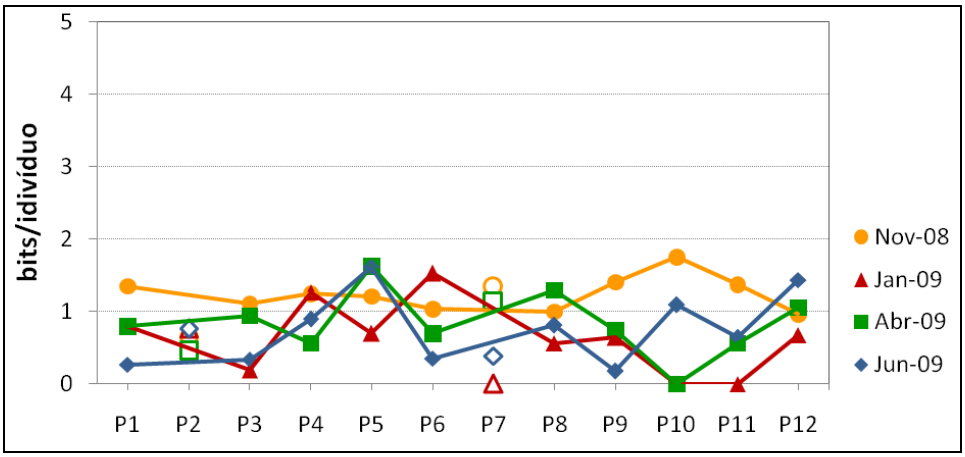


Figura 4.1.8-87 - Diversidade de espécies de macroinvertebrados bentônicos, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca)

4.1.8.5.4.1 - Ordenação Espacial e Temporal dos Grupos de Invertebrados Bentônicos

A Análise de Componente Principal – ACP foi utilizada para caracterizar e identificar se a abundância dos grupos bentônicos seria indicativa da variabilidade entre os pontos de coleta. A dispersão dos escores é apresentada na **Figura 4.1.8-88**.

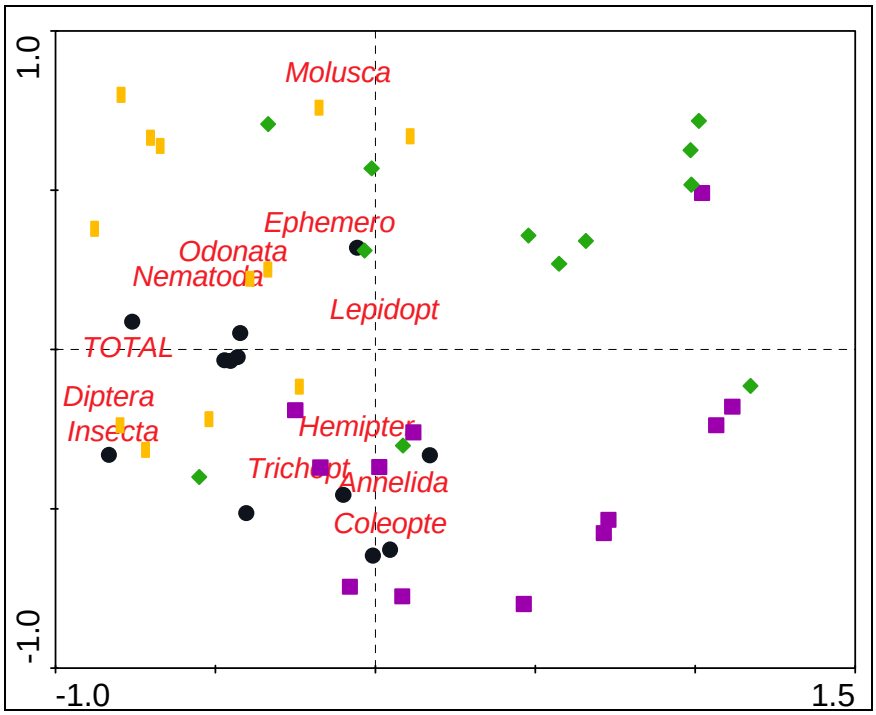


Figura 4.1.8-88 - Diagrama de ordenação da análise de componentes principais (PCA) considerando a ocorrência dos grupos de macroinvertebrados bentônicos, em novembro de 2008 (enchente, pontos em roxo), janeiro de 2009 (cheia, pontos em preto), abril de 2009 (vazante, pontos em verde) e junho de 2009 (seca, pontos em amarelo)

Os dois primeiros eixos dessa análise explicaram cumulativamente 57% da variabilidade total dos dados. Não foi observado padrão espacial para a ocorrência dos grupos de macroinvertebrados bentônicos. No entanto, foi observada separação entre os períodos de enchente (novembro-08), cheia (Janeiro-09), vazante (abril-09) e seca (Junho-09) com relação à distribuição das comunidades zoobentônicas.

Os períodos de enchente e cheia foram caracterizados por uma maior ocorrência de Coleoptera e Anellida. Nas amostras do período seco (junho-09) foi observada uma maior densidade Mollusca e de insetos das ordens Ephemeroptera, Lepidoptera e Odonata. Grupos como Nematoda ocorreram exclusivamente no período seco, enquanto algumas ordens da classe Insecta estiveram presentes em elevadas densidades durante todas as campanhas.

Deste modo, assim como observado para os macroinvertebrados aquáticos, a sazonalidade chuva/estiagem também exerce forte influência sobre a ocorrência dos grupos da comunidade zoobentônica.

4.1.8.5.5 - Macrolagas

A importância na produção primária de ambientes lóticos e o papel essencial na criação e manutenção de habitats para uma série de organismos tornam o componente macroscópico das algas fundamental (Giller & Malmqvist, 1998; Allan & Castillo, 2007). O interesse ecológico sobre o grupo das algas macroscópicas pode ser observado a partir da década de 80, quando foi iniciada uma série de importantes estudos (Sheath & Burkholder, 1985; Entwisle, 1990; Necchi *et al.*, 1991).

O termo macroalgas é utilizado há vários anos para designar este grupo de produtores primários, sendo claramente definido por Sheath & Cole (1992). A definição proposta por esses autores é a seguinte: “tipicamente, macroalgas de riachos são bentônicas e formam um talo maduro, que é uma estrutura discreta e reconhecível a olho nu, a identificação microscópica é geralmente necessária e freqüentemente microalgas estão associadas ao talo”. Após tal trabalho, esta definição de macroalgas passou a ser amplamente utilizada na literatura (Necchi *et al.*, 1994, 1995, 2000, 2003, 2008, Branco & Necchi, 1996, Sherwood & Sheath, 1999, Verb & Vis, 2001, Krupek *et al.*, 2007, Peres *et al.*, 2008).

Entre as quatro divisões de macroalgas encontradas em ambientes lóticos brasileiros, Cyanobacteria e Chlorophyta aparecem como os grupos com maior riqueza de espécies na quase totalidade dos estudos (Necchi *et al.*, 1991, 1994, 2000, 2003, 2008; Branco & Necchi, 1998; Krupek *et al.*, 2007; Peres *et al.*, 2008). Já Rhodophyta e Heterokonthophyta, apesar de serem

registrados em praticamente todos os levantamentos, raramente ocorrem como grupo predominante (Branco & Necchi, 1996).

A imensa maioria das espécies registradas até o presente no Brasil apresenta uma distribuição em mosaico e restrita a poucos pontos de amostragem (Necchi et al., 2000, 2008; Krupek et al., 2007; Branco et al., 2009). No entanto, a quase totalidade dessas espécies ocorre em várias partes do mundo, não revelando um elevado grau de endemismo (Necchi et al., 2000; Branco et al., 2009).

Na área de influência da UHE Itaocara, foram registradas 29 espécies de macroalgas durante as 4 campanhas realizadas (**Anexo 4.1.8-2**). Cyanobacteria e Chlorophyta foram as divisões predominantes, com 11 espécies cada uma, seguidas por Heterokontophyta, com 5 espécies, e Rhodophyta, com 2 espécies. *Phormidium retzii* foi a espécie melhor distribuída dentro da região estudada, sendo encontrada em todos os pontos de amostragem (exceto o ponto P7). Outras sete espécies (*Microspora wittrokii*, *Spirogyra* sp, *Phormidium aerugineo-caeruleum*, *Oedogonium* sp, *Hydrosera whampöensis*, *Pleurosira laevis*, *Compsopogon leptoclados*) foram encontradas amplamente na região, ocorrendo em 40 a 70% do total de pontos. A maioria das espécies (52% do total), no entanto, teve ocorrência restrita a somente um ponto de amostragem. Nenhuma das espécies de macroalgas encontradas foi considerada como um novo registro para a ciência.

A análise temporal revelou valores muito diferentes de riqueza e abundância entre as campanhas realizadas nos períodos de chuvas e estiagem (**Figura 4.1.8-89**).

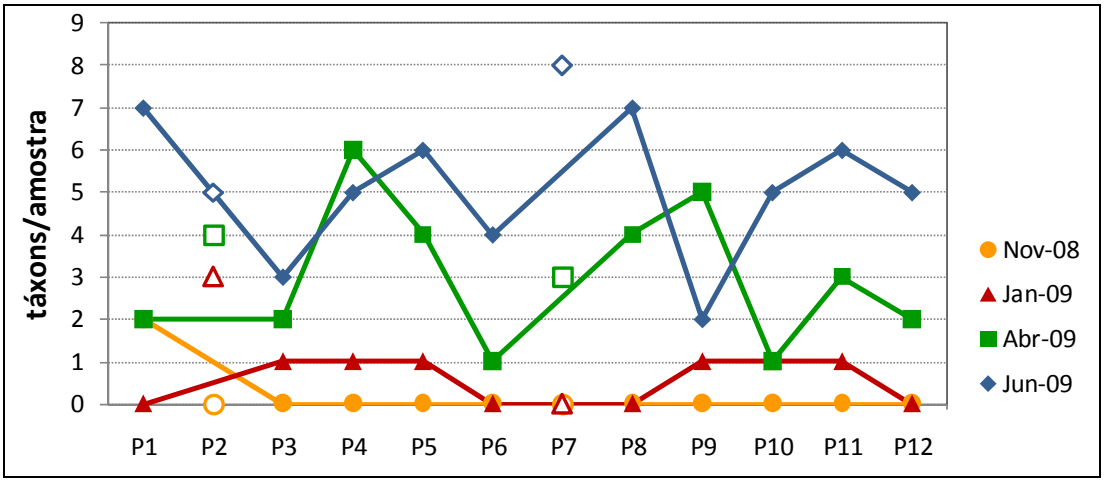


Figura 4.1.8-89 - Riqueza total de macroalgas, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

Nas campanhas do período de chuvas foram registrados valores baixos de riqueza e abundância espécies. Na enchente (novembro-08), foram registradas apenas duas espécies, uma de Cyanobacteria e uma de Chlorophyta, em somente um ponto de amostragem (**Figura 4.1.8-89** e **Figura 4.1.8-90**).

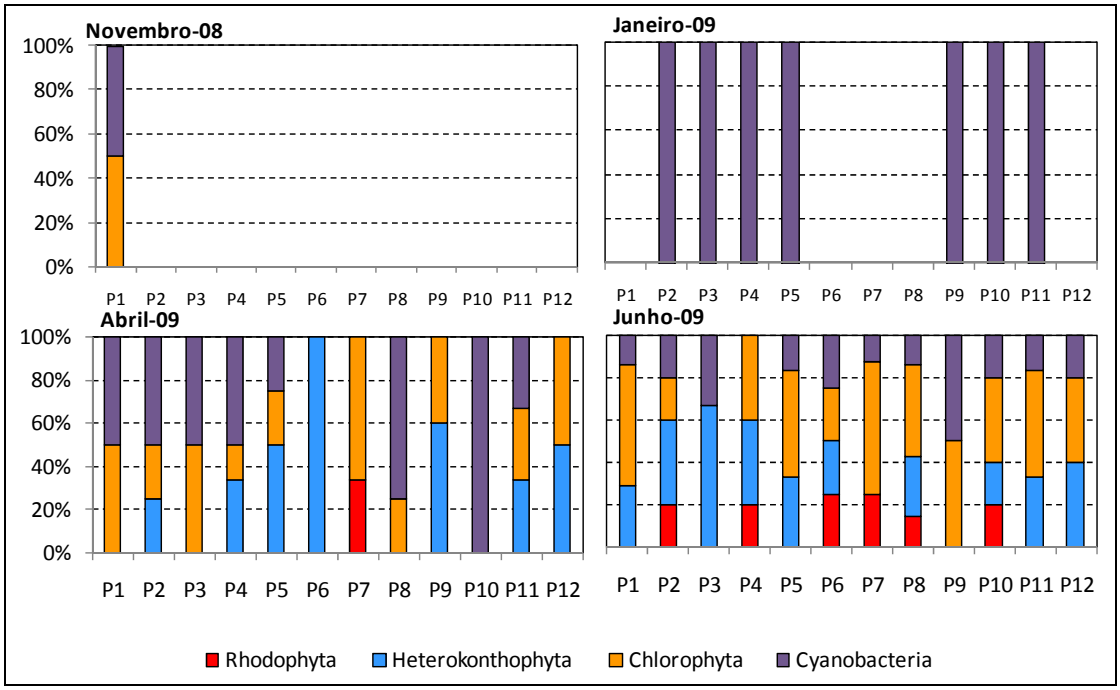


Figura 4.1.8-90 - Contribuição relativa das divisões de macroalgas para o número total de táxons, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

A abundância (percentual de cobertura) observada no ponto P1, na enchente (novembro-08), foi de apenas 0,2% (**Figura 4.1.8-91**). Durante esta coleta, o rio apresentava grande vazão, valores elevados de turbidez (média = 338 NTU) e profundidade de Secchi muito baixa (média = 0,07m). Foi observada, ainda, uma intensa sedimentação de material particulado no substrato disponível para a colonização por macroalgas. A falta de luz, demonstrada por esses valores de alta turbidez e baixo Secchi, aliada à sedimentação, explica a ausência de macroalgas na maioria dos pontos.

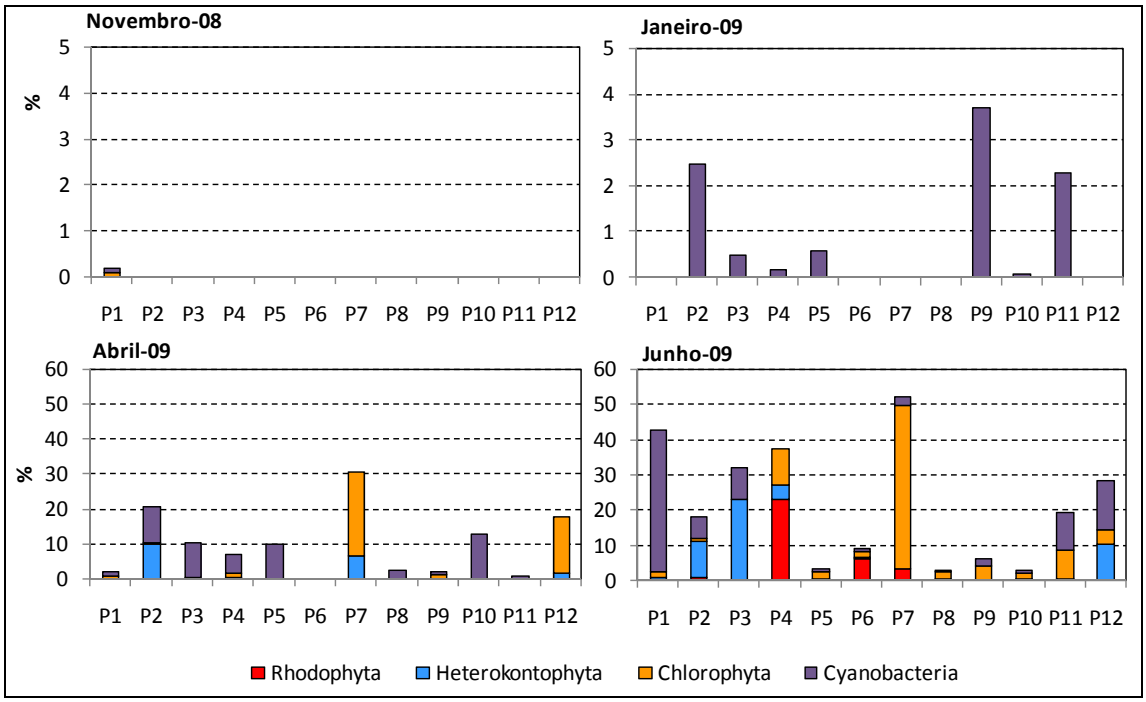


Figura 4.1.8-91 - Abundância (percentual de cobertura) das divisões de macroalgas, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara. Observar a diferença nas escalas entre as campanhas

Na coleta realizada na cheia (janeiro-09), foi registrada riqueza um pouco mais elevada, com quatro espécies de macroalgas ocorrendo em sete pontos de amostragem (**Figura 4.1.8-89**). Os valores de abundância, no entanto, ainda foram baixos, variando entre 0,1 e 3,7% (**Figura 4.1.8-91**), e foram observados apenas representantes da divisão Cyanobacteria (**Figura 4.1.8-90**). Foi observada redução dos valores de turbidez (média = 108 NTU) e aumento da transparência da água (média = 0,12m), o que resultou em maior disponibilidade de luz para a comunidade.

De fato, foi encontrada uma comunidade mais rica em comparação com a primeira amostragem, apesar de formada somente por representantes das Cyanobacteria, as quais foram encontradas invariavelmente muito próximas à margem (no máximo a 50 cm da borda). Nestes locais, a água proveniente do solo da planície de inundação cria habitats com valores menores de turbidez e, conseqüentemente, com maior disponibilidade de luz, possibilitando o desenvolvimento de macroalgas. A presença de apenas espécies de Cyanobacteria é explicada pelo seu sucesso em uma grande amplitude de ambientes, em especial naqueles com condições extremas tanto de nutrientes (Branco *et al.*, 1999) quanto de luz (Sheath & Burkholder, 1985; Branco & Necchi, 1998). Este fato está provavelmente mais ligado à tolerância das espécies deste grupo a ambientes extremos do que à sua adaptação a tais ambientes.

Nas campanhas realizadas durante o período de estiagem foram registrados valores mais elevadas de riqueza e abundância de macroalgas. Na vazante (abril-09), foi observada a presença de macroalgas em todas as estações de coleta, sendo identificados 18 táxons (**Figura 4.1.8-89**). Foi observado o predomínio de cianobactérias nos pontos P1, P2, P4, P8 e P10 (**Figura 4.1.8-90**). A abundância variou entre 0,4 e 31%, com um valor médio de 9% de cobertura (**Figura 4.1.8-91**). Na seca (junho-09), foram registrados valores elevados de riqueza (**Figura 4.1.8-89**) e abundância em praticamente todos os pontos de amostragem, além da predominância de espécies de Chlorophyta na maioria das estações (**Figura 4.1.8-90**).

Durante o período de estiagem, o rio estava com baixa vazão, sendo que em vários pontos o substrato rochoso estava exposto. Os valores de turbidez foram reduzidos (média = 11,9 NTU) e o Secchi estava elevado (média = 0,74m), o que garantiu uma boa quantidade de luz até o substrato. Como esperado, os valores de riqueza e abundância de macroalgas foram maiores e foram encontrados representantes das quatro divisões.

Cabe ressaltar que na campanha de seca (junho-09) foi observada a formação massiva da comunidade em alguns pontos, a saber, P1 (7 espécies, 42,5% de cobertura do substrato), P3 (3 espécies, 32%), P4 (5 espécies 35,4%), P7 (8 espécies, 57,4%) e P12 (5 espécies, 28,2%) (**Figura 4.1.8-91**).

De maneira geral, os valores de riqueza por ponto de amostragem encontrados na área estudada (0 a 8 espécies) estiveram dentro do padrão recorrentemente encontrado em ecossistemas lóticos (1 a 11 espécies em Sheath et al. 1986, Sheath et al. 1989 e Sheath & Cole 1992; 0 a 6 espécies em Branco & Necchi 1996; 1 a 7 espécies em Vis et al. 1994; 0 a 5 espécies em Sheath & Müller 1997; 1 a 9 espécies em Necchi et al. 2003). Da mesma forma, os valores de abundância por ponto de amostragem (0-57%) estão de acordo com o esperado para rios (<1 a 90% em Sheath et al. 1986; <1 a 60% em Sheath et al. 1989; 0 a 100% em Sheath & Cole 1992; <1 a 60% em Necchi 1993; 5 a 85% em Necchi et al. 1994; 1 a 76% em Vis et al. 1994; 0 a 70% em Branco & Necchi 1996; 0 a 75% em Sheath & Müller 1997). Entretanto, é importante salientar que os valores de riqueza e abundância registrado neste estudo foram muito variáveis e dependeram principalmente da época de amostragem.

A predominância de espécies de Cyanobacteria e Chlorophyta em relação aos demais grupos é recorrentemente reportada na literatura, podendo ser considerada um padrão para ambientes lóticos no Brasil (Branco & Necchi, 1998; Necchi *et al.*, 2000, 2003; Krupek *et al.*, 2007; Peres *et al.*, 2008).

Ainda dentro deste contexto, é importante salientar que houve predominância de espécies de Cyanobacteria nas campanhas de cheia (período de alta vazão) e vazante (período de início de baixa vazão), enquanto Chlorophyta predominou na seca (período de baixa vazão). Tal padrão sugere que

as Cyanobacteria são as primeiras macroalgas a ocuparem o ambiente depois que ele é totalmente impactado pelos efeitos da alta vazão (principalmente aqueles relacionados à falta de luz).

A espécie melhor distribuída, *Phormidium retzii*, é uma espécie comumente encontrada em riachos no Brasil e no mundo (Sheath & Burkholder, 1985; Entwisle, 1990; Necchi *et al*., 2003, 2008; Krupek *et al*., 2007; Peres *et al*., 2008). A predominância desta espécie (em termos de ocorrência) foi reportada, por exemplo, em dois grandes levantamentos taxonômicos conduzidos em regiões geográficas amplas: em um estudo envolvendo amostragens em 1.000 riachos dos diversos biomas da América do Norte (Sheath & Cole, 1992) e em um trabalho onde foram investigados 172 riachos em áreas específicas do estado de São Paulo (Necchi *et al*., 2000). Adicionalmente, na maioria dos pontos amostrados, *P. retzii* foi a espécie que apresentou a maior contribuição para as abundâncias globais das comunidades de macroalgas.

As macroalgas da divisão Chlorophyta encontradas na região (*Mougeotia* sp, *Oedogonium* sp e *Spirogyra* sp) só podem ser identificadas em nível específico quando apresentam estruturas reprodutivas. No entanto, foram encontrados somente indivíduos estéreis, o que é bastante comum para ambientes lóticos (e.g. Necchi *et al*., 2000, 2008; Krupek *et al*., 2007).

4.1.8.5.5.1 - Ordenação Espacial e Temporal dos Grupos de Macrolagas

A partir da Análise de Agrupamento (**Figura 4.1.8-92**) baseada na composição florística não foi possível distinguir grupos consistentes de pontos de amostragens ou estações. Entretanto, foi possível a visualização de um grupo formado essencialmente pelos pontos das amostragens do período de chuvas (novembro-08 e janeiro-09).

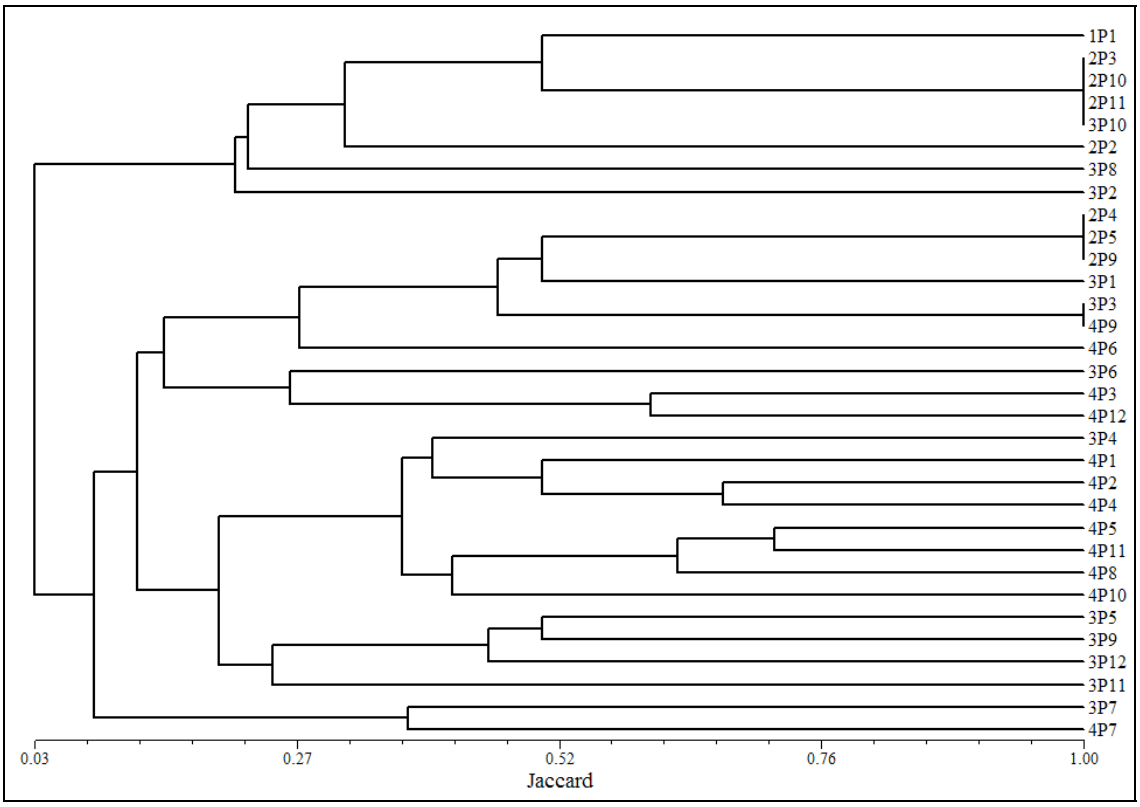


Figura 4.1.8-92 - Análise de Agrupamento baseada na composição florística das macroalgas em cada ponto de amostragem, em novembro de 2008 (1, enchente), janeiro de 2009 (2, cheia), abril de 2009 (3, vazante) e junho de 2009 (4, seca), na área de influência da UHE Itaocara. Índice de Correlação Cofenética: 0.89758

Os resultados revelam um padrão fortemente influenciado pela sazonalidade observada no rio, onde a luz seria determinante no padrão de riqueza e abundância das comunidades de macroalgas. Entretanto, a determinação da composição da comunidade não apresentou este mesmo padrão, conforme o observado na Análise de Agrupamento e no Teste de Mantel.

A Análise de Agrupamento evidenciou um fraco padrão de agregação dos pontos de amostragem, mostrando que a distribuição das espécies de macroalgas na região é, aparentemente, aleatória. O Teste de Mantel (para 5.000 permutações), realizado entre as matrizes de similaridade florística de macroalgas e as características limnológicas da água, mostrou que, apesar de existir uma correspondência significativa entre ambas (r = -0,170; p = 0,004), o valor do r indica baixa correlação. Essa baixa correlação entre características limnológicas da água e a matriz de similaridade florística é freqüentemente encontrada em estudos ecológicos envolvendo comunidades de macroalgas de ambientes lóticos no Brasil e no mundo, como demonstrado no trabalho de Branco *et al*. (2009).

Neste estudo, os autores encontraram, de forma similar ao observado na presente análise, uma falta de relação entre variáveis bióticas e abióticas, além de uma distribuição espacial aparentemente aleatória. Estes resultados foram corroborados por vários dados apresentados na literatura especializada, sugerindo que tal "padrão" de distribuição possa ser universal para estes organismos.

Os baixos índices de similaridade observados na Análise de Agrupamento sugerem que, apesar das comunidades de macroalgas apresentarem baixos valores de diversidade alfa (em cada ponto de amostragem, individualmente), a diversidade beta (entre pontos de amostragem) pode ser alta. Esta inferência indica que os pontos de amostragem possuem, em regra, grande diferenciação, tanto espacial (*e.g.*, entre pontos de amostragem em uma mesma estação) quanto temporal (*e.g.*, mesmo ponto de amostragem em diferentes estações). Neste caso, uma diversidade beta elevada resultaria em uma riqueza global relativamente alta, como observado neste estudo (29 espécies).

Cabe ressaltar que os estimadores de riqueza mostraram os seguintes valores preditivos para a riqueza total da comunidade de macroalgas da região estudada: i) ICE - 53 espécies; ii) Jacknife I - 43 espécies e iii) Jacknife II - 53 espécies. De modo geral, estes valores se aproximam muito do número de espécies efetivamente identificadas.

Em síntese, os padrões de riqueza e abundância de macroalgas na área de influência da UHE Itaocara estão intimamente ligados ao regime hidrológico do rio Paraíba do Sul e seus principais afluentes. Portanto, as mudanças previstas para esta comunidade serão determinadas principalmente pela alteração do regime hidrológico, causado pelo represamento.

Uma das alterações previstas é o aumento do tempo de residência da água e da transparência, o que aumentaria, por conseqüência, a disponibilidade de luz para as macroalgas. Este aumento de luz e a transformação do ambiente lótico em semi-lêntico provavelmente aumentarão os valores de riqueza e abundância de espécies. No entanto, as espécies ficarão restritas às margens, onde existe substrato disponível para a fixação.

As margens do rio Paraíba do Sul apresentam substrato predominantemente arenoso, na maior parte do ano, sendo freqüente a ocorrência de macrófitas, que se tornam um bom substrato para a fixação e o desenvolvimento de macroalgas. O melhor ambiente para o desenvolvimento de macroalgas, no entanto, é o substrato rochoso, que se torna exposto em períodos de baixa vazão. Após a formação do reservatório, a margem será composta de substrato arenoso, com a presença de macrófitas, mas, possivelmente, menor disponibilidade de superfície rochosa. Ocorrerá um aumento de área de margem, que é conseqüência do represamento, com conseqüente aumento

na quantidade de macroalgas, entretanto sem aumentar valores de cobertura percentual. Apesar das alterações na margem, a transparência da água, que é regulada pelo regime de chuvas, tende a ser o mais importante fator regulador da comunidade de macroalgas na área da UHE Itaocara.

A composição florística, que sofreu alterações entre os pontos e período de amostragem, parece ter ocorrência aleatória e não responder às alterações hidrológicas sazonais, como já demonstrado em outros trabalhos (*e.g.* Krupek *et al*., 2007, Branco *et al*., 2009, Peres *et al*., no prelo). Assim, podem-se prever possíveis alterações na composição das comunidades após o represamento da área, porém, tais mudanças também seriam previstas no ambiente natural.

Caso seja removida intensamente a vegetação marginal, uma alteração potencial na estrutura das comunidades de macroalgas da área estudo pode ser inicialmente prevista. Nesta situação, pode haver uma diminuição da representatividade da divisão Cyanobacteria, com conseqüente aumento na ocorrência de representantes da divisão Chlorophyta, uma vez que a atenuação da luminosidade provocada pela vegetação marginal produz uma condição ambiental mais favorável as primeiras do que as últimas.

A espécie de macroalga *Geitlerinema splendidum*, encontrada na campanha de seca (junho-09), no ponto P7, é uma espécie potencialmente tóxica (Cybis, 2006; Fonseca, 2008), podendo, inclusive, invadir os habitats planctônicos. Apesar da presença desta espécie em apenas um ponto de amostragem e do valor de abundância ser baixo (2,6% de cobertura), é importante que a mesma seja monitorada e que os níveis de eutrofização nas áreas onde essa espécie for encontrada sejam mitigados, evitando eventuais florações da espécie.

4.1.8.5.6 - Macrófitas Aquáticas (Item 4.2.1_227 a 233 do TR)

Na região litorânea de ambientes aquáticos continentais encontram-se várias comunidades vegetais desde algas até angiospermas. As macrófitas aquáticas são consideradas um dos principais produtores de matéria orgânica nesses ecossistemas, em razão de suas altas taxas de produção primária e elevada biomassa (Esteves, 1998). Estes vegetais são componentes estruturais de suma importância para ecologia de ambientes aquáticos e marginais. As plantas aquáticas possuem, ainda, importante papel econômico na sociedade. Macrófitas aquáticas podem ser utilizadas na alimentação, na fertilização de solos, na construção civil, entre outros. Em certas condições, porém, podem se tornar um problema. O crescimento excessivo destas plantas pode afetar o uso múltiplo da água, como a recreação, irrigação, abastecimento, navegação e geração de energia.

A riqueza e a biomassa de macrófitas aquáticas são controladas por fatores bem conhecidos, como área disponível para a colonização, química da água, estado trófico (Vestergaard & Sand-Jensen, 2000), morfometria do ambiente (Duarte *et al.*, 1986), grau de exposição ao vento (Chambers, 1987; Hudon *et al.*, 2000), composição do sedimento, turbidez da água e ação de herbívoros. Nos ambientes aquáticos tropicais, de forma geral, as condições climáticas tendem a favorecer o crescimento desses organismos; dentre elas citam-se as altas temperaturas e as intensas radiações solares (Junior, 2003). Adicionalmente, pressões antrópicas podem induzir o aparecimento de condições adequadas para o desenvolvimento desses vegetais, tais como a construção de reservatórios naturais e a eutrofização.

Durante as quatro campanhas de amostragem, foi identificado um total de 90 espécies de macrófitas aquáticas, pertencentes a 33 famílias (**Anexo 4.1.8-2**). Os maiores valores de riqueza foram observados nos períodos de menor nível da água (médias de 11 espécies por ponto na vazante e 12 espécies por ponto na seca). Nestes períodos, há um aumento da área marginal do rio, com conseqüente formação de novas áreas propicias à colonização por macrófitas. Dessa forma, a riqueza de espécies da área de estudo está intimamente relacionada com o nível fluviométrico. Durante o período de chuvas, as riquezas médias por campanha foram de 7 táxons/amostra na enchente (novembro-08) e 9 táxons/amostra na cheia (janeiro-09). Em nenhum dos períodos amostrados foram registradas espécies de macrófitas aquáticas endêmicas.

No rio Paraíba do Sul não foi observado um padrão claro de variação na riqueza de espécies. Valores mais elevados de riqueza foram encontrados nos rio Angu (P2) e rio Pirapetinga (P7) (**Figura 4.1.8-93**). Aproximadamente 10% to total de táxons registrados ocorreu exclusivamente no ponto P7, a saber: *Luffa cylindrica* M. Roem.; *Cyperus rotundus* L.; *Cassia alata* L.; Melastomataceae sp. 2; *Polygonum punctatum* Elliot.; *Polygonum* sp.1; *Eichhornia* sp. 1; *Physalis angulata* L. e *Verbena* sp.. O ponto P7 distinguiu-se dos pontos amostrados no rio Paraíba do Sul por apresentar fluxo de água muito intenso em todos os períodos amostrados. No entanto, a maior riqueza de espécies e a ocorrência de táxons exclusivos devem estar relacionadas com uma maior heterogeneidade das margens e de substratos observada neste ponto (e.g. margem recortada, formação de ilhas e remansos). Segundo Souza (2000), maiores valores de riqueza de macrófitas são encontrados em áreas com maior índice de desenvolvimento de margem.

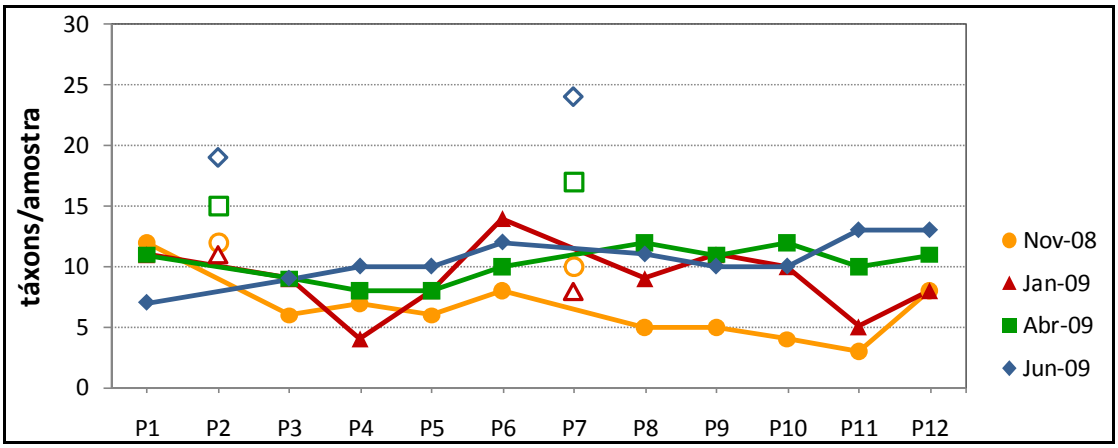


Figura 4.1.8-93 - Riqueza de macrófitas aquáticas, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

As famílias Cyperaceae e Poaceae, que são tipicamente pioneiras, foram as que contribuíram com um maior número de espécies. A oscilação no nível fluviométrico gerou uma variação no tocante às espécies pioneiras (famílias Cyperacea e Poaceae). No início do período de chuvas (enchente/novembro-09), a diversidade destas famílias foi 16 de espécies. Na cheia (janeiro-09), houve uma redução para 10 espécies, quando a elevação do nível do rio pode ter sido suficiente para eliminar macrófitas tipicamente emersas. Na vazante (abril-09), observou-se o acréscimo da diversidade das espécies pioneiras. Já na seca (junho-09), quando houve um aumento da área de margem devido à seca, registrou-se 16 espécies de macrófitas distribuídas entre as famílias Cyperaceae a Poaceae.

Estudos efetuados em região tropical, particularmente no Brasil, têm demonstrado que o período de crescimento e mortalidade das macrófitas aquáticas está muito relacionado com a variação do nível da água (Camargo & Esteves, 1996). Algumas espécies de macrófitas aquáticas apresentam picos de biomassa durante o período de cheia (Piedade et al. 1991), enquanto outras apresentaram redução quando cobertas pelas águas e picos de biomassa durante o período de águas baixas. Neiff (1975) também observou modificações na composição (estrutura e dominância) e na biomassa de macrófitas após o período de cheia. Provavelmente a duração do período de cheia também deve influenciar a composição e as taxas de crescimento das macrófitas aquáticas.

Dentre as espécies encontradas, destacam-se as livre-flutuantes *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia auriculata*, pelo elevado potencial de infestação e por provocar prejuízos aos usos múltiplos de ecossistemas aquáticos. É valido ressaltar que estas espécies estiveram restritas a pequenos bancos em áreas marginais, protegidas da ação do vento. A maior biomassa total de espécies livre-flutuantes, considerando todas as campanhas e pontos amostrados não foi

elevada (≤ 823,30 gPS m^{-2}) quando comparada a dados da literatura (Camargo *et al.*, 2003; Pott & Pott, 2000). Estandes de *Pistia stratiotes* (**Figura 4.1.8-94**) foram observados em quatro pontos ao longo do rio Paraíba do Sul (P3, P9, P10 e P12), em todos os períodos de amostragem. Estandes de *Salvinia auriculata* (**Figura 4.1.8-95)** também estiveram presentes em quatro pontos, sendo três no rio Paraíba do Sul (P3, P9, e P12) e um no rio Pirapetinga (P7). Entretanto, os estandes de *Salvinia auriculata* se mantiveram por todo o ano em apenas em um ponto localizado no rio Paraíba do Sul (P3) e no ponto do rio Pirapetinga. Já os estandes de *Eichhornia crassipes* (**Figura 4.1.8-96**) foram restritos a três pontos no rio Paraíba do Sul (P9, P10 e P12), sendo que em apenas um (P9) o estande se manteve em mais de uma campanha (**Quadro 4.1.8-15** e **Anexo 4.1.8-2**). Em geral, os estandes observados foram pequenos, no entanto o elevado potencial de proliferação destas espécies deve ser considerado. Com o aumento do tempo de residência da água e formação de áreas de remanso após o enchimento do reservatório da UHE Itaocara, haverá a formação de ambientes propícios para a colonização por macrófitas flutuantes.

Quadro 4.1.8-15 – Estandes de macrófitas livre-flutuantes encontrados ao longo do rio Paraíba do Sul e seus tributários durante as coletas realizadas

Espécie	Ponto	Coordenadas Geográficas		Campanhas			
				nov/08	jan/09	abr/09	jun/09
Salvinia auriculata Aubl.	P3	21 48 20.1 S	42 30 13.1 W	x	x	x	x
	P7	21 42 26.4 S	42 16 03.1 W	x			
	P9	21 41 37.6 S	42 09 39.7 W	x		x	x
	P12	21 39 26.2 S	42 03 54.6 W	x			
Pistia stratiotes L.	P3	21 48 20.1 S	42 30 13.1 W	x	x	x	x
	P9	21 41 37.6 S	42 09 39.7 W	x	x	x	x
	P10	21 42 42.7 S	42 08 17.1 W	x	x	x	x
	P12	21 39 26.2 S	42 03 54.6 W	x	x	x	x
Eichhornia crassipes (Mart.)	P9	21 41 37.6 S	42 09 39.7 W		x	x	x
	P10	21 42 42.7 S	42 08 17.1 W		x		
	P12	21 39 26.2 S	42 03 54.6 W	x			

Figura 4.1.8-94 – Estande de *Pistia stratiotes* L., registrado no ponto P3, em abril-09

Figura 4.1.8-95 – Estande de *Salvinia auriculata*, registrado no ponto P3, em junho-09

Figura 4.1.8-96 – Estande de *Eichhornia crassipes* (Mart.), registrado no ponto P12 em novembro de 2008

Apenas uma espécie de macrófita submersa, *Mourera áspera* (**Anexo 4.1.8-2**), pertencente à família Podostemacea, foi encontrada nos pontos amostrados. Esta espécie esteve restrita a apenas três pontos (P4, P6 e P11) e somente à coleta realizada na seca (junho-09), quando a profundidade da zona eufótica foi maior em relação aos demais períodos.

No período de seca, a reduzida turbidez, com maior luminosidade na coluna d'água, somada à menor vazão e turbulência do rio, possibilitam a colonização do ambiente por plantas submersas. Em especial, a espécie *M. aspera*, pertencente à família Podostemacea, encontrou no rio Paraíba do Sul, no período de seca, condições adequadas para o crescimento. Esta família é caracterizada por apresentar formas de resistência nos ambientes, até que apareçam condições ótimas para o desenvolvimento e haja a colonização do substrato.

Após a coleta da seca (junho-09), ao longo de todo o rio Paraíba do Sul, foi verificada a ocorrência de *M. áspera* em quantidade ainda maior (relato de moradores da região). Tal explosão da biomassa de *M. aspera* pode estar relacionada a dois eventos distintos: (i) ciclos naturais da população com variações plurianuais; já que populações naturais tendem a apresentar ciclos com escalas superiores a 5 anos; (ii) o lançamento de endosulfan ocorrido em novembro de 2008.

O contaminante depositado nas águas do rio Pirapetinga gerou conseqüências graves em todo o rio Paraíba do Sul. Após a contaminação pelo endosulfan, foi constatada a mortandade de peixes na região. Esta mortandade de peixes mostra que a substância tem o potencial para desestruturar a cadeia trófica natural do rio, retirando dela consumidores que se alimentam direta ou indiretamente de plantas submersas. A falta do consumidor direto pode, então, ter causado o aumento em biomassa de M. áspera. Para identificar se o aumento da biomassa de M. aspera ocorreu devido a fatores naturais (ciclo populacional) ou a fatores antrópicos (lançamento do endosulfan) é necessário que haja o contínuo monitoramento desta comunidade nos pontos amostrados.

O padrão de variação anual da biomassa das macrófitas aquáticas está normalmente relacionado aos fatores ambientais, entre eles a variação do nível da água, a disponibilidade de nutrientes e a profundidade da zona fótica (Camargo & Esteves, 1996). A variação do nível da água é apontada como um dos principais fatores relacionado à zonação da vegetação e alterações de biomassa (Blom *et al.*, 1990; Menezes *et al.*, 1993).

Segundo Camargo & Esteves (1995), em ambientes aquáticos sem variação significativa do nível da água, são pequenas as mudanças na biomassa de macrófitas aquáticas. A intensidade luminosa é outro importante fator modulador da comunidade de macrófitas aquáticas (Pompêo & Moschini-Carlos 1997). A variação de biomassa nos sistemas estudados, no entanto, não seguiu um padrão sazonal relacionado às alterações na transparência da água. Esta ausência de padrão pode estar relacionada ao fato da disponibilidade de luz afetar principalmente as macrófitas submersas, que estiveram presentes apenas na estação seca.

As maiores biomassas médias foram observadas na estação de chuvas, com 541 gPS/m^2 na enchente (novembro-08) e 466 gPS/m^2 na cheia (janeiro-09). A biomassa média no período de estiagem foi de 387 gPS/m^2 na vazante (abril-09) e 410 gPS/m^2 na seca (junho-09). A variação entre os pontos de amostragem, no entanto, foi muito grande, especialmente no período de estiagem (**Figura 4.1.8-97**).

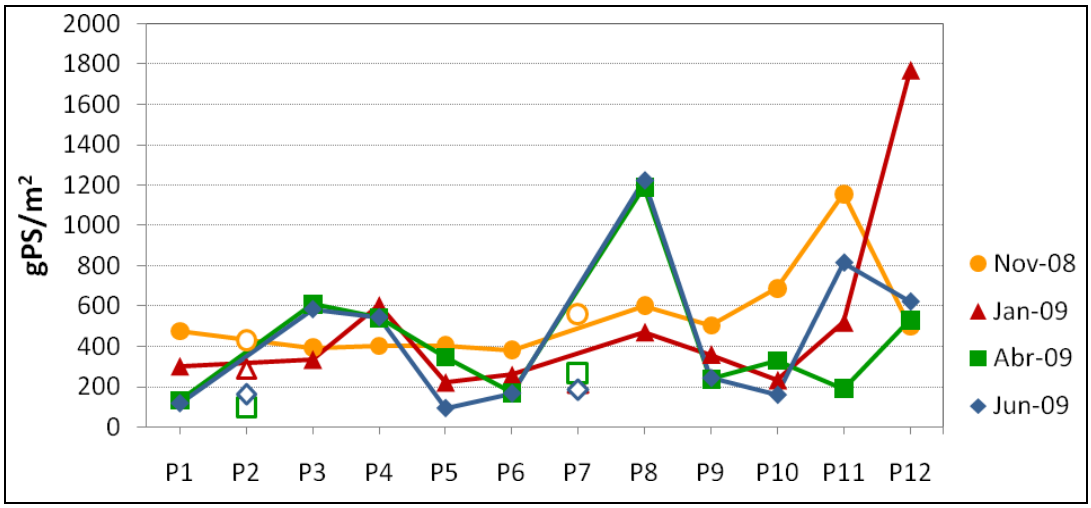


Figura 4.1.8-97 - Biomassa de macrófitas aquáticas, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

Os valores médios de biomassa de macrófitas, para as quatro campanhas realizadas, estão diretamente relacionados às concentrações de fósforo da água (R^2=0,94, **Figura 4.1.8-98**).

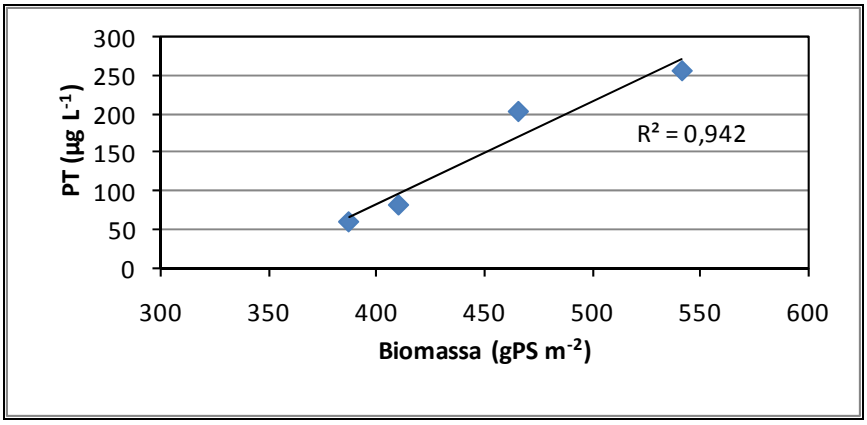


Figura 4.1.8-98 - Correlação entre as concentrações médias de fósforo total (PT) e as biomassas médias de macrófitas aquáticas nas quatro campanhas

Sabendo que as concentrações de fósforo foram em geral elevadas, concluí-se que esse nutriente não foi limitante para a produção primária de macrófitas. O incremento na concentração de fósforo, no entanto, foi responsável pela elevação da biomassa de macrófitas.

4.1.8.5.6.1 - Ordenação Espacial e Temporal das Comunidades de Macrófitas Aquáticas

A Análise de Ordenação Polar (Bray-Curtis) foi utilizada para caracterizar e identificar se a composição florística da comunidade de macrófitas aquáticas seria um indicativo de variabilidade entre os pontos de coleta. Foram utilizados os dados de presença/ausência das espécies que estiveram presentes em pelo menos 15% das amostras, sendo considerados 25 táxons. O índice de distância aplicado foi o de Sorensen e a projeção geométrica dos escores utilizou o modelo "City-block" (McCune & Beals, 1993). A dispersão dos escores é apresentada na **Figura 4.1.8-99**.

Os dois primeiros eixos dessa análise explicaram, cumulativamente, 67% da variabilidade total dos dados. Não foi observado padrão espacial para a ocorrência das espécies de macrófitas aquáticas. No entanto, foi observada uma tendência em relação aos períodos de chuvas (novembro-08 e janeiro-09) e estiagem (abril-09 e junho-09). Este resultado indica certa influência da sazonalidade sobre a composição florística da comunidade de macrófitas aquáticas.

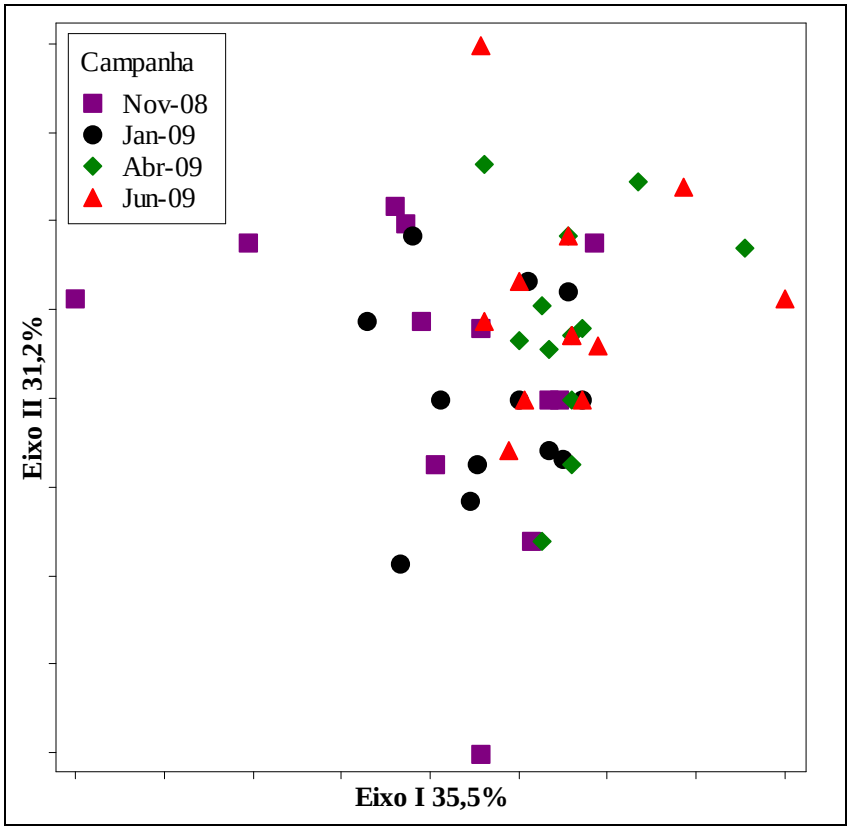


Figura 4.1.8-99 - Diagrama de ordenação da análise de Bray-Curtis considerando composição florística da comunidade de macrófitas aquáticas, em novembro de 2008 (enchente), janeiro de 2009 (cheia), abril de 2009 (vazante) e junho de 2009 (seca), na área de influência da UHE Itaocara

Para avaliar as correlações entre as variáveis ambientais e as composições das comunidades, foi utilizado o teste de Mantel, a partir da comparação das matrizes das variáveis da água com os dados de similaridade florística. O teste de Mantel (para 5.000 permutações), realizado entre as matrizes de similaridade florística de macrófitas e as características limnológicas da água, mostrou que apesar de existir uma correspondência significativa entre ambas (r = 0,100; p = 0,078) o valor do r é baixo indicando uma baixa correlação.

Fica evidente, então, a existência de um padrão sazonal de ocorrência das espécies de macrófitas aquáticas, porém este não se mostrou associado às variáveis ambientais analisadas. Outros fatores, antrópicos ou não, tais como ciclos naturais de variação na comunidade e a entrada de poluentes (*e.g.* "endosulfan") quebram o equilíbrio da cadeia trófica aquática e podem ter influenciado a composição florística desta comunidade vegetal na área de influência da UHE Itaocara.

4.1.8.6 - Considerações Finais

Com base na análise dos resultados obtidos nas quatro campanhas de limnologia realizadas na área de influência da UHE Itaocara, enchente (novembro de 2008) cheia (janeiro de 2009), vazante (abril de 2009) e seca (junho de 2009), é possível tecer as seguintes considerações:

A bacia do rio Paraíba do Sul drena uma das regiões mais desenvolvidas do Brasil, abrangendo partes dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, com uma população urbana total estimada em aproximadamente 5,2 milhões de habitantes (IBGE, Censo 2000). Ao longo da bacia são encontrados aproximadamente 180 municípios, sendo que cerca de 90% deles não contam com tratamento de esgoto. Uma grande carga de efluentes domésticos e industriais é, então, lançada diretamente nos corpos hídricos, sem desinfecção prévia. O lançamento de esgotos sem tratamento nos corpos hídricos gera uma série de impactos diretos sobre a qualidade da água, a saber: aumento do teor de matéria orgânica e da demanda bioquímica de oxigênio (DBO); redução da concentração de oxigênio; aumento na densidade de coliformes termotolerantes; aumento das concentrações de nutrientes (*e.g.* fósforo e nitrogênio); aumento da concentração de sólidos em suspensão, com redução da transparência; alteração do odor e do sabor da água; etc. De fato, de acordo com análises apresentadas no Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, (Fundação COPPETEC 2006), esta bacia apresenta um quadro frágil de qualidade da água. Este quadro foi corroborado pelas análises físicas, químicas e bacteriológicas realizadas na área de influência da UHE Itaocara, em novembro-08, janeiro-09, abril-09 e junho-09. Uma série de parâmetros apresentou, neste estudo, situação de não-conformidade com a legislação

(Resolução CONAMA 357/2000). Com a não instalação do empreendimento e manutenção da condição atual, os impactos sobre os ecossistemas aquáticos tendem a ser mantidos ou, ainda, intensificados com o processo de desenvolvimento econômico e crescimento demográfico na região.

O rio Paraíba do Sul mostrou-se homogêneo ao longo de seu eixo longitudinal nos períodos amostrados. A influência da sazonalidade do ciclo hidrológico é marcante e influenciou as flutuações das principais variáveis limnológicas analisadas. No caso da construção da UHE Itaocara, é esperado o aumento da profundidade e o incremento do tempo de residência. Estas alterações terão implicações nos processos físicos, químicos e biológicos, resultando em maior heterogeneidade espacial.

Não foram observadas diferenças marcantes entre o rio Paraíba do Sul e seus tributários, os rios Pirapetinga e Angu, tanto em termos de qualidade da água quanto em relação à composição da biota aquática.

No trecho estudado do rio Paraíba do Sul, assim como em seus tributários, foi evidente a grande influência que os aportes da bacia de drenagem exercem sobre a transparência e turbidez das águas. Este processo é decorrente, sobretudo, da ausência de cobertura vegetal que minimize o transporte de sedimentos pelas chuvas. A carga de sólidos em suspensão, especialmente durante a estação chuvosa, impõe limitações na disponibilidade de luz e, conseqüentemente, para o crescimento e desenvolvimento dos produtores primários. Os pontos amostrados na área de influência da UHE Itaocara apresentaram turbidez elevada durante os períodos de enchente e cheia, com valores freqüentemente superiores ao limite para águas de Classe 2 definido pela Resolução Conama nº 357/05 (100 NTU).

As águas do rio Paraíba do Sul e de seus tributários mostraram-se bem oxigenadas, com concentrações de oxigênio dissolvido sempre superiores a 5mg/L. As variações sazonais entre os períodos de chuva e seca foram marcantes e estiveram relacionadas aos aportes de materiais alóctones provenientes da bacia de drenagem. Este fato resultou em aumento da DQO e DBO durante a enchente e cheia, quando foram registrados valores acima dos limites estabelecidos pelo Conama nos pontos P5 e P10.

O pH das águas do rio Paraíba do Sul e de seus tributários mostrou-se neutro a levemente alcalino. No caso da construção do empreendimento, ocorrerá o aumento do tempo de residência, que pode resultar em incremento da produção primária e acúmulo de compostos

orgânicos. Assim, apesar dos elevados valores de alcalinidade, possíveis alterações nas taxas de produção primária e de decomposição podem vir a interferir no pH.

O rio Paraíba do Sul, assim como seus tributários, apresentou grande disponibilidade de nitrogênio e fósforo. O nitrato representou, em média, 90% do nitrogênio inorgânico, constituindo-se na principal fonte de nitrogênio para os produtores primários. As concentrações médias de fosfato não foram limitantes à produção primária. Cabe destacar que concentrações de fósforo total superiores aos limites para águas de Classe 2 (Resolução Conama nº 357/2005) foram observadas em todos os pontos durante o período de chuvas (enchente e cheia), evidenciando a influência do aporte alóctone para os sistemas.

Coliformes termotolerantes foram registrados em todos os pontos de coleta durante as quatro campanhas realizadas. A maioria dos pontos amostrados apresentou densidade de coliformes termotolerantes superiores ao limite máximo de 1.000 UFC/100ml, estabelecido para águas de Classe 2, indicando um quadro de intensa contaminação das águas. Em geral, as concentrações foram bastante elevadas (> 10.000 UFC/100ml) especialmente nos pontos P2, P4, P5, P6, P9 e P10, evidenciando o impacto do esgoto produzido pelos municípios localizados às margens do rio Paraíba do Sul.

Vários metais foram detectados na água e no sedimento do rio Paraíba do Sul e seus tributários. Na água, alumínio, ferro, cobalto e cobre foram detectados em concentrações superiores aos limites da Resolução Conama nº 357/2005. Cádmio, níquel, cromo, chumbo e zinco também foram registrados em algumas estações de coleta, na enchente e cheia. Além dos metais pesados mencionados, mercúrio também foi detectado no sedimento, na maioria dos pontos de coleta. O cenário observado no trecho estudado do rio Paraíba do Sul pode ser considerado grave em relação à contaminação por metais pesados, apontando para a necessidade de estudos e monitoramentos ambientais mais detalhados.

Os limites de vários parâmetros estabelecidos pela Resolução Conama nº 357/05 para águas da Classe 2 foram violados. Em geral, violações para turbidez, DBO, fósforo total, coliformes termotolerantes e metais pesados foram registradas em vários pontos de coleta nos períodos amostrados. Baseado nesta informação e nos dados observados, pode-se concluir que o grau de poluição do rio Paraíba do Sul e seus tributários, no trecho da UHE Itaocara, foi elevado, principalmente, nos períodos de chuvas (enchente e cheia).

O prognóstico realizado por intermédio de modelagem e simulação numérica indica que os reservatórios da UHE Itaocara apresentarão comportamentos distintos quanto ao tempo de residência da água. O reservatório localizado à jusante apresentará tempos de residência inferiores a 15 dias nos períodos de chuva e vazante. Dessa forma, o reservatório poderá apresentar características lóticas, com pouca probabilidade de apresentar estratificações térmicas. No período de seca e enchente, será maior a retenção de água no reservatório, com tempo de residência variando entre 15 e 25 dias. Neste período é possível que ocorram eventos de estratificação térmica da coluna d'água. O reservatório à montante apresentará características lóticas durante todo o ano, com tempo de residência inferior a 1 dia, sem possibilidade da ocorrência de estratificações térmicas. Embora o tempo de residência previsto não seja elevado, haverá um certo aumento em relação à fase de rio, com conseqüentes reduções no fluxo de água. As alterações no regime hidrológico de um sistema fluvial para um sistema semi-lêntico ou lêntico interferem nos processos de transporte e sedimentação de sólidos. O incremento nas taxas de sedimentação resulta em acúmulo de nutrientes e aumento na disponibilidade de luz. Estas condições são favoráveis ao aumento da biomassa fitoplanctônica. Em áreas de remanso o acúmulo de nutrientes e a sedimentação do material em suspensão são mais intensos, condições que podem levar à eutrofização água, com proliferação de cianobactérias, muitas vezes tóxicas. Com a formação dos reservatórios, no entanto, ocorrerá um aumento da área alagada, com formação de um maior espelho d'água. Dessa forma, será aumentada a área disponível para trocas gasosas com a atmosfera, o que é especialmente importante na manutenção das concentrações de oxigênio em níveis satisfatórios.

Com a formação do reservatório e a diminuição do tempo de residência da água, o ocorre, ainda, aumento das taxas de sedimentação dos sólidos em suspensão carreados pelos rios. O reservatório passa a funcionar, então, como uma bacia coletora de sedimentos provenientes da área de drenagem. Uma vez que o tempo de residência da água no reservatório de montante será muito baixo, freqüentemente inferior a um dia, as taxas de sedimentação dos sólidos em suspensão devem permanecer semelhantes aos valores do sistema fluvial. No entanto, vale enfatizar que, de acordo com a simulação numérica para os teores de sólidos em suspensão, a média das comparações entre os valores na entrada e na saída do reservatório, para o período de dois anos, revela uma pequena capacidade de retenção de sólidos no reservatório de montante. Já no reservatório de jusante, devido ao maior tempo de residência da água, elevadas taxas de sedimentação de sólidos em suspensão devem ser observadas, especialmente nos trechos iniciais do reservatório. De acordo com a simulação numérica, mesmo nos períodos de grandes cargas de sólidos, a porção mais volumosa do reservatório, próxima à barragem, apresentará concentrações menores de sólidos em suspensão. Isso demonstra a capacidade de retenção de material nesse reservatório, mesmo nos períodos de maior renovação da

massa d'água. A maior retenção de sólidos no reservatório de jusante estará relacionada à depuração do ortofosfato, uma vez que as partículas de sólidos capturam, por adsorção, cargas de fósforo em sua superfície.

O rio Paraíba do Sul transporta uma grande carga de poluentes devido aos lançamentos de efluentes domésticos e industriais com pouco ou nenhum tratamento ao longo de sua bacia. A redução do tempo de residência, com conseqüente incremento nas taxas de sedimentação irá resultar no acúmulo de sólidos, especialmente no reservatório de jusante, que apresenta menor tempo de residência da água. O acúmulo de sólidos será acompanhado pela retenção de poluentes nos sedimentos. Esta retenção de poluentes pode apresentar efeitos negativos sobre as comunidades bentônicas, mas também será importante para a melhoria da qualidade da água do rio Paraíba do Sul à jusante da UHE Itaocara.

Durante os dez primeiros dias após o enchimento dos reservatórios, no entanto, ocorrerá um decaimento dos teores de matéria orgânica. O reservatório de montante, que será caracterizado por um ambiente tipicamente lótico, deve apresentar carga orgânica semelhante àquelas registradas na fase de rio, anterior às obras. A simulação numérica da evolução dos valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) neste reservatório, no entanto, indica que este reservatório apresentará certa capacidade de depuração de cargas orgânicas. O reservatório de jusante, com um maior tempo de residência da água, deve apresentar teores de matéria orgânica menores, especialmente na região próxima à barragem. O aporte de matéria orgânica durante a fase de estabilização do reservatório não deve ser suficiente para elevar os valores de DBO a níveis superiores ao limite estabelecido pela legislação (5 mg/L, Resolução CONAMA 357/2005), com exceção dos trechos iniciais do reservatório nos períodos de alta vazão.

De acordo com a modelagem e simulação numérica para a qualidade da água na fase de estabilização da UHE Itaocara, o reservatório de jusante irá apresentar um cenário crítico recorrente em relação aos teores de oxigênio dissolvido na água. As concentrações deste gás irão variar entre 1 e 8 mg/L, com ocorrência de valores inferiores a 5 mg/L (limite da Resolução CONAMA 357/2005 para águas de Classe 2) no período entre dezembro e maio. Este período corresponde à época de maior vazão, que coincide com os maiores aportes de cargas oxidáveis, como matéria orgânica e nitrogênio amoniacal, que são os principais agentes deplecionadores das cargas de oxigênio dissolvidas na massa d'água. Já para o reservatório de montante, a modelagem e simulação numérica prevêem a manutenção das concentrações de oxigênio dissolvido observadas na fase rio (de 5 a 11 mg/L) para todas as épocas do ano, sem a ocorrência de valores inferiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas de classe 2. Este reservatório tende a apresentar uma importante capacidade de incorporação de oxigênio dissolvido, devido ao aumento da difusão de oxigênio atmosférico na água, o

que é resultado da combinação de dois fatores: preservação das características lóticas no trecho e maior área de contato entre a massa d'água e a atmosfera, pelo novo espelho d'água.

Ainda com relação ao prognóstico para o nível de oxigenação da água, é importante salientar que as simulações não contemplam, no entanto, os processos biológicos relacionados à dinâmica do oxigênio dissolvido na água. Com a redução da turbidez, causada pelo aumento do tempo de residência da água, deverá ocorrer um incremento da produção primária planctônica e bentônica, especialmente no reservatório de jusante. Este aumento na produção primária influenciará positivamente os teores de oxigênio dissolvido na água, especialmente nas regiões próximas às barragens.

A redução do tempo de residência da água no reservatório à jusante, com conseqüente aumento das taxas de sedimentação de sólidos, levará à redução da turbidez da água. A menor turbidez levará a um aumento da produtividade primária, com intenso consumo de nutrientes dissolvidos. Dessa forma, a água do rio Paraíba do Sul à jusante da UHE Itaocara tende a apresentar níveis de turbidez e nutrientes inferiores àqueles observados à montante do empreendimento. Um cenário diferenciado pode ser observado, no entanto, se a tomada d'água no reservatório de jusante for localizada no fundo da coluna d'água. Neste caso, os teores de nutrientes inorgânicos podem ser elevados, devido à intensa decomposição da matéria orgânica no fundo.

O padrão sazonal do ciclo hidrológico descrito para as variáveis limnológicas influenciou a ocorrência das principais espécies fitoplanctônicas. Contudo, as concentrações de nitrogênio inorgânico e de ortofosfato, na maioria dos pontos, apresentaram valores superiores aos considerados limitantes ao crescimento fitoplanctônico (ortofosfato entre 3-5 µg/L e nitrogênio inorgânico dissolvido entre 40-100 µg/L, Reynolds 1997). Em relação aos principais grupos fitoplanctônicos registrados no rio Paraíba do Sul, as cianobactérias estiveram associada aos períodos de menor chuva (vazante e seca), com maior transparência e menor turbidez da coluna d'água. Por outro lado, as diatomáceas, consideradas adaptadas às condições de elevada turbulência e pouca luminosidade (causada pela grande quantidade de material em suspensão) dos ambientes lóticos (Reynolds et al., 1994), estiveram associadas aos períodos chuvoso (enchente e cheia). Deste modo, os dados demonstram que as variações sazonais do ciclo hidrológico, impostas principalmente pelo regime de chuvas, podem influenciar diretamente os fatores controladores da produtividade primária nas estações amostradas.

Na vazante (abril-09), foi observada a dominância de cianobactérias na comunidade fitoplanctônica. Foram registradas densidades elevadas nos pontos P1, P2 e P9, superiores ao

limites estabelecidos pela Resolução Conama nº 357/05. Estas elevadas densidades de células foram decorrentes, sobretudo, da espécie *Synechococcus nidulans*. Até o momento não foi reportada na literatura a produção de toxinas por esta espécie No entanto, cabe destacar que também foram registradas ocorrências de espécies potencialmente produtoras de cianotoxinas, tais como *Cylindrospermorpsis raciborskii* e *Microcystis aeruginosa.*

Durante a implantação da UHE Itaocara, a comunidade fitoplanctônica será diretamente afetada pelas alterações da transparência, turbidez e conseqüente redução da disponibilidade luminosa decorrente do maior aporte e ressuspensão de sólidos na coluna d'água. Os efeitos serão redução da biomassa e substituição de espécies (seleção de espécies adaptadas à baixa disponibilidade de luz).

Na fase de operação da UHE Itaocara, não é esperada grande alteração em termos de composição da comunidade fitoplanctônica em relação à fase fluvial no reservatório de Itaocara II, uma vez que o comportamento do sistema será explicitamente lótico, com tempo de residência inferior a um dia durante todo o ano. De acordo com a simulação numérica para este reservatório, os teores de nutrientes também devem permanecer semelhantes àqueles registrados na fase fluvial. No entanto, é esperada uma redução das concentrações de sólidos em suspensão, especialmente na região próxima à barragem, o que permitirá uma maior disponibilidade de luz na coluna d'água, favorecendo a produção primária e causando um aumento da biomassa fitoplanctônica.

De acordo com a simulação numérica para o reservatório de Itaocara I, o tempo de residência da água será reduzido (inferior a 15 dias) nos períodos de cheia e vazante, compreendidos entre novembro e junho, predominando afeições lóticas. Nestes períodos, a estrutura da comunidade planctônica deve ser semelhante àquela observada na fase fluvial. Já nos períodos de seca e enchente, compreendidos entre junho e novembro, ocorrem cenários de maior retenção de água no reservatório (valores médios de 15 a 25 dias). Poderão, então, ser observadas feições lênticas no reservatório de jusante, especialmente no mês de setembro, quando grandes porções do reservatório ficarão retidas por até 50 dias. Durante este período, a estrutura da comunidade planctônica deve sofrer alteração, com substituição de espécies adaptadas ao sistema turbulento por espécies adaptadas a condições lênticas. Apesar de não serem esperados cenários importantes de estratificação térmica, a predominância florística das diatomáceas e clorofíceas, comum na fase fluvial, deve ser reduzida, ocorrendo um incremento na ocorrência de cianobactérias. A simulação numérica para o reservatório de jusante mostra, ainda, que as concentrações de nutrientes nitrogenados serão baixas e que os teores de fósforo sofrerão redução por adsorção deste nutriente a partículas sólidas em sedimentação. Apesar de as

concentrações de nutrientes nos reservatórios serem inferiores aos limites estabelecidos na legislação, os teores são típicos de sistemas mesotróficos a eutróficos. Dessa maneira, especialmente em períodos de menor tempo de residência da água, a combinação de nutrientes em abundância com a maior disponibilidade de luz causará aumento da biomassa fitoplanctônica. Poderão ocorrer até mesmo florações de cianobactérias, fenômeno comumente observado em reservatórios eutróficos no Brasil (Huszar e Silva, 1999). Estas florações implicam em desequilíbrios ecológicos, tais como a perda da biodiversidade e alterações na rede trófica, além de estarem relacionados à perda de qualidade da água e a problemas ligados à saúde humana.

De maneira geral, a abundância zooplanctônica foi bastante reduzida em todos os pontos. O rio Pirapetinga (P7) apresentou, em geral, densidades um pouco mais elevadas. Os valores médios de densidade foram os mesmos no rio Paraíba do Sul nos períodos amostrados, embora as densidades na enchente (novembro-08) tenham sido mais elevadas. Estas baixas densidades estão de acordo com o esperado para rios, devido ao efeito da descarga. Os protozoários foram o grupo mais importante em riqueza e em abundância em todos os pontos amostrados, em ambos os períodos, com pouca variabilidade espacial e temporal. Os protozoários foram representados principalmente por amebas testáceas, comuns em ambientes lênticos e lóticos de rios e em suas bacias de inundação (Velho & Lansac-Tôha, 1996).

Durante a fase de implantação da UHE Itaocara, os impactos sobre a comunidade fitoplanctônica serão propagados para a comunidade zooplanctônica. A possível redução da biomassa fitoplanctônica certamente terá resposta na biomassa e composição dos herbívoros planctônicos. As prováveis alterações na qualidade das águas também podem afetar diretamente estes animais. A diminuição do oxigênio e/ou aumento da matéria orgânica poderão favorecer espécies de protozoários cilióforos, considerados indicadores de má qualidade da água.

Na fase de operação da UHE Itaocara, não são esperadas grandes alterações da comunidade zooplanctônica no reservatório de Itaocara II, uma vez que as características fluviais serão mantidas. Já no reservatório de Itaocara I, o aumento da biomassa fitoplanctônica representará uma maior disponibilidade da principal fonte de alimento para o zooplâncton, causando um aumento da biomassa zooplanctônica. Com o aumento da biomassa fitoplanctônica, especialmente de cianobactérias, são esperadas alterações qualitativas e quantitativas no zooplâncton. A densidade zooplanctônica deve aumentar, como conseqüência do aumento da disponibilidade da sua fonte de alimento, que é principalmente o fitoplâncton. Especialmente nos períodos de seca e enchente, compreendidos entre junho e novembro, quando o tempo de retenção da água é maior, espécies típicas de ambientes eutrofizados serão favorecidas. Nestes

períodos, quando poderá ocorrer dominância de cianobactérias, os microcrustáceos de maior porte devem ser substituídos por protozoários, rotíferos da família Brachionidae, copépodos de pequeno porte e larvas de insetos. As alterações na composição e densidade do zooplâncton terão efeitos sobre seus consumidores, especialmente alevinos de peixes e macroinvertebrados, levando a modificações no seu papel trófico e nas relações com produtores (fitoplâncton) e consumidores (invertebrados e peixes) na cadeia alimentar.

No rio Paraíba do Sul e em seus tributários não foi observado padrão espacial para a ocorrência dos grupos de macroinvertebrados aquáticos. No entanto, foi observada diferenciação entre os períodos amostrados com relação à distribuição das comunidades bentônicas. Durante a estação seca (junho-09) foi observada uma maior densidade total de macroinvertebrados, especialmente de Hemiptera e Mollusca. Grupos como Trichoptera e Ephemeroptera ocorreram quase que exclusivamente na seca, enquanto que os Crustacea foram exclusivos dos períodos de maior chuva (enchente e cheia). A forte influência da sazonalidade chuva/seca sobre a ocorrência dos grupos da comunidade de macroinvertebrados aquáticos foi evidente.

Não foi observado padrão espacial para a ocorrência dos grupos de macroinvertebrados bentônicos no rio Paraíba do Sul e em seus tributários. No entanto, as comunidades zoobentônicas se distinguiram entre os períodos amostrados. As estações de maior freqüência de chuva (enchente e cheia) foram caracterizadas por uma maior ocorrência de Coleoptera e Anellida, enquanto Mollusca e insetos das ordens Ephemeroptera, Lepidoptera e Odonata predominaram nos períodos menos chuvosos (vazante e seca). Deste modo, assim como observado para os macroinvertebrados aquáticos, a sazonalidade chuva/seca também exerce forte influência sobre a ocorrência dos grupos da comunidade zoobentônica.

Uma vez que macroinvertebrados bentônicos são relativamente sésseis e vivem em contato direto com a coluna d'água, a perda de qualidade da água pode extinguir populações inteiras, em curto espaço de tempo. Durante a fase de implantação da UHE Itaocara, as alterações na qualidade das águas, decorrentes do aumento de carga orgânica ou do lançamento de contaminantes (como óleos e graxas ou metais), podem resultar em alterações na composição e abundância das espécies. Além disso, a alteração do processo de sedimentação de sólidos em função das modificações hidrológicas afetará diretamente a fauna bentônica podendo ser observadas modificações estruturais (diversidade) e funcionais (guilda trófica). Outro impacto sobre a fauna bentônica será a destruição de habitats pela dragagem e/ou alterações no leito do rio durante as etapas de construção das barragens.

Na fase de operação da UHE Itaocara, com a diminuição do fluxo de água, especialmente no reservatório de jusante, organismos bentônicos adaptados a condições de correnteza serão substituídos por organismos adaptados a ambientes mais lênticos.

Os padrões de riqueza e abundância de macroalgas na região da UHE Itaocara estão intimamente ligados ao regime hidrológico do rio Paraíba do Sul e seus principais afluentes. Não foi registrado, durante a análise, nenhuma espécie nova de macroalga ou novo registro para o território brasileiro.

Assim como previsto para a comunidade de macroinvertebrados bentônicos, as alterações na qualidade das águas, decorrentes do aumento de carga orgânica ou do lançamento de contaminantes (como óleos e graxas ou metais) durante a implantação da UHE Itaocara podem resultar em alterações na composição e abundância das espécies de macroalgas.

A redução da turbidez esperada para a fase de operação da UHE Itaocara irá permitir a colonização de áreas mais profundas por macroalgas bentônicas. Haverá, no entanto, perda de substrato rochoso, que é o mais adequado para a colonização por macroalgas. O substrato predominantemente nos reservatórios será arenoso, favorecendo as espécies adaptadas a esse tipo de ambiente, e levando a uma alteração na composição das comunidades bentônicas em geral.

Dentre as espécies de macrófitas aquáticas encontradas na área de estudo, destacam-se as livre-flutuantes Eichhornia crassipes, Pistia stratiotes e Salvinia auriculata, pelo elevado potencial de infestação e por provocar prejuízos aos usos múltiplos de ecossistemas aquáticos. Contudo, a biomassa dessas espécies não foi elevada quando comparada a dados de literatura (Camargo *et al.*, 2003; Pott & Pott, 2000). Cabe ressaltar que a biomassa de macrófitas está diretamente relacionados às concentrações de fósforo da água. Não foram observados padrões espaciais na distribuição e ocorrência das espécies. Contudo, a riqueza e composição florística da comunidade de macrófitas aquáticas da área de estudo está intimamente relacionada com o nível fluviométrico, indicando a influência da sazonalidade do ciclo hidrológico.

A construção da barragem irá alterar o tempo de residência das águas, com a alteração do ambiente lótico para lêntico, retendo nutrientes e sedimentos. O aumento da disponibilidade de luz no reservatório de Itaocara I pode resultar em crescimento acelerado de macrófitas aquáticas, com grande acúmulo de biomassa, especialmente em áreas de remanso. A elevada carga de nutrientes do rio Paraíba do Sul torna certa a proliferação destas plantas,

especialmente de espécies como *Eichornia crassipes*. Caso não seja feita a retirada da biomassa vegetal na área a ser inundada, os nutrientes provenientes da decomposição da vegetação terrestre também poderão contribuir para o crescimento das macrófitas.

As elevadas biomassas de macrófitas, freqüentemente registradas em reservatórios, podem resultar em diminuição das concentrações de oxigênio dissolvido, alterando a qualidade da água, com graves conseqüências sociais, econômicas e ambientais. Além disso, o crescimento excessivo de macrófitas aquáticas pode causar obstrução ou redução do fluxo de entrada de água nas turbinas e criar condições para o crescimento de mosquitos e caramujos transmissores de doenças.

O aumento da produção de macrófitas nas margens dos reservatórios, especialmente da espécie *Eichornia crassipes*, cria um ambiente de água estagnada, propício à proliferação de mosquitos transmissores de doenças, tais como *Aedes* spp, *Anopheles* spp e *Mansonia* spp. Este impacto atuará enquanto houver ambiente propício para o desenvolvimento dos ovos, pupas e larvas dos insetos. Não existe um consenso a respeito da distância que os mosquitos transmissores de doenças são capazes de atingir a partir dos seus criadouros, no entanto é grande a importância deste impacto, visto que a proliferação de mosquitos causa alteração na estrutura trófica do ambiente aquático e, principalmente, está relacionada a problemas de saúde da população.