

**Efeitos dos pulsos de vazão turbinada dos reservatórios do baixo rio Paranapanema (SP/PR) sobre os sistemas de jusante – variáveis físicas, químicas e assembléias zooplanctônicas (Cladocera e Copepoda)**

**Danilo Augusto de Oliveira Naliato**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista – Campus de Botucatu, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas, Área de concentração: Zoologia.

**Orientador: Prof. Dr. Marcos Gomes Nogueira**

**Botucatu – SP**

**Março 2009**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO  
DA INFORMAÇÃO  
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CAMPUS DE BOTUCATU - UNESP  
*BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: Selma Maria de Jesus*

Naliato, Danilo Augusto de Oliveira .

Efeitos dos pulsos de vazão turbinada dos reservatórios do baixo rio Paranapanema (SP/PR) sobre os sistemas de jusante – variáveis físicas, químicas e assembléias zooplancônicas (Cladocera e Copepoda) / Danilo Augusto de Oliveira Naliato. – Botucatu : [s.n.], 2009.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Botucatu, 2009.

Orientador: Marcos Gomes Nogueira  
Assunto CAPES: 20406010

1. Limnologia – Paranapanema, Rio (SP/PR) 2. Ecologia aquática

CDD 574.5263

Palavras-chave: Cladocera; Copepoda; Reservatórios; Rio Paranapanema;  
Variáveis limnológicas

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1: <i>Effects of hydroelectric dams discharge pulses on downstream limnological conditions – a case study in the Paranapanema River (Brazil)</i></b>	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>4</b>
<b>RESUMO</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>6</b>
<b>STUDY AREA</b>	<b>9</b>
<b>METHODS</b>	<b>11</b>
<b>RESULTS</b>	<b>14</b>
<b>DISCUSSION</b>	<b>27</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>31</b>
<b>REFERENCES</b>	<b>32</b>
<b>Capítulo 2: <i>Efeitos dos pulsos diários de vazão sobre as assembleias zooplactônicas: um estudo de caso em hidroelétricas do rio Paranapanema (Brasil)</i></b>	<b>38</b>
<b>RESUMO</b>	<b>39</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>40</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>41</b>
<b>OBJETIVO</b>	<b>46</b>
<b>ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>47</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>47</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>51</b>
<b>SISTEMA B CAP / MONT TAQ</b>	<b>51</b>
<b>SISTEMA B TAQ / MONT ROS</b>	<b>77</b>
<b>DISCUSSÃO</b>	<b>108</b>
<b>CONCLUSÕES</b>	<b>122</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>124</b>

## APRESENTAÇÃO

No Brasil os grandes reservatórios foram e continuam sendo construídos primordialmente para gerar eletricidade. Há previsão da construção de mais 22 grandes hidrelétricas até o ano de 2012, justamente para atender a crescente demanda por energia elétrica. O dimensionamento da produção de energia é calculado para os horários de consumo máximo, que ocorre no chamado “horário de pico”, geralmente entre 18 e 22 h, devido a diversas atividades como a iluminação pública, iluminação residencial, aumento do uso de equipamentos eletro-eletrônicos (chuveiros elétricos, televisores), etc..

Desta forma, o presente estudo procurou investigar os efeitos destes “picos de consumo de energia elétrica” refletidos sobre o funcionamento dos reservatórios, os quais têm que aumentar a vazão da água que passa pelas turbinas para atender a esta demanda. Por exemplo, na usina hidrelétrica de Taquaruçu (rio Paranapanema, SP/PR), durante o horário de pico (ca. 20 h) a vazão turbinada registrada chega a  $2000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , enquanto que, durante a madrugada (4 h) diminui para  $500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . A maneira escolhida para detectar os possíveis efeitos dessas mudanças diárias nas condições hidrodinâmicas, principalmente nas regiões a jusante dos reservatórios, foi através de um estudo ao longo de ciclos nictemerais.

Foram estudados os reservatórios em cascata de Capivara, Taquaruçu e Rosana no baixo rio Paranapanema (SP/PR), buscando entender a influência dos pulsos de vazão e do tipo de reservatório a montante (altura da tomada d'água para as turbinas, tempo de residência, grau de trofia, profundidade) sobre a região a jusante. Analisou-se as características físicas e químicas da água, bem como as assembléias zooplancônicas (Copepoda e Cladocera) na região da barragem e, principalmente, na região a jusante dos reservatórios. As amostragens ocorreram em dois distintos períodos sazonais (verão e inverno).

Em termos da estrutura da dissertação, optou-se pela redação na forma de capítulos (2), sendo o primeiro na forma de artigo científico\* intitulado “*Effects of hydroelectric dams discharge pulses on downstream limnological conditions – a case study in the Paranapanema River (Brazil)*”, o qual apresenta os resultados das características físicas e químicas da água, além da clorofila-a. O segundo capítulo segue um estilo tradicional de redação acadêmica e envolve a análise das assembléias zooplanctônicas, sendo intitulado “*Efeitos dos pulsos diários de vazão sobre as assembléias zooplanctônicas: um estudo de caso em hidroelétricas do rio Paranapanema (Brasil)*”.

\* Escrito sob as normas da revista “Lakes and Reservoirs: Research and Management”

## **Capítulo 1**

*Effects of hydroelectric dams discharge pulses on  
downstream limnological conditions – a case study in the  
Paranapanema River (Brazil)*

Chapter 1: Effects of hydroelectric dams discharge pulses on downstream limnological conditions – a case study in the Paranapanema River (Brazil)

**Abstract:** In order to attend daily peaks of energy consumption the amount of water passing through turbines of hydroelectric plants can significantly vary (up to 3 folds) along a 24 hour period. The aim of this study was to evaluate the limnological effects of hourly variation of hydroelectric discharge on river stretches downstream the dams of Capivara and Taquaruçu Reservoirs. These are the ninth and tenth, respectively, of a cascade of eleven reservoirs built up in the Paranapanema River (Southeast Brazil) for hydroelectric production. Despite being in the same river, the studied reservoirs have conspicuous differences in terms of trophy, water retention time, thermal stratification regime and spillways positions. Capivara is a deeper, high retention and meso-eutrophic system with a hypolimnial discharge (32 m) from 500 to 1400 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. Releases from Taquaruçu, a relatively shallow, low retention and oligo-mesotrophic reservoir, vary between 500 and 2000 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> and are more superficial (7 m). In two periods of the year, winter and summer, profiles of limnological measurements were obtained in the lacustrine (near dam) zones of the reservoirs as well as in the river downstream stretches, but in this case at every 4 hour completing a nictemeral cycle. The results demonstrated that the reservoirs operational schemes - discharge variation, promoted significant differences in the river conditions below the dam, especially in velocity, turbidity, nutrients and suspended (organic and inorganic) solids. It was also observed that the reservoir characteristics, such as depth, thermal stratification and outlet structure are determinant for the below dam limnological and water quality conditions. In case of Capivara, for instance, the low oxygen concentration (< 5.0 mg L<sup>-1</sup>) from bottom layer (hypolimnial release) was transferred to the river downstream stretches during summer.

**Key-words:** limnological variables, reservoirs, dam operation, hourly variation.

Capítulo 1: Efeitos dos pulsos de vazão turbinada sobre as variáveis limnológicas a jusante - um estudo de caso no Rio Paranapanema (Brasil).

**Resumo:** Em muitos reservatórios brasileiros há uma significativa variação diária da vazão turbinada acoplada à variação na demanda no consumo de energia elétrica. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da variação da vazão nas usinas hidroelétricas de Capivara e Taquaruçu sobre as variáveis limnológicas nas regiões adjacentes à jusante. Os reservatórios de Capivara e Taquaruçu são o nono e décimo em uma série de onze reservatórios construídos em cascata no rio Paranapanema (Sudeste do Brasil) para geração de energia elétrica. Apesar de presentes em um mesmo rio, os reservatórios apresentam grandes diferenças de trofia, tempo de residência da água, altura da tomada d'água para as turbinas e processos de estratificação e circulação da água. Capivara é um reservatório profundo, com alto tempo de residência da água, meso-eutrófico, tomada d'água para as turbinas próximas ao hipolímnio, com a vazão variando de 500 até 1400 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> durante um ciclo de 24 horas. Taquaruçu é menos profundo, baixo tempo de residência da água, considerado oligo-mesotrófico, tomada d'água para as turbinas à 7 m da superfície e com a vazão variando de 500 até 2000 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> em um mesmo dia. No verão e inverno, obteve-se dados limnológicos em perfis da coluna d'água na zona de barragem dos dois reservatórios a montante (Capivara e Taquaruçu), e a cada 04 horas, a jusante desses locais, completando um ciclo nictemeral para cada período. Diferenças significativas foram verificadas devido a variação da vazão, principalmente para turbidez, nutrientes totais e sólidos em suspensão (orgânicos e inorgânicos). As características dos reservatórios de montante, como estratificação térmica e altura da tomada d'água para as turbinas foram determinantes para as condições limnológicas encontradas a jusante. Em Capivara, foi verificada estratificação térmica durante o verão e inverno, porém apenas no verão a massa d'água do hipolímnio com características redutoras (O.D. <5.0 mg L<sup>-1</sup>) foi correspondente a profundidade da tomada de água para as turbinas, desta forma, sendo escoada a jusante.

**Palavras-chave:** variáveis limnológicas, tempo de residência da água, mecanismos operacionais, reservatório tropical, velocidade da correnteza



## INTRODUCTION

The construction of reservoirs for hydroelectric production in South America was intensified in the last decades (Tundisi & Matsumura-Tundisi 2003). Brazil has one of the largest hydraulic potential in the world and about 90% of its electricity consumption is provided by hydroelectric plants (ca. 70.000 MW). Dams construction caused major changes in regional fluvial systems and have promoted the creation of large and spatially complex reservoir ecosystems in the tropics (Nogueira *et al.* 1999; Soares *et al.* 2008).

Most hydroelectric plants were constructed in the South and Southeast region of the country, mainly in the high Paraná River basin ( $5 \cdot 10^8 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$  in discharge;  $2.8 \cdot 10^6 \text{ km}^2$  in drainage area), where larger tributary rivers were regulated by dams to supply the most populous and industrialized region of the country (Thomaz *et al.* 2004). These reservoir cascades produce cumulative impacts, changing internally the physical, chemical and biological conditions of the rivers (Tundisi *et al.* 1991; Barbosa *et al.* 1999; Silva *et al.* 2005; Matsumura-Tundisi *et al.* 2006; Jorcin & Nogueira 2005a, b; Jorcin & Nogueira 2008; Nogueira *et al.* 2008).

Straškraba & Tundisi (1999) pointed out that the reservoir cascades should be planned considering the future ecosystem to be formed, as the operational (retention time, level and discharge fluctuation) and limnological (thermal regime, chemical and biological characteristics) conditions of upstream reservoirs have a direct influence on downstream reservoirs and free-flowing river stretches.

Most studies of reservoir limnology have been traditionally focused on the lake formed upstream dam. However, more recently the ecological effects below dams have also been studied. Preece & Jones (2002) showed that the releases of cold hypolimnial waters (Keepit dam) can negatively interfere in the reproduction of native fishes of the Namoi River (Australia). The same phenomenon has been reported by Sato & Sampaio

(2006) for the Três Marias Reservoir in the São Francisco River. Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008) mention that anoxic water masses released from reservoirs can promote phosphorus liberation from downstream sediments. Finger *et al.* (2006) observed that seasonal modification in the river suspended solids exportation by installation of 3 hydropower reservoirs promoted modifications in light penetration in the Lake Brienz (Switzerland), located below, affecting the phytoplankton dynamics.

Comparing two rivers from the same basin, Mokelumne (regulated) and Cosumnes (free-flowing) in California (USA), Ahearn *et al.* (2005) observed that reservoirs interfere in the downstream water quality, as they act as annual sinks for many inorganic and organic chemicals. The authors stressed that changes in flow dynamics have many consequences: (1) riverbeds downstream the dam can become silted in because there are no storm flows to flush them out; (2) due to siltation and bars stabilization, fish spawning habitat downstream the dam can degrade; (3) depending upon dam function and operation, downstream flow can either rapidly fluctuate or be unnaturally stable – both situations can cause a decrease in downstream productivity and biodiversity.

River regulation by dams represent the greatest point-source hydrological interference by humans influencing the full range of flows over time scales from hours to years (Petts & Gurnell 2005). In some cases for the recovery of the river natural conditions below dam it can be necessary as much as 950 km of free-flowing conditions (Stanford & Ward, 2001). According to Ligon *et al.* (1995) a new river management perspective is necessary. The authors stressed the necessity to preserve the physical and hydraulics structure below dams as a major step towards conservation of the biota.

An important point in the evaluation of downstream effects of dams is the position of the spillways, which determines the water layer that will be exported (Kennedy 1999). In conditions of thermal stratification, the water intake can be coincident with distinct strata,

epilimnion, metalimnion or hypolimnion (Tundisi 1988; Straškraba & Tundisi 1999). Besides the water quality below dam different water withdrawn scheme can also affect the reservoir circulation pattern (lacustrine zone) (Tundisi 1994; Casamitjana *et al.* 2003; Ma *et al.* 2008).

The water retention time is another key factor to understand reservoirs stratification, circulation and cascade effects. Deeper and long retention time reservoirs tend to exhibit pronounced thermal and chemical stratification (Straškraba 1999). Two kinds of large reservoirs can be found in Brazil: the ones with high water retention time and generally located upstream the hydrographic basin and the run-of-the-river reservoirs, which retain the water mass for just a short period. Besides the electricity production, the reservoir acting as accumulation systems are important regulators of the water flow for the whole basin (Kelman *et al.* 2002).

In a study comparing two reservoirs nearly located in the State of Rio de Janeiro, Funil and Lages, it was evidenced the effects of distinct water retention time on the limnology structure and functioning (Soares, *et al.* 2008). The reservoir with a higher retention time, Lages (297 days), remains stratified the whole year. Conversely, the Funil Reservoir (10-50 days) stratifies in summer but experiences mixing events in other periods.

In Paranapanema River (SE Brazil), one of the most important tributary of the high Paraná basin, 11 reservoirs were constructed for hydropower purpose – three accumulation reservoirs. The cascade have been studied by several authors, trying to evaluate possible cumulative effects along the system (Sampaio *et al.* 2002; Lansac-Tôha *et al.* 2004; Jorcin & Nogueira 2005-a, 2005-b, 2008; Felisberto & Rodrigues 2005; Nogueira *et al.* 2002, 2006, 2008; Britto & Carvalho, 2006).

The amount of water released from the Paranapanema reservoirs is variable, according to the installed potential and position in the basin. For some of the reservoirs

there is also a significant variation of the amount of water passing through the turbines of the hydroelectric plants along a 24 hour period (up to 3 folds) (ca. 500 to 1500 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>). This operational scheme is necessary in order to attend daily peaks of energy consumption, specially during the evening time (6 to 10 pm).

The possible limnological effects of the daily discharge pulses downstream hydroelectric dams have not been properly analyzed yet. For the studied basin there is only a mention of a marginal erosion process in the Paraná River, below Porto Primavera dam, which could be associated to this “phenomenon” (Souza-Filho 2004).

Episodic Massive death of fish (cage aquaculture) in the lower São Francisco River (NE Brazil) has been attributed to sudden and large variation in withdrawn waters. Due to unexpected torrential rains the releases from Xingó Reservoir change from 2.10<sup>3</sup> to 6.10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. The mortality would be provoked by brain embolism due to the excess of dissolved atmospheric into the water (Carvalho-Filho 2007).

The aim of this study was to evaluate possible effects of hourly discharge from two reservoirs of the Paranapanema River, Capivara and Taquaruçu, on the limnological characteristics of respective below dam stretches. It was investigated the hypothesis that distinct reservoir operational schemes (water retention time, spillways position) as well as morphometry, trophic condition and other limnological features promote differentiated downstream effects.

## **STUDY AREA**

The Paranapanema is one of the main tributaries of the Paraná River, the most important of La Plata Basin, which is the second largest one in South America. The Paranapanema River is 929 km long (East → West) with a watershed 100,800 km<sup>2</sup>. The altitudinal variation of 570 m along the river was exploited for the installation of 11

hydroelectric plants. Most of the Paranapanema River course delimits the border between the States of São Paulo and Paraná, which together computed a population of 50 million inhabitants.

Most Paranapanema hydroelectric production integrates the Interlinked Brazilian Electric System, which manages 96% of the production and transmission (public and private) of the electric power in the country. The mentioned system determines the production of each hydroelectric plant, including daily variations to attend consumption peaks in commercial time (morning and afternoon) but specially in the early evening, when most people come back home.

In this study it was considered the stretch corresponding to the last reservoirs in the Paranapanema cascade (Fig. 1). Some of the reservoirs characteristics are shown in Table 1.

**Table 1.** Characteristics of the studied reservoirs.

	<b>Capivara</b>	<b>Taquaruçu</b>	<b>Rosana</b>
Area (km <sup>2</sup> )	515	80	220
Volume (hm <sup>3</sup> )	10540	672.5	1920
Retention time (days)	150	8.9	21.3
Electric production (MW)	619	526	353
Functioning scheme	Accumulation	Run-of-the-river	Run-of-the-river
Z <sub>max</sub> (m)	50	29	23
Altitude of water level (m) (a.s.l.)	334	284	258
Spillways position (m) (a.s.l.)	302	277	251

The Paranapanema River watershed was originally covered by different vegetal formation, specially by Atlantic Forest, perennial and semi-deciduous and savanna (“Cerrado”). Presently, the landscape is dominated by agriculture (soya bean, corn, wheat and sugar-cane, mainly) and cattle raising activities. The soil economical use, more intensive in the middle basin, promotes a large phosphorus and nitrogen exportation, which has caused an increase in the trophic conditions of some reservoirs (Nogueira *et al.* 2002;

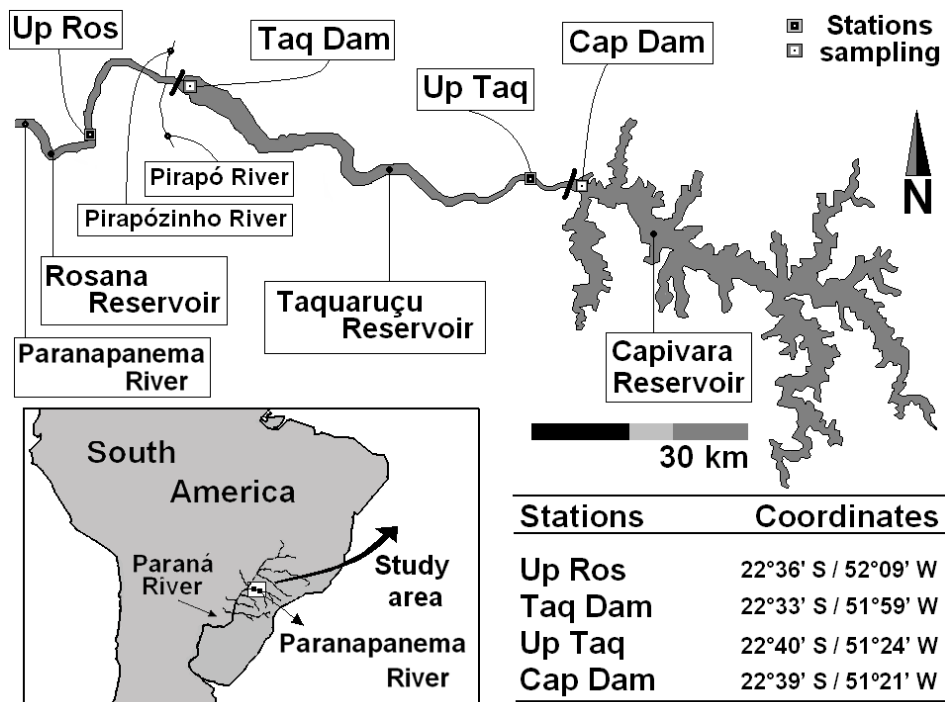
Jorcin & Nogueira 2005a; b). Seasonally there is a marked difference, with a concentration of rains in summer and a dry weather in winter. The annual precipitation in the basin is usually about 1.500 mm.

The Capivara Reservoir is classified as meso-eutrophic and exhibits a strong thermal stratification in summer due to the high retention time and relatively high depth in the central channel. Taquaruçu is a run-of-the-river reservoir, shallow, polimictic (ephemeral stratifications) and oligo-mesotrophic (Nogueira *et al.* 2002; 2006).

## **METHODS**

### **Sampling and laboratorial analyses**

Two river stretches were studied: the lacustrine zone of Capivara (Cap Dam) and the downstream zone below dam (upstream of Taquaruçu Reservoir) (Up Taq) and the lacustrine zone of Taquaruçu (Taq Dam) and the downstream zone below dam (upstream of Rosana Reservoir) (Up Ros). The Up Taq site is located 5 km below Capivara dam. The Up Ros site is located 16 km far from Taquaruçu dam, after the entrance of two important tributary rivers (Pirapó and Pirapozinho), whose mouths were also sampled. The study sites are shown in Figure 1.



**Figure 1.** Study area with the indication of the sampling points in the reservoirs of Capivara and Taquaruçu as well respective downstream stretches. See text for abbreviations.

The fieldwork carried out in summer, February 2005 for the stretch Taq Dam → Up Ros and February 2006 for the stretch Cap Dam → Up Taq, and winter, July 2007 for both stretches.

In the sites below dams (Up Taq and Up Ros) samplings were performed along a nictemeral cycle, at every 4 hour starting in the afternoon. In the sites corresponding to the lacustrine zone of the reservoirs (Cap Dam and Taq Dam) and tributaries (Pirapó and Pirapozinho) single samplings were previously carried out, in the morning of the same day. Table 2 exhibits the sampling times, measured variables and respective methods of analyses.

**Table 2.** Sampling times, variables and methods employed in the study. See text for abbreviations.

Stations	Cap Dam	Up Taq	Taq Dam	Up Ros
Sampling hours - summer	10 h	19, 23, 03, 07, 11, 15 h	09 h	17, 21, 01, 05, 09, 13 h
Sampling hours - winter	17 h	10, 14, 18, 22, 02, 06 h	17 h	10, 14, 18, 22, 02, 06 h
Temperature (Temp)		Multiprobe Horiba U22.		
Dissolved oxygen (D.O.)		Multiprobe Horiba U22.		
pH		Multiprobe Horiba U22.		
Conductivity (Cond.)		Multiprobe Horiba U22.		
Transparency (Transp.)		Secchi disk (20cm)		
Current velocity (Vel.)		Current velocity Flowatch.		
Total nitrogen (T.N)		Unfiltered water; Mackereth <i>et al.</i> (1978)		
Total phosphorus (T.P)		Unfiltered water; Strickland and Parsons (1960).		
Turbidity (Turb.)		Turbidity MS Tecnopon		
Total Suspend Solids (T.S.S)	Gravimetry: Millipore AP20 membranes, Mettler analytical balance			
Organic S. Solids (O.S.S)	Gravimetry: Millipore AP20 membranes, Mettler analytical balance			
Inorganic S. Solids (I.S.S)	Gravimetry: Millipore AP20 membranes, Mettler analytical balance			
Chlorophyll-a (Chl-a)	Membranes AP20, Cold acetone (90%) extract.; Golterman <i>et al.</i> (1978).			

The variables determined with the Multiprobe Horiba mod. U22 were measured at every 0.5 m of the water column. For other measurements it was used samples of water collected with a Van Dorn bottle at every 2 m at Up Taq and Up Ros and at four depths (surface, middle of euphotic zone, end of euphotic zone and near bottom) (Secchi disk estimative) at Cap Dam and Taq Dam. In the tributary rivers only the superficial water was analyzed.

The reservoirs hourly discharge values (superficial and turbines spillways) in  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  were provided by Duke Energy International, the company responsible for the hydroelectric generation. The rain precipitation data were provided by the meteorological station of the State Park Morro do Diabo, located in the municipality of Teodoro Sampaio (SP).



## Statistical analyses

Most data had a normal distribution after transformation using  $\log(X)$  or  $\log(x+1)$ . Even the variables without a normal distribution of the values also had a homogeneous variance distribution (Levene test). Therefore, it was used ANOVA tri-factors to verify the existence of significant differences. It was used as factors: summer and winter periods (GL 1); day periods of high and low discharge (GL 1) and depths in the lacustrine zones (GL3 in Capivara and GL 2 in Taquaruçu).

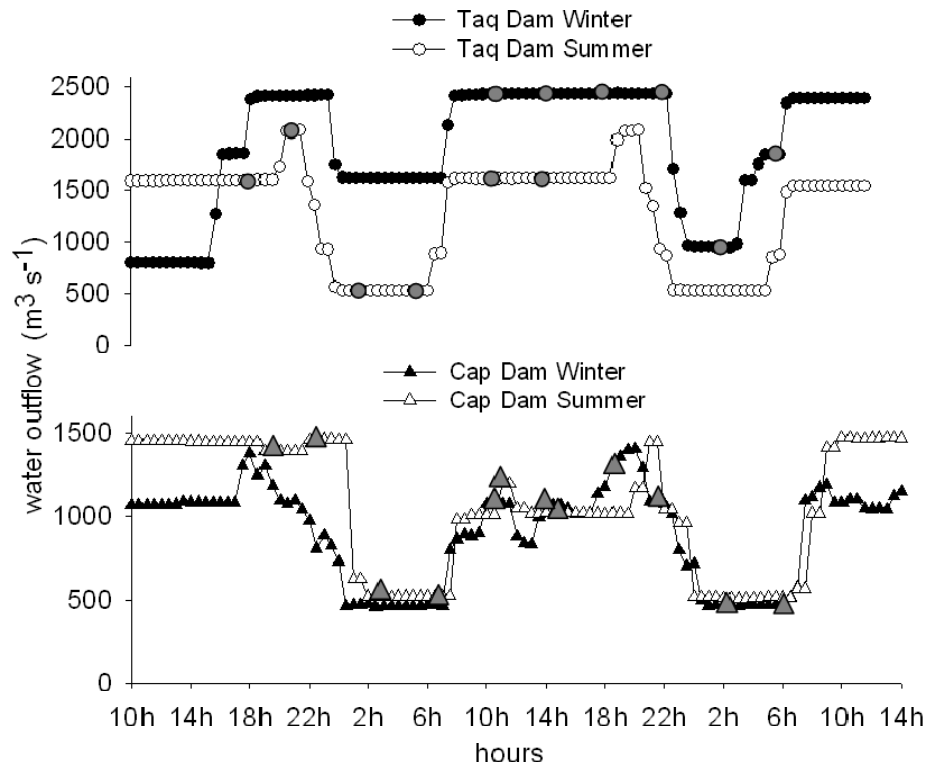
A cluster analysis (Euclidian distance) (Statistic 6.0) was performed in order to identify similarities between the different sampling hours (downstream stretches) and dam zones depths.

For ordination of the data it was used a principal component analysis ("R Development Core Team", 2006). In this analysis it was excluded data from Pirapó and Pirapozinho tributaries, due to discrepancy in linearity, and it was used only the information corresponding to the depth of the spillway position to represent the upstream dam zone.

## RESULTS

The released spillway waters Capivara and Taquaruçu reservoirs varied significantly along the study days in (Fig. 2). Two periods are markedly distinct, daytime and evening, with higher discharges, and late night and dawn, when outflow is lower. In Capivara the values varied between  $500 \text{ m}^{-3} \text{ s}$  to  $1500 \text{ m}^{-3} \text{ s}$ , a 3 fold difference, for both sampling periods (summer and winter). In Taquaruçu the absolute winter values of outflow were higher ( $800 \text{ m}^{-3} \text{ s}$  to  $2500 \text{ m}^{-3} \text{ s}$ ) compared to summer ( $500 \text{ m}^{-3} \text{ s}$  to  $2000 \text{ m}^{-3} \text{ s}$ ), but in this last period the magnitude of the difference along the day (4 fold) was higher than in the

winter (3 fold). In both study periods there was only discharged water from turbines. The reservoirs superficial outlets remained closed.

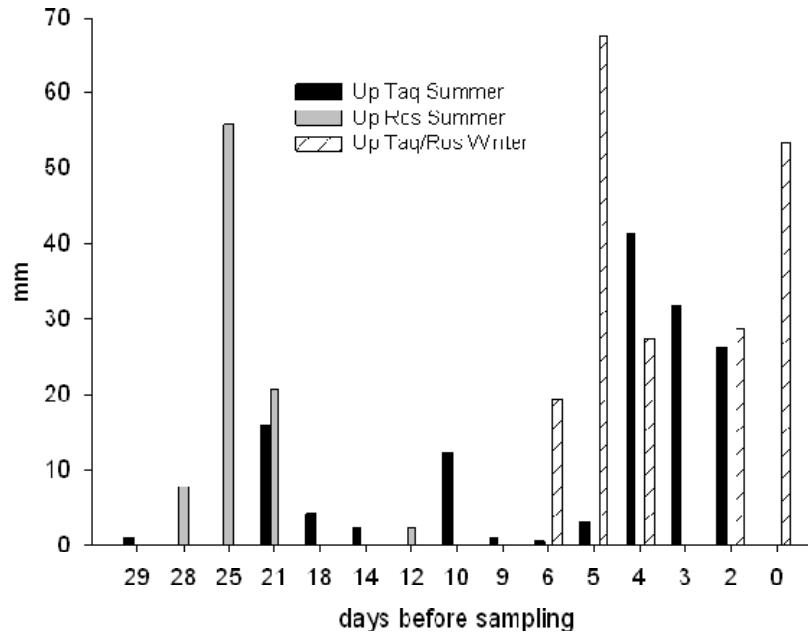


**Figure 2.** Discharge variation from Capivara and Taquaruçu Reservoirs during the study periods. Data correspond to every 30 minutes measurements. Larger gray symbols (circles and triangles) over the plots indicate the below dam sampling times. See text for abbreviations.

Figure 3 shows the rain precipitation along the thirty days before samplings. The values observed in summer are typical for the period computing (accumulated value) 86 mm in Up Ros (February 2005) and 138 mm in Up Taq (February 2006).

In the winter samplings (Up Taq and Up Ros; July 2007), planned to characterized the dry season, anomalous and torrential rains occurred, about 200 mm along the six days before the field work. The level of the reservoirs were not affected, due to an increase in

the withdrawn from Taquaruçu dam, but the study sites were strongly affected by high turbidity, specially in the Up Ros due to the tributaries (Pirapó and Pirapozinho) entrances.



**Figure 3.** Rain precipitation along the 30 days before samplings – February 2005 (Up Ros), February 2006 (Up Taq) and July 2007 (Up Ros and Up Taq). See text for abbreviations.

Tables 3 and 4 contain the limnological data obtained during the study. The values correspond to the means (and standard deviation) among the different sampling depths. Higher differences along the water column were observed in the lacustrine zones of the reservoirs, mainly for Capivara. In the sites below the dams there was the predominance of homogeneous (vertically) conditions.

**Table 3.** Mean values and standard deviation for the water column (different depths) of the limnological variables measured in the lacustrine zone of Capivara Reservoir (Cap Dam) and below dam stretch (Up Taq). See text for abbreviations.

Station	Temp.		D.O.		pH		Cond.		T.N.		T.P.		Chlo-a		T.S.S.		Turb.	
	°C	<i>SD</i>	mg L <sup>-1</sup>	<i>SD</i>	-	<i>SD</i>	µS cm <sup>-1</sup>	<i>SD</i>	µg L <sup>-1</sup>	<i>SD</i>	µg L <sup>-1</sup>	<i>SD</i>	µg L <sup>-1</sup>	<i>SD</i>	mg L <sup>-1</sup>	<i>SD</i>	NTU	<i>SD</i>
Cap Dam Summer	27.86	1.52	7.16	1.05	6.93	0.30	78.00	3.89	567.4	127.5	35.60	6.29	5.20	0.72	8.69	9.63	19.93	22.7
Up Taq Sum. 19h	26.10	0.00	4.56	0.07	5.90	0.00	80.00	0.00	543.2	18.40	27.01	1.62	1.12	0.58	1.99	0.39	6.84	0.60
Up Taq Sum. 23h	26.10	0.00	4.79	0.14	6.31	0.15	80.00	0.00	531.6	48.43	30.61	2.10	1.20	0.58	1.88	0.61	7.96	1.37
Up Taq Sum. 03h	25.40	0.00	4.21	0.03	6.37	0.37	80.00	0.00	498.8	2.72	29.77	2.25	1.76	0.32	1.52	0.30	7.76	0.73
Up Taq Sum. 07h	25.24	0.05	4.26	0.11	6.14	0.53	80.00	0.00	508.9	54.55	26.70	0.37	3.48	2.82	3.07	1.28	7.13	0.22
Up Taq Sum. 11h	27.00	0.00	5.24	0.19	6.05	0.32	80.00	0.00	496.2	53.91	30.88	2.37	2.17	0.23	2.17	0.69	6.36	0.21
Up Taq Sum. 15h	27.01	0.03	5.11	0.10	6.15	0.33	70.00	0.00	654.5	19.90	35.32	3.44	2.51	0.36	2.14	0.72	6.00	0.66
Cap Dam Winter	20.61	0.33	8.04	1.05	5.73	0.22	79.75	4.02	454.9	75.06	22.22	15.2	3.25	2.34	13.29	23.53	16.11	25.3
Up Taq Wint. 10h	20.50	0.00	8.10	0.00	6.23	0.01	78.91	0.54	431.9	18.98	15.87	2.42	2.60	0.60	1.71	0.26	3.90	0.13
Up Taq Wint. 14h	20.55	0.00	8.27	0.05	6.26	0.07	79.91	0.30	367.5	13.91	15.99	2.89	1.68	1.00	1.51	0.08	4.14	0.13
Up Taq Wint. 18h	20.58	0.01	8.48	0.18	6.41	0.05	76.27	0.47	379.5	79.55	14.23	0.94	1.78	0.36	2.40	1.23	4.38	0.94
Up Taq Wint. 22h	20.59	0.00	8.48	0.04	6.32	0.07	76.00	0.00	364.2	23.97	11.58	2.49	2.08	0.24	1.51	0.08	3.91	0.40
Up Taq Wint. 02h	20.53	0.00	8.52	0.04	6.30	0.04	75.10	0.32	323.7	30.23	11.75	2.06	1.71	0.16	3.90	0.62	8.73	1.34
Up Taq Wint. 06h	20.39	0.01	8.20	0.00	6.35	0.02	76.00	0.00	292.7	7.65	14.56	0.52	1.89	0.21	2.13	0.12	5.82	0.38

**Table 4.** Mean values and standard deviation for the water column (different depths) of the limnological variables measured in the lacustrine zone of Taquaruçu Reservoir (Taq Dam), below dam stretch (Up Ros) and tributaries (Pirapó and Pirapozinho). See text for abbreviations.

Station	Temp.		D.O.		pH		Cond.		T.N.		T.P.		Chl-a		T.S.S.		Turb.	
	°C	<i>SD</i>	Mg L <sup>-1</sup>	<i>SD</i>	-	<i>SD</i>	μS cm <sup>-1</sup>	<i>SD</i>	μg L <sup>-1</sup>	<i>SD</i>	μg L <sup>-1</sup>	<i>SD</i>	μg L <sup>-1</sup>	<i>SD</i>	mg L <sup>-1</sup>	<i>SD</i>	NTU	<i>SD</i>
Taq Dam Summer	27.17	0.61	8.28	0.54	7.25	0.08	73.25	0.50	426.9	150	24.37	13.21	3.82	1.92	2.50	0.28	10.1	0.75
Pirapó river Sum.	26.50	-	9.05	-	7.25	-	103.0	-	891.4	-	81.32	-	3.93	-	39.3	-	67.4	-
Pzinho river Sum.	26.60	-	8.88	-	7.05	-	69.0	-	494.5	-	31.02	-	-	-	23.9	-	-	-
Up Ros Sum. 17h	27.67	0.30	8.60	0.47	7.19	0.04	76.50	1.52	441.4	83.1	19.74	4.21	2.27	0.67	6.31	5.49	15.4	3.24
Up Ros Sum. 21h	28.02	0.04	8.63	0.16	7.16	0.16	74.17	1.17	376.4	173	10.40	4.53	1.88	1.10	6.40	4.08	13.9	2.05
Up Ros Sum. 01h	28.00	0.02	8.34	0.21	7.38	0.03	73.33	1.75	411.7	91.1	10.56	1.60	2.34	0.42	3.58	1.50	9.79	0.91
Up Ros Sum. 05h	27.80	0.02	8.12	0.06	7.32	0.06	76.33	2.25	598.2	48.4	14.82	4.69	2.34	0.31	2.52	0.55	10.5	1.10
Up Ros Sum. 09h	27.66	0.05	8.41	0.16	7.21	0.07	76.17	0.41	476.5	79.0	14.92	2.51	1.91	0.57	3.22	1.15	11.6	0.57
Up Ros Sum. 13h	27.89	0.19	8.05	0.15	7.10	0.09	73.00	2.19	466.4	78.8	12.62	2.58	2.32	0.78	3.90	1.23	11.3	1.15
Taq Dam Winter	20.04	0.05	8.54	0.07	6.80	0.05	74.74	0.62	459.3	24.0	11.15	1.43	1.55	0.21	1.65	0.22	6.40	0.27
Pirapó River Wint.	18.71	-	9.30	-	6.78	-	88.00	-	1252	-	98.88	-	12.7	-	181.9	-	664.8	-
Pirapozinho River Wint.	18.68	-	8.20	-	5.94	-	42.00	-	533.9	-	36.01	-	5.30	-	34.8	-	97.1	-
Rosana Winter 10h	19.21	0.00	9.09	0.03	7.05	0.00	85.31	0.62	533.7	13.6	25.00	2.52	2.64	0.23	24.1	6.80	45.7	4.59
Rosana Wint. 14h	19.34	0.04	9.02	0.04	7.16	0.01	79.19	0.40	597.1	56.1	31.03	2.50	6.05	2.10	52.4	23.05	129	94.9
Rosana Wint. 18h	19.57	0.01	9.10	0.00	7.39	0.02	72.97	0.19	646.3	100	31.64	3.59	4.28	0.94	57.0	27.27	134	95.5
Rosana Wint. 22h	19.43	0.01	9.03	0.10	7.29	0.05	73.00	0.00	628.6	75.5	36.88	4.68	3.58	1.61	59.2	22.62	133	85.3
Rosana Wint. 02h	19.33	0.02	8.92	0.05	7.28	0.02	74.32	0.48	591.8	35.6	29.87	3.29	5.05	1.38	41.3	16.80	78.1	12.2
Rosana Wint. 06h	19.21	0.01	9.10	0.12	7.22	0.06	75.00	0.00	543.2	20.1	27.06	2.32	3.32	0.47	32.0	4.20	69.8	2.11

The following variables exhibited significant differences along the analyzed nictemeral cycles for both reservoirs: discharge, dissolved oxygen, electric conductivity, turbidity, total nitrogen, total phosphorus, total suspended solids, inorganic suspended solids and organic suspended solids. The water velocity was significantly different only at Up Taq (Tab. 5).

In relation to the seasonal sampling periods (summer and winter) the differences were significant for temperature, dissolved oxygen, turbidity, total nitrogen and total phosphorus, for both reservoirs (Tab. 5). The water velocity and total suspended solids were significantly different only at the sampling station Up Ros.

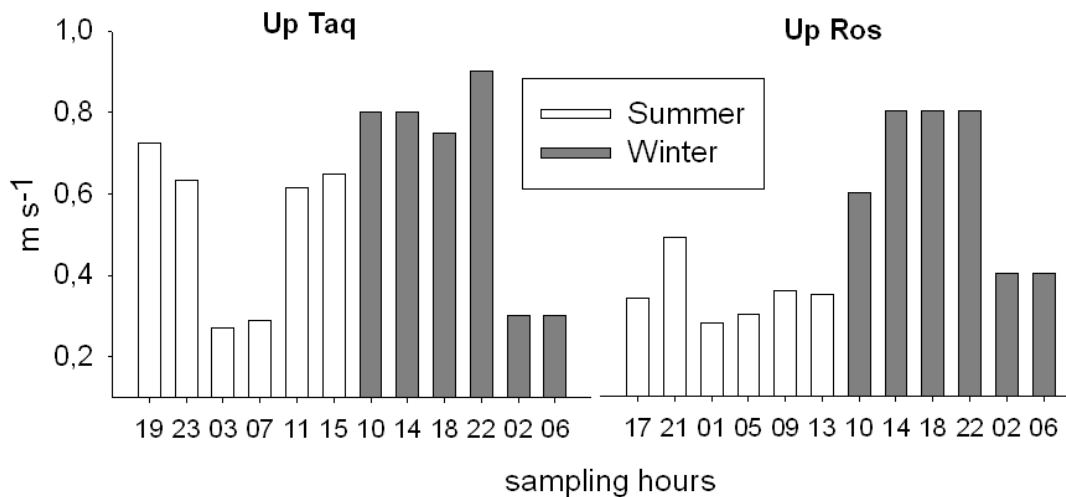
Among the sampling depths of the reservoirs lacustrine zones, only inorganic suspended solids at Cap Dam ( $f=22.43$ ;  $p<0.04$ ) and organic suspended solids at Taq Dam ( $f=14.02$ ;  $p<0.02$ ) exhibited significant differences.

**Table 5.** Anova ( $f$  e  $p$ ) results for the limnological variables measured in the downstream stretches from Capivara and Taquaruçu Reservoirs dams, sampling stations Up Taq and Up Ros, respectively. Significant differences in bold. See text for abbreviations.

Variable	Up Taq				Up Ros			
	Day Time		Seasonal Period		Day Time		Seasonal Period	
	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>f</i>	<i>p</i>
Discharge	17.98	<b>0.00</b>	1.60	0.26	86.97	<b>0.00</b>	0.16	0.69
Velocity	6.71	<b>0.02</b>	0.32	0.59	1.43	0.25	36.68	<b>0.00</b>
Temperature	0.92	0.41	31.91	<b>0.00</b>	0.02	0.97	4758	<b>0.00</b>
Dissolved Oxygen	4.20	<b>0.03</b>	9.60	<b>0.00</b>	3.61	<b>0.05</b>	52.89	<b>0.00</b>
pH	0.14	0.86	1.58	0.22	0.40	0.67	0.48	0.50
Conductivity	10.5	<b>0.00</b>	1.0	0.32	11.8	<b>0.00</b>	0.50	0.49
Turbidity	418.57	<b>0.00</b>	11.18	<b>0.00</b>	155.48	<b>0.00</b>	11.12	<b>0.00</b>
Total Nitrogen.	29.97	<b>0.00</b>	30.04	<b>0.00</b>	5.74	<b>0.01</b>	67.72	<b>0.00</b>
Total Phosphorus	23.99	<b>0.00</b>	15.49	<b>0.00</b>	6.12	<b>0.01</b>	32.97	<b>0.00</b>
Chlorophyll	32.85	<b>0.00</b>	0.05	0.82	25.41	<b>0.00</b>	0.07	0.79
Total Susp. Solids	170.88	<b>0.00</b>	0.34	0.56	3.63	<b>0.05</b>	31.25	<b>0.00</b>
Org. Susp. Solids	93.13	<b>0.00</b>	0.29	0.59	59.13	<b>0.00</b>	0.19	0.66
Inorg. Susp. Solids	172.83	<b>0.00</b>	0.78	0.38	151.96	<b>0.00</b>	0.90	0.36

Higher values of water velocity were registered in the downstream zones during the afternoon and specially in the early evening measurements. Nictemeral differences were

statistically significant at the station Up Taq (Fig. 4). Seasonally, the velocity was higher in winter, especially at Up Ros. This is directly related to the influence of the atypically strong rain precipitation and discharge increase that occurred in this sampling period.



**Figure 4.** Variation of s water velocities at Up Taq and Up Ros sampling stations during winter and summer periods. See text for abbreviations.

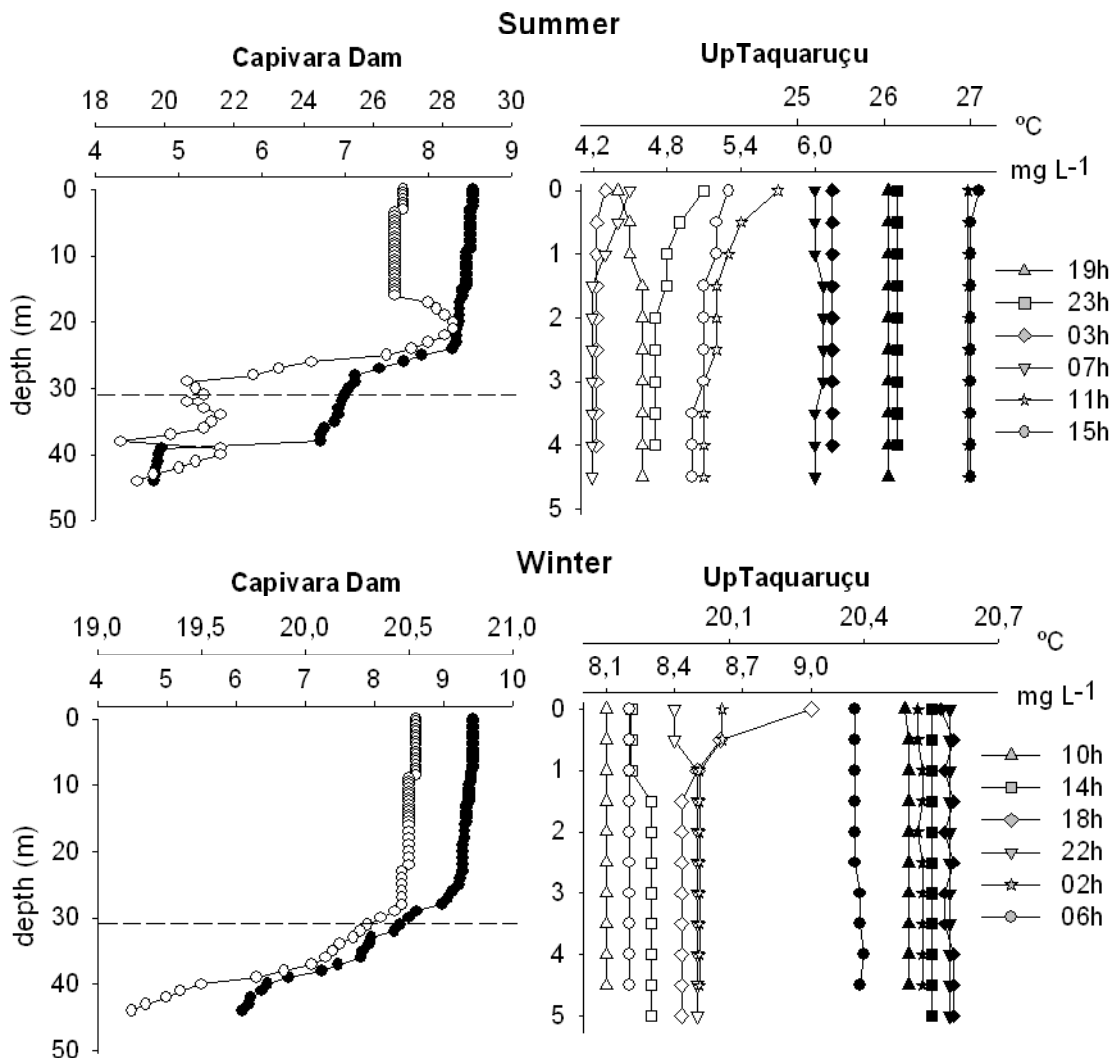
The values of temperature and dissolved oxygen in the downstream stretches (Up Taq and Up Ros) were similar to the ones corresponding to the dam zones depths where the water is taken to the turbines. This is particularly evident for Capivara/Up Taq stretch.

At the station Cap Dam the difference between surface and bottom temperature reached 9°C in summer and an oxycline was detected above the layer corresponding to the turbines position. More than 4 mg L<sup>-1</sup> difference of oxygen was observed along the water column. Low concentration of this gas was also observed in the downstream stretch (Up Taq), specially in the late evening (3 a.m.) and early morning. The same tendency was seen for the temperature. In the afternoon and after the discharge peaks the downstream concentrations of oxygen were higher (Fig. 5). In winter the water temperature was vertically homogeneous, only 1°C difference. However an oxycline was observed below

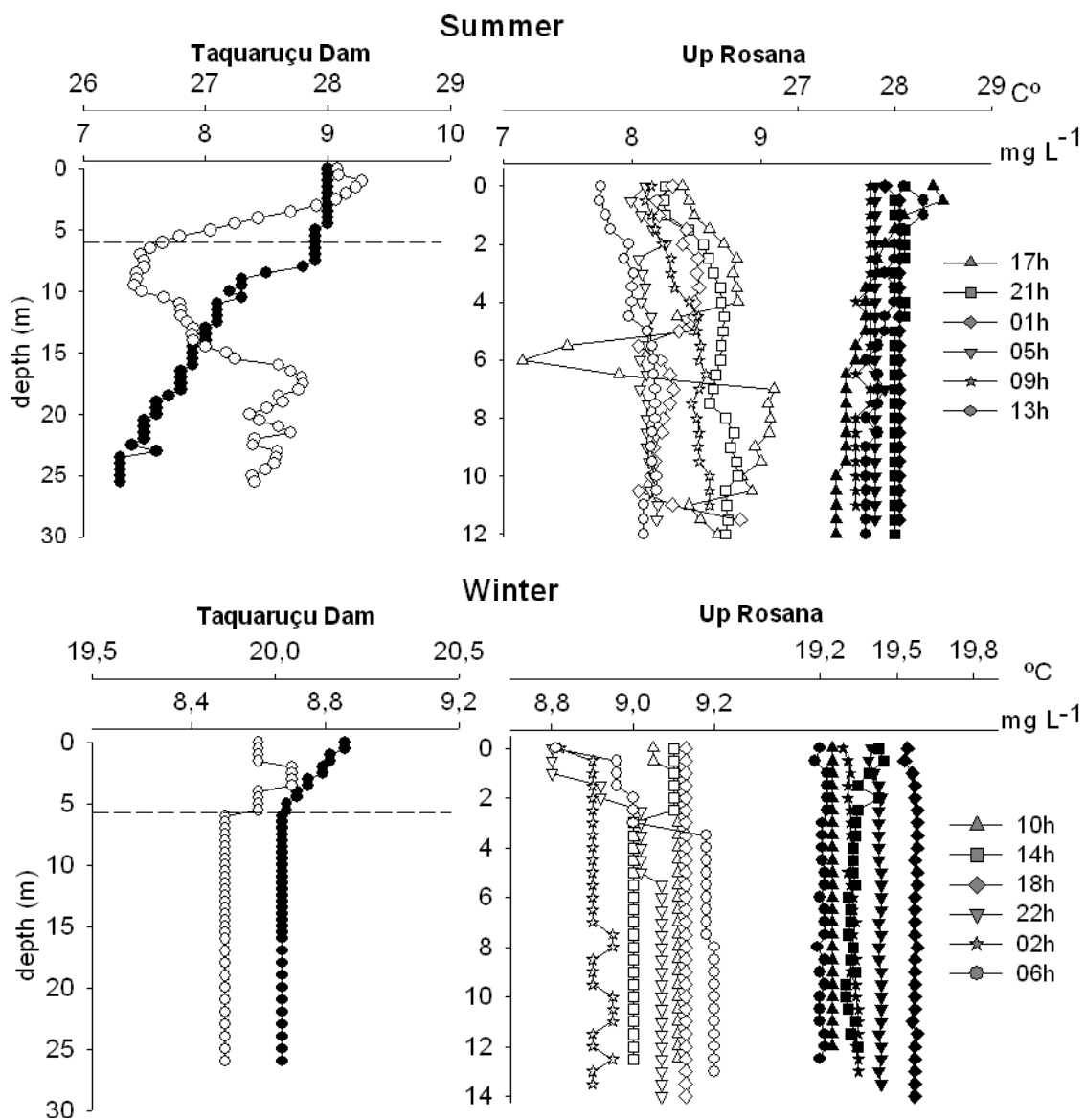
the withdrawal line, with low values near the bottom. Downstream oxygen values were always high, but with minor increases in higher discharge periods (Fig. 5).

At the station Taq Dam there was stratification only in summer. A decrease in the oxygen concentration occurred in the intermediate layers (5 to 15 m). In periods of lower discharges the downstream values of dissolved oxygen were slightly lower. Temperature below the dam tended to increase in periods of higher water discharges (Fig. 6).



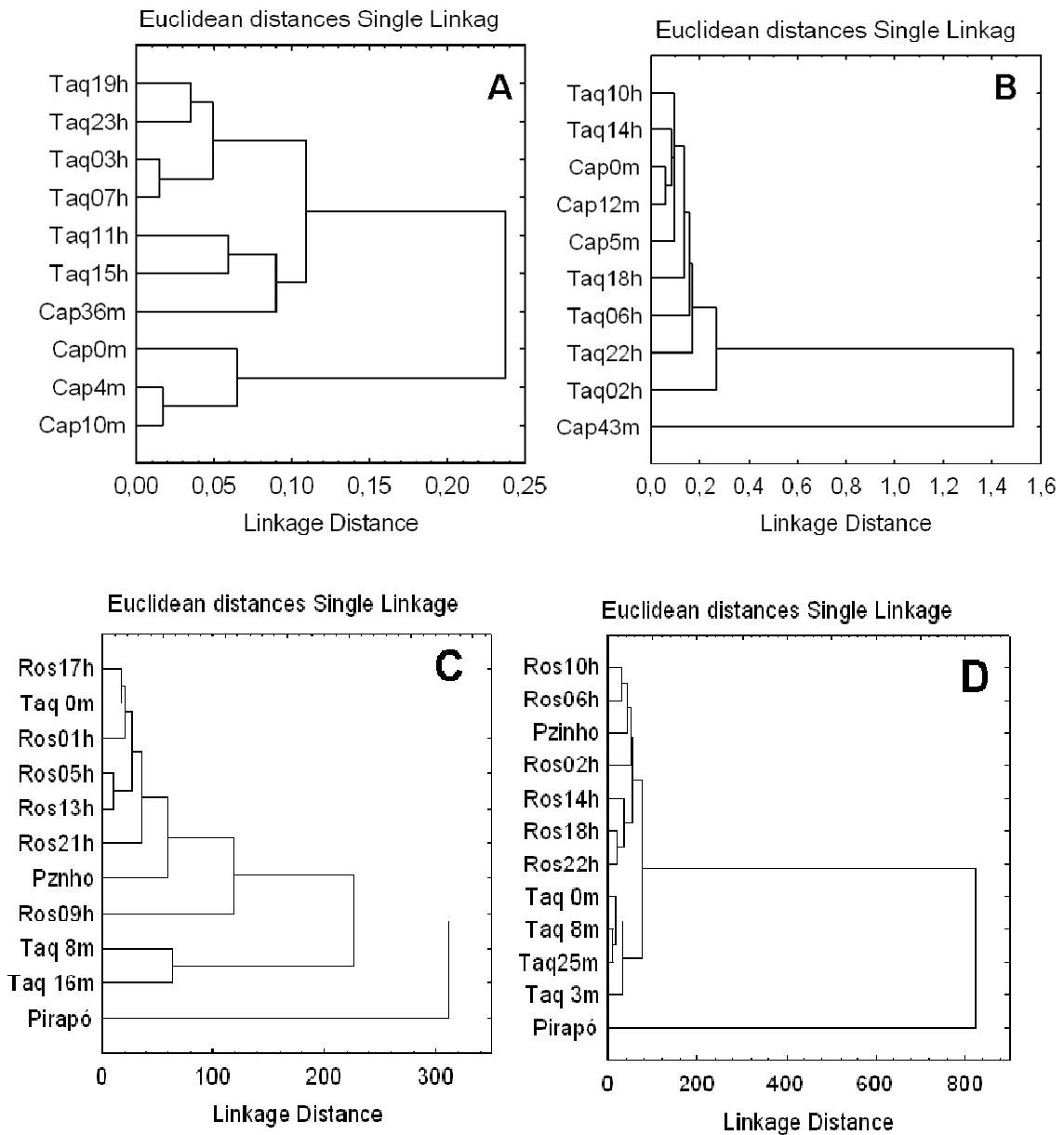


**Figure 5.** Vertical profiles of water temperature, dissolved oxygen at the sampling stations Cap Dam and Up Taq (nictemeral variation) in summer and winter. Clear symbols indicate dissolved oxygen; dark symbols indicate temperature; dotted line indicates withdrawal line for turbines. See text for abbreviations.



**Figure 6.** Vertical profiles of water temperature, dissolved oxygen at the sampling stations Taq Dam and Up Ros (nictemeral variation) in summer and winter. Clear symbols indicate dissolved oxygen; dark symbols indicate temperature; dotted line indicates withdrawal line for turbines. See text for abbreviations.

The graphical results of the cluster analyses are shown in Figure 7. The Cap Dam bottom layer is more similar to the below dam stretches (Up Taq) than to the superficial layers of the same water column. This is noticeable for the summer period. For the Taq Dam/Up Ros stretch the analyses show that superficial water of Taq Dam are better associated to the downstream stretches during summer. For the winter analyses there was a conspicuous separation of the Pirapó River, which was highly influenced by the mentioned atypical strong rains.

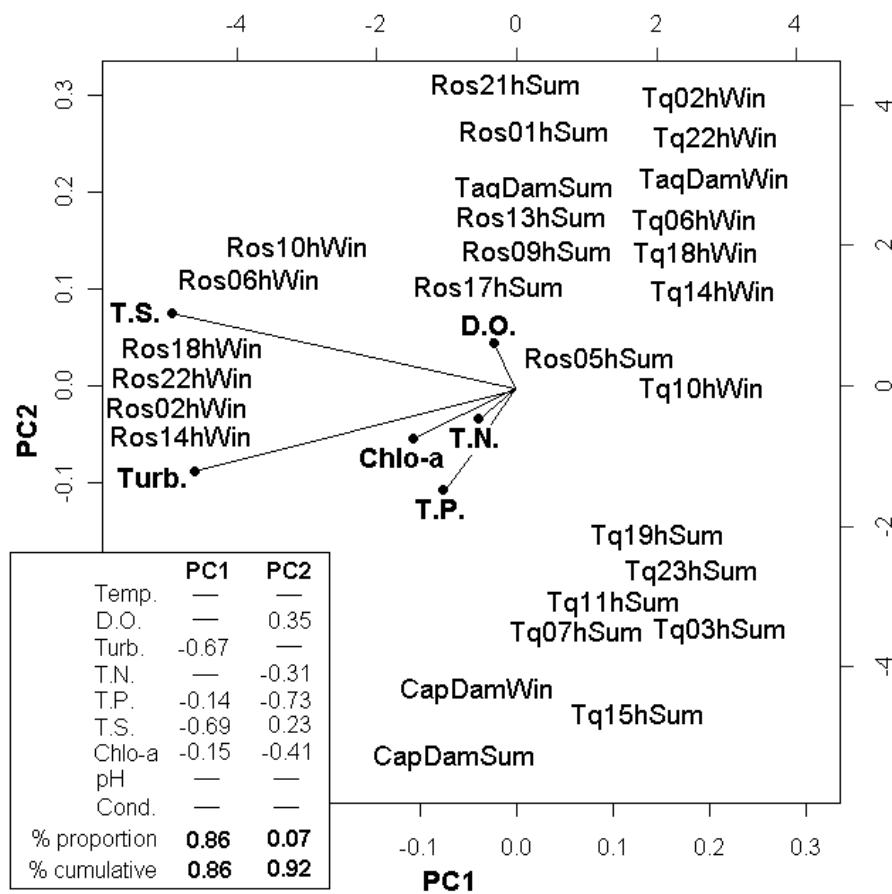


**Figure 7.** Graphical results of the cluster analyses among different sampling stretches (dam/below dam), depths (dam) and day times (below dam). A: Cap Dam and Up Taq summer; B: Cap Dam and Up Taq winter; C: Taq Dam and Up Ros summer; D: Taq Dam and Up Ros winter. See text for abbreviations.

The PCA analysis (Fig. 8) had high variance explicability - 86% in the first component. Temperature, pH and electric conductivity exhibited low correlations and were not graphically represented.

The stretch Up Ros was negatively positioned in the first component during the winter (high concentrations of suspended solids, turbidity, chlorophyll, phosphorus and nitrogen). This reflects the strong influence of tributaries entrance below dam during storm events, as the Taq Dam remained in the opposite side of the same component. Conversely, in the summer period the downstream stretch (Up Ros) was nearly located to the Taq Dam.

In relation to the other studied area (Cap Dam/Up Taq), the dam zone was positioned in the negative side of the first component and the downstream stretch in the positive side, for both periods. However in winter the below dam stretch is even more separated from dam, being located in the positive side of the second component (higher oxygen concentration).



**Figure 8.** Graphical results (biplot) of the PCA analysis considering the limnological variables in the different sampling points and periods. See text for abbreviations.

## DISCUSSION

Several studies have demonstrated that the series of reservoirs constructed in the Paranapanema River, southeast Brazil, has rapidly and deeply changed the fluvial conditions and, as a consequence, the biota composition and organization (Nogueira 2000, 2001; Ferrareze & Nogueira 2006; Mitsuka & Henry 2002, Britto & Carvalho 2006; Nogueira *et al.* 2008; Jorcin & Nogueira 2008). However, most studies have focused in the lacustrine and intermediate zones of the reservoirs (upstream from dams). Only Mitsuka & Henry (2002) and Ferrareze & Nogueira (2006) included analyses of below dam stretches, and there is no information on the direct effects of the dams functioning (operational schemes) on the adjacent downstream stretches.

In the present study it was observed that Capivara and Taquaruçu, ninth and tenth reservoirs in the Paranapanema cascade, influence differentially the downstream stretches. However, these effects are distinct, depend on seasonality, engineering conception (accumulation or run-of-the-river), intrinsic limnological characteristics and hourly discharge variations.

The discharged waters from Capivara and Taquaruçu varied significantly along the studied 24 hour periods. Relatively high flow values were seen in the day-time and after a marked increase in the early evening there was a decrease in the night and dawn. These changes are produced in order to attend daily energy consumption peaks, which are directly influenced by the population habits and connection of the public illumination system. The domestic electric consumption increases in the evening when most people get home. Conversely, late in the night there is a consumption diminution, due to decreases in domestic and economical activities.

Most of the studied variables in the stretches bellow the dams of Capivara and Taquaruçu Reservoirs exhibited significant differences when compared the measurements carried out along the nictemeral cycles. This was particularly clear for water level and velocity, but also detected for turbidity, suspended solids, dissolved oxygen and nutrients (nitrogen and phosphorus). During the discharge peaks there was a tendency of higher temperatures and dissolved oxygen in the downstream stretches, more detectable in the Cap Dam/Up Taq stretch. Certainly the mentioned variations are directly related to the hourly discharge fluctuations.

These man induced “pulses” of environmental fluctuation is probably acting as a selection force to the aquatic biota, as some native species can not tolerate this magnitude and frequency of hydrodynamics oscillation.

Natural fluctuations of the certain limnological variables, such as dissolved oxygen, pH, primary production, etc., are expected due to the nictemeral cycles and coupled organism metabolic changes. Nevertheless, sudden variations in discharge (pulses) can not be neglected in case of dam regulated rivers.

Straškraba 1999 pointed out that the degree and extension of a reservoir influence depend on several intrinsic lake-reservoir characteristics, as well as its position into the basin. In our study some of these differences were clear when compared the Capivara and Taquaruçu downstream influences. A key factor to explain this fact is the circulation pattern in the reservoirs lacustrine zones, as well the spillways position.

Besides the seasonal whether fluctuation several factors influence the water column vertical mixture in tropical and subtropical reservoirs, such as the morphology, local relief, wind intensity and hydraulic stratification - unidirectional water displacement to the turbines (Tundisi, 1994).

In the south and southeast Brazilian territory usually deeper reservoirs (> 20-30m) exhibit a marked and persistent stratification during the summer (Henry 1999). Even in winter, when it is expected vertically isothermal conditions, deeper reservoirs in low altitudes (<400 m a.s.l.) tend to exhibit secondary or minor stratifications (Henry & Nogueira 1999; Pagioro *et al.* 2005; Nogueira *et al.* 2006).

An interesting tendency, in relation to thermal regimes, seems to occur in the cascade systems of the upper Paraná basin. In the reservoirs towards the river mouth (lower altitudes), differently from the ones upstream located (upper altitudes), the superficial temperature do not decrease enough to equalize the hypolimnium condition (Silva *et al.* 2005; Pagioro *et al.* 2005; Matsumura-Tundisi *et al.* 2006; Nogueira *et al.* 2006). Probably this is related to regional differences in air temperature along the basins.



In the present research both studied reservoirs are located in the lower Paranapanema basin. During the summer samplings the mean values for air temperature varied only (ca. 1°C) among the sampling stations, due to their proximity (ca. 80km). Between seasons variation was much higher (ca. 15°C).

An accentuated thermal stratification was observed in the lacustrine zone of Capivara Reservoir in summer. The stratification was less evident in winter, but the presence of the oxycline indicates a persistent segregation among layers.

A combination of a well marked stratification, more eutrophic condition (less oxygen in the bottom) and deep positioned spillways caused a transport of differential hypolimnetic water to the bellow dam stretch (Up Taq). The downstream limnological characteristics, specially in summer, were similar to the ones at the layer corresponding to the turbines intake water – the same water mass. That is because the thermocline position in that period was above the spillways line.

This tendency was not particularly evident in case of Taquaruçu Reservoir, due to its run-of-the-river condition, shallowness and higher spillways position in the water column.

The torrential, and unexpected, rains during the winter sampling caused a considerable interference in the hypothesis to be tested. In the winter, usually a very dry period, the idea was test only the influenced of water flow coming from reservoirs turbines. This methodological “noise” did not affect the study of Cap Dam/Up Taq stretch. But the same is not true for the Taq Dam/Up Ros stretch, as the Taquaruçu Reservoir is immediately affected by storm events (increases in discharge). Additionally, nearly the Taquarucu dam (downstream) there is the entrance of two tributaries (Pirapó and Pirapozinho), which change instantaneously with the incidence of significant rains. This interfered drastically in the obtained results for this studied stretch during winter.

Therefore, our winter results for Up Ros sampling station corroborates the hypothesis that in this basin the shallower reservoirs are highly susceptible to the weather events such as strong winds and rains and tributary inputs (Nogueira *et al.* 2006; Ferrareze & Nogueira, 2006). Larger reservoirs are much more resilient.

## **CONCLUSION**

The effects on the downstream discharge variation – spillways releases, from hydropower reservoirs is an important and methodologically complex theme to be investigated in large cascade systems. The results showed that the bellow dam limnological conditions are significantly affected by variation in flow during short (24 hour) periods. However, the degree of influence is variable, depending on the reservoir intrinsic conditions (retention time, thermal regime, trophic condition) and outlet structure (spillways position).

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

The authors are grateful to FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) (proc. 06/05379-4) for the scholarship conceived to the first author. Fabiana Akemi Kudo, Fernanda Lage and Silvia Maria Cagliarani Casanova for their support in the fieldwork and to Gilmar Perbiche Neves and Luciana Pinto Sartori for their collaboration in all phases of this investigation.

## REFERENCES

- Ahearn D. S., Sheibley R. W. & Dahlgren R. A. (2005) Effects of river regulation on water quality in the lower Mokelumne river, California. *River Res. Applic.* **21**, 651–670.
- Barbosa F. A. R., Padisák J., Espíndola E. L. G., Borics G. & Rocha O. (1999) The cascading reservoir continuum concept (CRCC) and its application to the river Tietê-Basin, São Paulo State, Brazil. In: *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications* (eds J. G Tundisi & M. Straškraba) pp 425-437. International Institute of Ecology, Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers, São Carlos.
- Britto S. G. de C. & Carvalho E. D. (2006) Ecological attributes of fish fauna in the Taquaruçu Reservoir, Paranapanema River (Upper Paraná, Brazil): Composition and spatial distribution. *Acta Limnologica Brasiliensia.* **18**, 377-388.
- Carvallho-Filho J. (2007) *Panorama da Aqüicultura - editor note*. Grafito Gráfica, Rio de Janeiro.
- Casamitjana X., Serra T., Colomer J., Baserba C. & Perez-Losada J. (2003) Effects of the water withdrawal in the stratification patterns of a reservoir. *Hydrobiologia* **504**, 21–28.
- Felisberto S. A. & Rodrigues L. (2005) Periphytic community of reservoirs cascade in the Paranapanema river, Brazil *Acta Scientiarum. Biological Sciences.* **27**, 215-223.
- Ferrezeze M. F. & Nogueira M. G. (2006) Phytoplankton assemblages and limnological characteristics in lotic systems of the Paranapanema Basin (Southeast Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia.* **18**, 389-405.
- Finger D., Schmid M. & Wüest A. (2006) Effects of upstream hydropower operation on riverine particle transport and turbidity in downstream lakes. *Water Resour. Res.* **42**, 1-20.
- Golterman H. L., Clymo R. S. & Ohstad M. A. (1978) *Methods for physical & chemical analysis of fresh waters*. Blackweel Scientific Publications, Oxford.

- Henry R. & Nogueira M. G. (1999) A Represa de Jurumirim (São Paulo): primeira síntese sobre o conhecimento limnológico. In: *Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais*. (ed R. Henry) pp. 651-686. Tipomic, Botucatu.
- Henry R. (1999). Heart budgets, thermal structure and dissolved oxygen in Brazilian reservoirs. In: *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications*. (eds M. Straskraba J. G. Tundisi) pp. 125-151. Brazilian Academy of Sciences, International Institute of Ecology and Backhuys Publishers, São Carlos, Brazil.
- Jorcin A. & Nogueira M. G. (2005-a) Temporal and spatial patterns along the cascade of reservoirs in the Paranapanema River (SE Brazil) based on the characteristics of sediment and sediment-water interface. *Lakes & Reservoirs Research and Management*. **10**, 1-12.
- Jorcin A. & Nogueira M. G. (2005-b) Phosphate distribution along a cascade of reservoirs (Paranapanema River, SE, Brazil). In: *Phosphates in Sediments - proceedings of the 4th International Symposium*. (eds. L. Serrano & H. L. Golterman) pp. 77-86. Leiden, Backhuys Publishers.
- Jorcin A. & Nogueira M. G. (2008) Benthic macroinvertebrados in the Paranapanema reservoir cascade (Southeast Brazil). *Brazilian Journal of Biology*. **68**, 631-637.
- Kelman J., Pereira M. V., Araripe-Neto T. A. & Sales P. R. de H. (2002) Hidreletricidade. In: *Águas doces no Brasil. Capital ecológico, uso e conservação*. (eds Rebouças A. da C., Braga B. & Tundisi, J. G.) pp. 371-418. Escrituras Editora, São Paulo.
- Kennedy R. (1999) Reservoir design and operation: limnological implications and management opportunities. *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications*. (eds M. Straskraba & J. G. Tundisi.) pp. 1-28. Brazilian Academy of Sciences, International Institute of Ecology and Backhuys Publishers, São Carlos, Brazil.
- Lansac-Toha F. A., Velho, L. F. M., Perenha, M. C. Z., Pereira, D. G. & Santos, V. D. (2004) Abundance of planktonic ciliates in a cascading reservoirs of the Paranapanema River, Brazil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*. **26**, 407-413.
- Ligon F. K., Dietrich W. E. & Trush W. J. (1995) Downstream Ecological Effects of Dams. *Ecology of Large Rivers*. **45**, 183-192.

- Ma S., Kassinos S. C., Kassinos D. F. & Akylas E. (2008) Thermal stratification in Kouris Dam Effects of selective water withdrawal schemes on thermal stratification in Kouris Dam in Cyprus. *Lakes Reserv. Res. Manage.* **13**: 51–61.
- Marckereth F. I. H., Heron J. & Talling J.F. (1978) *Water analysis: some revised methods for limnologists*. Freshwater Biological Association, London.
- Matsumura-Tundisi T., Luzia A. P. & Tundisi J. G. (2006) Estado trófico dos reservatórios em cascata do Médio e Baixo Tietê (SP) e manejo para o controle da eutrofização. In: *Eutrofização na América do Sul: causas, conseqüências e tecnologias para gerenciamento e controle*. (eds J. G. Tundisi, T. Matsumura-Tundisi & C. S. Galli). pp. 141-160. DMD Propaganda, São Carlos.
- Mitsuka P. M. & Henry R. (2002) The fate of Copepod Populations in the Paranapanema River (São Paulo, Brazil), Downstream from the Jurumirim Dam. *Brazilian Archives of Biology and Technology.* **45**, 479-490.
- Nogueira M. G. (2000) Phytoplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia.* **431**, 115-128.
- Nogueira M. G. (2001) Zooplankton composition, abundance and diversity as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia.* **455**, 1-18.
- Nogueira M. G., Henry R. & Maricatto F. E. (1999) Spatial and temporal heterogeneity in the Jurumirim Reservoir, São Paulo, Brazil. *Lakes Reserv. Res. Manage.* **4**, 107–20.
- Nogueira M. G., Jorcín A., Vianna N. C. & Britto Y. C. T. (2002) Uma avaliação dos processos de eutrofização nos reservatórios em cascata do Rio Paranapanema (SP/PR), Brasil. In: *El agua em Sudamérica: de la eutrofización a la gestión*. Buenos Aires: Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (eds Fernández-Cirelli & G. Chalar) pp. 91-106.
- Nogueira M. G., Jorcín A., Vianna N. C. & Britto Y. C. T. (2006) Reservatórios em cascata e os efeitos na limnologia e organização das comunidades bióticas (fitoplâncton, zooplâncton e zoobentos) - um estudo de caso no rio Paranapanema (SP/PR). In:

- Ecologia de Reservatórios - Impactos Potenciais, Ações de Manejo e Sistemas em Cascata*. (eds M. G. Nogueira, A. Jorcin & R Henry) pp. 83-125. Rima, São Carlos.
- Nogueira M. G., Oliveira P. C. R. & Britto Y. C. T. (2008) Zooplankton assemblages (Copepoda and Cladocera) in a cascade of reservoirs of a large tropical river (SE Brasil) *Limnética (Madrid)*. **27**, 151-170.
- Pagioro T. A., Thomaz S. M. & Roberto M. do C. (2005) Caracterização limnológica abiótica dos reservatórios. In: *Biocenoses em Reservatórios: padrões espaciais e temporais*. (eds L. Rodrigues, A. A. Agostinho, L. C. Gomes & S. M. Thomaz) pp. 17-38. Rima, São Carlos.
- Petts G. E. & Gurnell A. M. (2005) Dams and geomorphology: Research progress and future directions. *Geomorphology*. **71**, 27-47.
- Preece R. M. & Jones H. A. (2002) The effect of Keepit Dam on the temperature regime of the Namoi River, Australia. *River Res. Appl.* **18**, 397-414.
- R Development Core Team (2006). *R: A language and environment for statistical computing*. Available from URL: <http://www.R-project.org>. Accessed 10 December 2007.
- Sampaio E. V., Rocha O., Matsumura-Tundisi T. & Tundisi J. G. (2002) Composition and abundance of zooplankton in the limnetic zone of seven reservoirs of the Paranapanema River, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. **62**, 525-545.
- Sato Y & Sampaio E. V. (2006) A ictiofauna na região do alto São Francisco, com ênfase no reservatório de Três Marias, Minas Gerais. In: *Ecologia de Reservatórios - Impactos Potenciais, Ações de Manejo e Sistemas em Cascata*. (eds M. G. Nogueira, A. Jorcin & R Henry) pp. 251-274. Rima, São Carlos.
- Silva C. A., Train S. & Rodrigues L. C. (2005) Phytoplankton assemblages in a Brazilian subtropical cascading reservoir system. *Hydrobiologia*. **537**, 99-109.
- Soares M. C. S., Marinho M. M., Huszar V. L. M., Branco, C. W. C. & Azevedo, S. M. F. O. (2008). The effects of water retention time and watershed features on the limnology of two tropical reservoirs in Brazil. *Lakes Reserv. Res. Manage.* **13**, 257-269.

- Souza-Filho E. E., Corrêa T. C., Destefani E. V., Teixeira A. E. & Rocha, P. C. (2004) Bank erosion downstream Porto Primavera Dam In: *Structure and functioning of the Paraná River and its floodplain*. (eds A. A. Agostinho, L. Rodrigues, L. C. Gomes, S. M. Thomaz & L. E. Miranda,) pp. 25-30. EDUEM, Maringá.
- Stanford J. A. & Ward J. V. (2001) Revisiting the serial discontinuity concept. *Regul. Rivers: Res. Mgmt.* **17**, 303–310.
- StatSoft Inc. (2002) *Statistica (data analysis software system), version 6.0* [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- Strařkraba M. (1999) Retention time as a key variable of reservoir limnology. In Tundisi, J. G. & M. Straskraba, 1999. In: *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications*. (eds M. Straskraba & J. G. Tundisi) pp. 385–410. Brazilian Academy of Sciences, International Institute of Ecology and Backhuys Publishers, São Carlos, Brazil.
- Strařkraba M. & Tundisi J. G. (1999) Reservoir Ecosystem Functioning: Theory and application. In: *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications*. (eds M. Straskraba & J. G. Tundisi) pp. 565-583. Brazilian Academy of Sciences, International Institute of Ecology and Backhuys Publishers, São Carlos, Brazil.
- Strickland J. D. & Parsons T. R. (1960) A manual of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bel. Can.* **125**: 1-185.
- Thomaz S. M., Agostinho A. A. & Hahn N S. (2004) *The Upper Paraná river and its Floodplain: physical aspects, ecology and conservation*. The Netherlands: Backhuys Publishers.
- Tundisi J. G. (1988) Impactos ecol gicos da constru o de represas: aspectos específicos e problemas de manejo. In: *Limnologia e manejo de represas. Série: Monografias em limnologia*. (ed. Tundisi, J. G) pp. 1-75. ACIESP, São Paulo.
- Tundisi J. G. (1994) Tropical South America: Present and Perspectives. In: *Limnology now: a paradigm of planetary problems* (ed: In: R.Margalef) pp. 353-424. Elsevier Science, Amsterdam.

Tundisi J. G. & Matsumura-Tundisi T. (2003) Integration of research and management in optimizing multiple uses of reservoirs: the experience in South America and Brazilian case studies. *Hydrobiologia*. **500**, 231-242.

Tundisi J. G. & Matsumura-Tundisi T. (2008) *Limnologia*. Oficina de Textos, São Paulo.

Tundisi J. G., Matsumura-Tundisi T., Calijuri M. C. & Novo E. M. L. (1991) Comparative limnology of five reservoirs in the middle Tietê River, S. Paulo State. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **24**, 1489-1496.



## **Capítulo 2**

***Efeitos dos pulsos diários de vazão sobre as assembleias zooplancônicas: um estudo de caso em hidroelétricas do rio Paranapanema (Brasil)***

*Efeitos dos pulsos diários de vazão sobre as assembléias zooplancônicas: um estudo de caso em hidroelétricas do rio Paranapanema (Brasil)*

**Resumo:** Em muitos reservatórios brasileiros há uma significativa variação diária da vazão turbinada acoplada à variação na demanda no consumo de energia elétrica. Estes “pulsos” de vazão interferem nas condições hidrodinâmicas das regiões tanto de montante como de jusante dos reservatórios, e devem influenciar a distribuição das assembléias zooplancônicas. Assim, o objetivo deste estudo foi analisar o efeito da variação horária da vazão de saída dos reservatórios de Capivara e Taquaruçu, baixo rio Paranapanema, sobre a deriva do zooplâncton proveniente da região da barragem, zona lântica do reservatório, para as regiões lólicas à jusante. Para análise das assembléias zooplancônicas (Cladocera e Copepoda) foram realizadas coletas durante o verão e o inverno, nas regiões de montante e jusante. Na zona de montante foram obtidas amostras integradas da coluna d’água através de arrastos verticais. Nas regiões de jusante, início dos reservatórios de Taquaruçu e Rosana, as amostras foram coletadas com auxílio de uma bomba de sucção em diferentes profundidades, a cada 04 horas, completando um ciclo nictemeral. A dinâmica do transporte do zooplâncton à jusante foi influenciada por diversos fatores operacionais e limnológicos dos reservatórios de montante: profundidade, altura da tomada d’água para as turbinas, distribuição vertical do zooplâncton e principalmente variação da vazão. Ambos os reservatórios de montante apresentaram uma grande variação diária da vazão, apenas do tipo turbinada, de 500 até 1400 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> em Capivara e de 500 até 2000 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> em Taquaruçu, com os maiores volumes de saída ao anoitecer (pico máximo de consumo de energia) e os menores durante a madrugada (queda no consumo de energia). Estas variações se refletiram na composição e abundância do zooplâncton a jusante. No início do reservatório de Taquaruçu onde esteve localizada a estação de amostragem (5 km abaixo da barragem de Capivara) ocorreu uma relação positiva entre a abundância do zooplâncton e a vazão. Na jusante de Taquaruçu, início do reservatório de Rosana (à 16 km da barragem), ocorreu um aumento da abundância do zooplâncton somente algumas horas após os horários de grande vazão. Isto se deu em decorrência da maior distância em relação à barragem, implicando em maior tempo de deslocamento da massa d’água turbinada. Assim, na jusante de reservatórios com consideráveis variações diárias de vazão, a abundância zooplancônica varia de acordo com o horário do dia e distância em relação à barragem (a montante). No trecho barragem de Taquaruçu → montante de Rosana, também foi analisada e discutida a influência da entrada de dois rios tributários (Pirapó e Pirapozinho).

**Palavras-chave:** Cladocera, Copepoda, vazão turbinada, reservatórios, hidrelétricas, montante, jusante.

*Effects of hydroelectric dams discharge pulses on zooplankton assemblages: a case study in the Paranapanema River (Brazil)*

**Abstract:** In several Brazilian reservoirs it is significant the daily variation of water discharge according to the necessity of electricity consumption. These “pulses” interfere on upstream and downstream hydrological conditions and may affect the zooplankton assemblages composition and abundance. Thus, the aim of this study was to analyze the effect of hourly discharge variation of Capivara and Taquaruçu Reservoirs, low Paranapanema River, on zooplankton drift from dam (lacustrine) zones in the downstream lotic stretches. Zooplankton (Cladocera and Copepoda) samplings were performed in summer and winter. In the upstream zones samples were collected through vertical hauls in the entire water column. In downstream zones, beginning of Taquaruçu and Rosana Reservoirs, the samples were taken with a suction pump at different depths, every four hour along nictemeral cycles. The dynamic of downstream zooplankton was affected by operational and limnological characteristics of the upstream reservoirs: depth, water spillways position, zooplankton vertical distribution and mainly by the water discharge variation. There was an expressive daily variation of water discharge (from turbine) in both reservoirs, from 500 up to 1400 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> in Capivara and from 500 to 2000 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> in Taquaruçu. Values were higher in the evening/early night (higher electricity consumption) and lower at late night/dawn (lower electricity consumption). This water discharge variations affected the zooplankton drift bellow dam. At the sampling station corresponding to the initial section of Taquaruçu Reservoir (5 km from Capivara Dam) it was observed a positive correlation between zooplankton abundance and water discharge. In the initial section of Rosana Reservoir (16 km of Taquaruçu Dam), the increase in zooplankton abundance was seen few hours after the highest water discharge. This tendency is probably due to the period of water mass displacement. Thus, in downstream reservoir zones with considerable daily water discharge variations, the zooplankton abundance varies according to time of the day and distance in relation to the upstream dam. In the stretch Taquaruçu dam → upstream Rosana it was also analyzed the influence of two tributary entrances (Pirapó e Pirapozinho).

**Key-Words:** Cladocera, Copepoda, reservoirs, hydroelectric discharges, upstream, downstream.

## INTRODUÇÃO

A construção de reservatórios tem se mostrado de grande importância sócio-econômica, especialmente por gerar hidroeletricidade, armazenar água para abastecimento público e irrigação, produção de biomassa (aqüicultura e pesca), transporte (hidrovias), recreação e turismo. Porém, a implantação desses empreendimentos gera impactos ambientais de grande magnitude. Isso implica na necessidade de estudos para o entendimento do seu funcionamento, resolução de problemas como a colonização, evolução e distribuição das comunidades bióticas nesses ecossistemas (Tundisi *et al.*, 2008).

O zooplâncton é uma comunidade de grande importância nos ambientes aquáticos, transferindo matéria e energia entre os produtores primários e os níveis tróficos superiores (Margalef, 1983; Odum, 2004). Existem evidências indicando que alterações na estrutura e dinâmica da comunidade zooplanctônica podem produzir mudanças em toda a estrutura trófica de um reservatório (Rocha *et al.*, 1995).

O zooplâncton de águas continentais é representado por protozoários, rotíferos e microcrustáceos (Cladocera e Copepoda) (Esteves, 1998). Informações sobre tais organismos podem fornecer subsídios para ações de manejo, visando a manipulação de cadeias tróficas, o controle da eutrofização e, conseqüentemente, a melhoria da qualidade de água de lagos e reservatórios (Lopes *et al.*, 1997).

O estudo da distribuição espacial do zooplâncton em reservatórios mostra grande complexidade ecológica, pois esta depende da interação de um conjunto de fatores, tais como transparência da água, radiação solar, temperatura, vento, concentração de oxigênio e também de processos biológicos, como a procura por alimento, fuga de predadores, estágio de desenvolvimento dos organismos, mobilidade e competição (e.g. Wetzel, 1990; Urabe, 1990; Lansac-Tôha *et al.*, 1997; Espíndola *et al.* 2000; Nogueira 2001), além do

comportamento migratório evolutivamente selecionado (Dini & Carpenter, 1991; Bezerra-Neto & Pinto-Coelho, 2007).

É importante considerar ainda, para os reservatórios artificiais, a influência dos mecanismos próprios induzidos pela operação do sistema (tempo de residência da água, vazão vertida e turbinada, altura da captação da água para as turbinas, flutuação do nível) sobre a comunidade zooplancônica. Isto leva ao estabelecimento de padrões hidrodinâmicos específicos que interferem na distribuição espacial horizontal e vertical, bem como na seqüência temporal e ciclo sazonal dos organismos (Tundisi, 1990; Straškraba & Tundisi, 1999).

No caso de reservatórios em cascata, os procedimentos operacionais, além de influenciarem a comunidade zooplancônica na região de montante - zona lacustre do reservatório, também influenciam os trechos de jusante da barragem - zona lótica do reservatório subsequente. Nestas regiões de jusante, o zooplâncton é afetado pelo transporte passivo, produzido pela constante renovação da água, o que induz mudanças na estrutura e dinâmica da comunidade (Armengol *et al.*, 1988).

Desta forma, a presença de habitats lênticos à montante funciona como fonte de organismos planctônicos tipicamente pelágicos que são exportados à jusante (Armitage & Capper 1976; Akopian *et al.* 1999), onde podem servir de base para teias alimentares incluindo macroinvertebrados e peixes (Doi *et al.* 2008).

Quando se compara ambientes lênticos (zona da barragem) com ambientes lóticos de jusante, pode-se verificar que o desenvolvimento do zooplâncton será desfavorável neste segundo trecho. De acordo com Rzoska (1978) a reprodução do zooplâncton raramente é observada em corpos d'água com a velocidade da correnteza superior a  $0,4 \text{ m s}^{-1}$ .

Outros fatores ambientais relacionados ao aumento na velocidade da correnteza, como diminuição da disponibilidade de recursos alimentares devido à remoção de

nutrientes e a redução no tempo de retenção da água, também podem alterar a dinâmica do zooplâncton (Richardson 1992; Viroux, 2002; Walks & Cyr 2004). O aumento da turbidez, somado a descargas d'água nas regiões de jusante, pode atuar como inibidor da filtração alimentar pelo zooplâncton, dificultando principalmente o desenvolvimento dos cladóceros (Hart, 1988; Kirk & Gilbert, 1990; Jack *et al.*, 1993).

No entanto, alguns organismos do zooplâncton são mais tolerantes às mudanças de um ambiente lântico para um ambiente lótico. Esta característica é encontrada em Copepoda, devido a resistente estrutura morfológica e grande capacidade de locomoção que lhes permite tolerar as mudanças de habitat (Ward, 1975).

Segundo Pourriot *et al.* (1997) a população planctônica sofre redução quantitativa ao longo do rio, após passagem por barragens. No rio Marne, França, à jusante da represa Der-Chantecoq, foi observada uma acentuada diminuição quantitativa do zooplâncton total após 22 km. Somente poucas formas pequenas permaneceram (náuplios de Copepoda e *Bosmina* sp.), enquanto que copepoditos, copépodos adultos e cladóceros do gênero *Daphnia* desapareceram completamente, sendo substituídos por rotíferos (95%). Para os autores a predominância de pequenos organismos, tais como rotíferos e pequenos cladóceros, pode ser resultado do rápido ciclo reprodutivo, permitindo a sua permanência apesar do baixo tempo de residência da água, e também da pressão da predação por peixes sobre espécies de maior tamanho.

Palmer & O'Keeffe (1990) verificaram, no Rio Buffalo (África do Sul), que a densidade zooplanctônica também foi reduzida progressivamente conforme a distância da barragem, chegando a uma diminuição de 95%, entre 8 e 10 km. No rio Paranapanema, na região à jusante da barragem de Jurumirim, a partir de 32 km foi observada uma redução drástica na abundância de Copepoda (Mitsuka & Henry, 2002).

No entanto, à distância percorrida pelo zooplâncton na deriva está relacionada com a velocidade da correnteza e com a variação da vazão. O aumento da velocidade faz com que o plâncton permaneça na deriva por uma maior distância (McLay, 1970). O aumento da vazão de saída à montante também é um fator que conduz a um maior escoamento do zooplâncton e seu transporte por uma maior distância à jusante (Sandlund 1982, Campbell 2002).

Em estudo realizado na região à jusante do lago Galvsjön, Suécia, a variação na abundância do zooplâncton foi influenciada positivamente, de acordo com o aumento da vazão do reservatório de montante (Per-Ola, 1999). A mesma situação ocorreu em uma região à jusante do reservatório de Kanagawa, Japão, onde a abundância de rotíferos também foi maior com aumento da vazão no lago (Chang, 2008). Em ambos os estudos, o aumento da vazão decorreu da elevada precipitação das chuvas ao longo do ciclo sazonal.

No caso dos reservatórios do baixo rio Paranapanema SP/PR (Capivara, Taquaruçu e Rosana) ocorrem grandes variações diárias na vazão de saída, devido aos mecanismos operacionais das barragens para atender a demanda energética. Pode haver um aumento de até quatro vezes da vazão de água turbinada, que é escoada a jusante, durante os horários de pico de consumo de energia elétrica. Portanto, estas variações de vazão podem influenciar a composição e a estrutura da comunidade zooplanctônica à jusante, conforme o horário do dia.

A migração vertical dos organismos zooplanctônicos e a posição vertical da tomada d'água é outro fator que pode influenciar a deriva do zooplâncton à jusante. Sandlund (1982) encontrou uma maior densidade zooplanctônica à jusante do lago Galvsjön, Suécia, no horário em que os organismos encontravam-se na superfície do lago, justamente o local de escoamento.

No Brasil, os estudos do destino do zooplâncton após a passagem pelas barragens são ainda escassos, há apenas trabalhos que contemplam, de maneira geral, os efeitos acumulativos da construção de reservatórios em cascata sobre as comunidades biológicas (e.g. Sampaio *et al.* 2002; Velho *et al.* 2004; Lansac-Tôha *et al.* 2004; Jorcin & Nogueira, 2008; Felisberto & Rodrigues 2005; Nogueira *et al.* 2006, 2008). A maioria dos trabalhos enfatiza as zonas lânticas e intermediárias dos reservatórios. Poucas pesquisas também incluem dados sobre os trechos de jusante das barragens (Mitsuka & Henry 2002; Ferrareze & Nogueira 2006).

Desta forma, o presente estudo pretende contribuir para o conhecimento da dinâmica dos organismos zooplanctônicos nas regiões de jusante de reservatórios e, particularmente, entender os possíveis efeitos das variações diárias na vazão sobre esta comunidade.



## **OBJETIVO GERAL**

Este estudo procurou avaliar o efeito da variação horária da vazão (ciclos nictemerais) sobre a deriva do zooplâncton da região da barragem (zona lântica do reservatório) para as regiões lólicas à jusante. Analisou-se, comparativamente, a influência de dois reservatórios do baixo rio Paranapanema, Capivara e Taquaruçu, com características diferenciadas (profundidade na barragem, altura da captação d'água para as turbinas, tempo teórico de residência da água, grau de trofia, etc.), no transporte do zooplâncton para os reservatórios subseqüentes à jusante (Taquaruçu e Rosana).

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar a composição e abundância zooplanctônica (Copepoda e Cladocera) nas regiões de barragem dos reservatórios a montante e nos trechos de jusante adjacentes.
- Determinar a distribuição vertical das populações zooplanctônicas (Copepoda e Cladocera) nas regiões à jusante das barragens ao longo de ciclos nictemerais;
- Avaliar a influência dos processos de estratificação e circulação da coluna d'água nas zonas da barragem (diferenças sazonais) sobre o transporte do zooplâncton à jusante;
- Avaliar a influência das características limnológicas sobre o zooplâncton das regiões de montante e jusante das barragens;
- Avaliar a influência da variação sazonal (verão e inverno) na composição e abundância zooplanctônica nas regiões de montante e jusante das barragens.

## ÁREA DE ESTUDO

A descrição detalhada da área de estudo é apresentada no Capítulo 1 desta Dissertação (*Effects of hydroelectric dams discharge pulses on downstream limnological conditions – a case study in the Paranapanema River (Brazil)*).

## MATERIAL E MÉTODOS

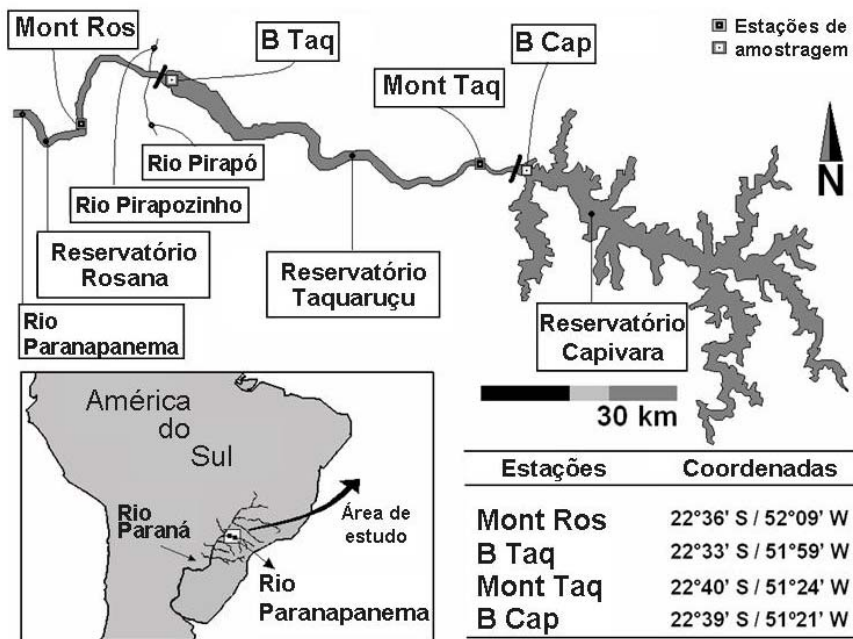
### Amostragens e análises laboratoriais

Conforme descrito no capítulo 1, foram estudados dois sistemas barragem-jusante no baixo rio Paranapanema, abrangendo os reservatórios de Capivara, Taquaruçu e Rosana, dispostos de forma seqüencial.

O primeiro sistema estudado corresponde ao trecho formado pela Barragem de Capivara (B Cap) e sua região de jusante, já no início do reservatório de Taquaruçu (Mont Taq). O segundo sistema abrangeu a Barragem de Taquaruçu (B Taq) e sua região de jusante, início do reservatório de Rosana (Mont Ros). Neste segundo sistema também foram incluídos dois importantes tributários (rios Pirapó e Pirapozinho) que deságuam no trecho inicial do reservatório de Rosana e logo após a barragem de Taquaruçu (Figura 1).

Os trabalhos de campo foram realizados em dois ciclos nictemerais. A fim de caracterizar o período de verão as coletas foram feitas em fevereiro de 2005, para o trecho B Taq / Mont Ros e em fevereiro de 2006 para o trecho B Cap / Mont Taq. No período de inverno as coletas ocorreram em julho de 2007 para ambos os trechos estudados.

Nas estações de coleta à jusante das barragens (Mont Taq e Mont Ros) foram realizadas coletas ao longo de ciclos de nictemerais com amostragens a cada 4 horas. Nas estações B Cap, B Taq e rios Pirapó e Pirapozinho foram realizadas coletas em um único horário, previamente ao início do estudo dos ciclos nictemerais.



**Figura 1.** Localização da área de estudo e das estações de amostragem nos reservatórios de Capivara, Taquaruçu e Rosana.

### Zooplâncton

As estações de coleta, período, horários e profundidades das amostragens do zooplâncton (Cladocera e Copepoda) são apresentadas na Tabela 1. Todas as amostras coletadas foram filtradas com rede padrão para zooplâncton com 50 µm de abertura de malha e fixadas com formaldeído a uma concentração final de 4%.

Para análise qualitativa e quantitativa do zooplâncton nas estações de coleta correspondentes às zonas da barragem (B. Cap e B. Taq) foram realizados arrastos verticais desde o fundo até superfície. Nos rios Pirapó e Pirapozinho, devido à baixa profundidade, foram filtrados 100 litros de água da superfície, utilizando-se balde graduado.

Nas estações de coleta nas regiões de jusante (Mont Taq e Mont Ros) foram obtidas amostras para análise quantitativa com o auxílio de uma bomba de sucção a gasolina (Stihl P835), com uma mangueira de 1 ½ polegadas de diâmetro. Filtrou-se 200 litros de água por

profundidade. Para análise qualitativa foram realizados arrastos verticais desde o fundo até superfície.

Em laboratório os microcrustáceos foram identificados segundo bibliografia especializada sob lupas e microscópios binoculares. Os principais trabalhos utilizados foram os de Sendacz & Kubo (1982); Reid (1985), Matsumura-Tundisi (1986), Elmoor-Loureiro (1997), Rocha (1998) e Silva (2003).

As contagens dos organismos foram realizadas sob microscópio estereoscópio com aumento de 100 vezes (Zeiss, Stemi SV6) (copépodes adultos, copepoditos e cladóceros) e microscópio óptico comum (Zeiss Axiostar) com aumento de 1000 vezes (náuplios de Copepoda). Quantificou-se um mínimo de 100 indivíduos por amostra. As amostras de rios foram contadas em sua totalidade, devido à baixa abundância de organismos.

Ao todo foi contado um total de 104 amostras de microcrustáceos, as quais estão depositadas na Coleção de Invertebrados de Águas Continentais do Departamento de Zoologia do Instituto de Biociências da UNESP/Campus Botucatu.

A partir do volume filtrado e da contagem das amostras os resultados de abundância foram expressos em indivíduos  $m^{-3}$ . Calculou-se frequência de ocorrência para os táxons ( $Fr\% = N^{\circ} \text{registros} / N^{\circ} \text{ total de amostras por período sazonal} * 100$ ), abundância relativa e absoluta, diversidade de Shannon-Wiener ( $H' = -\sum p_i \cdot \log_2 p_i$ , onde:  $p_i = N_i / N \rightarrow N_i$  número de indivíduos de cada espécie, (N) número total de indivíduos, e o resultado expresso em bits/indiv.) e equitabilidade ( $E = H' / \log_2 S$ , onde: (H') índice de Shannon e (S) número total de táxons em cada amostra). O índice H' de Shannon-Wiener tem sido amplamente utilizado para avaliar a estrutura de comunidades em relação a sua diversidade (Pinto-Coelho, 2002), especialmente pelo fato de ser razoavelmente independente do tamanho da amostra (Odum, 2004). A diversidade e a equitabilidade foram calculadas no software Past V. 1.48 (Hammer *et al.*, 2001).

**Tabela 1.** Estações de coleta, período, horários e profundidades das amostragens do zooplâncton (Cladocera e Copepoda).

Estações de coleta	Período	Horários	Profundidades
<b>B Cap</b>	Verão	10 h	Arrasto vertical (40m)
	Inverno	17 h	Arrasto vertical (40m)
<b>Mont Taq</b>	Verão	19, 23, 03, 07, 11, 15 h	0, 2 e 4 m
	Inverno	10, 14, 18, 22, 02, 06 h	0, 2 e 4 m
<b>B Taq</b>	Verão	09 h	Arrasto vertical (25m)
	Inverno	17h	Arrasto vertical (25m)
<b>Mont Ros</b>	Verão	17, 21, 01, 05, 09, 13 h	0, 2, 4, 6, 8 e 10 m
	Inverno	10, 14, 18, 22, 02, 06 h	0, 1.5, 3 e 11 m
<b>Rio Pirapó</b>	Verão	10 h	Sub-superfície
	Inverno	15 h	Sub-superfície
<b>Rio Pirapozinho</b>	Verão	11 h	Sub-superfície
	Inverno	13 h	Sub-superfície

### Análises estatísticas

A fim de comparar as estações e períodos de coleta em base à composição e abundância do zooplâncton, foram realizadas análises de agrupamento por similaridade com o método “complete linkage” (Distância Euclidiana), no software Statistic v. 6.0 (Statsoft, 2000).

Para correlacionar e ordenar a abundância do zooplâncton e as variáveis limnológicas simultaneamente amostradas (ver capítulo 1) utilizou-se análises de correspondência canônica (ACC) para cada sistema barragem/jusante. Os dados limnológicos dos rios Pirapó e Pirapozinho não foram não foram incluídos na “ACC” devido às suas discrepâncias em relação às curvas de normalidade. As análises de “ACC” realizadas com a inclusão destes não apresentaram resultados satisfatórios, exibindo uma tendência em sua direção. Essa análise é apropriada para dados lineares (Kindt & Coe, 2005), e foram geradas no software de livre distribuição “R Development Core Team” (2006).

## RESULTADOS

Na descrição dos resultados optou-se por apresentar, separadamente, os dois sistemas barragem-jusante estudados. Primeiramente são apresentados os resultados do trecho Barragem Capivara (B Cap) / Montante Taquaruçu (Mont Taq), em seguida serão descritos os resultados obtidos no trecho Barragem Taquaruçu (B Taq) / Montante Rosana (Mont Ros).

### **Sistema - Barragem Capivara (B Cap) / Montante Taquaruçu (Mont Taq)**

#### **Composição e riqueza de espécies**

No sistema Barragem Capivara (B Cap) / Montante Taquaruçu (Mont Taq) foi encontrado um total de 16 táxons diferentes, dentre Cladocera (9) e Copepoda (7), sendo que um táxon de Copepoda não foi identificado ao nível específico. Cladocera foi representada pelas famílias Bosminidae, Daphniidae e Sididae. Entre Copepoda, a ordem Calanoida apresentou três táxons, enquanto que a ordem Cyclopoida foi representada por quatro táxons (Tabela 2).

Sazonalmente, o inverno apresentou uma espécie de Cladocera (*Daphnia gessneri*) e três espécies de Copepoda (*Argyrodiaptomus azevedoi*, *Thermocyclops minutus* e *Thermocyclops inversus*) exclusivas para o período (Tabela 2).

No período de verão, os mesmos táxons foram encontrados na estação de coleta B Cap e Mont Taq (diversos horários). No inverno, 2 espécies foram encontradas exclusivamente em B Cap (*Thermocyclops inversus* e *Diaphanosoma birgei*) e 2 formas da espécie *Ceriodaphnia cornuta* (forma *rigaudi* e *intermedia*) em Mont Taq. Entre os diversos horários amostrados na estação Mont Taq, houve uma grande variação quanto à presença ou ausência dos táxons, em ambos os períodos sazonais (Tabela 2).

Em termos de riqueza, a estação de coleta B Cap apresentou 15 táxons no inverno e 12 durante o verão. Na estação de coleta Mont Taq, houve variação conforme o horário estudado. No verão, a maior riqueza foi encontrada em Mont Taq\_07 h (12 espécies) e a menor em Mont Taq\_03 h (6 espécies). No inverno, os valores encontrados foram superiores, com a maior riqueza encontrada em Mont Taq\_18h (13 espécies) e menor em Mont Taq\_02 h (9 espécies) (Figura 2).

Em relação à frequência de ocorrência, na estação Mont Taq (considerando os diversos horários e profundidades) apenas o táxon *Notodiaptomus* sp., além dos náuplios e copepoditos de Calanoida e Cyclopoida, estiveram presentes em todas as amostragens durante o verão e inverno. As espécies *Notodiaptomus henseni* e *Diaphanosoma birgei* foram encontradas em todas as amostragens no verão, enquanto *Daphnia gessneri*, esteve presente em cem por cento das amostras analisadas durante o inverno. O táxon *Thermocyclops minutus* que estava ausente durante o verão na estação de coleta Mont Taq, apresentou uma frequência superior a 80% durante o inverno.

As espécies *Simocephalus serrulatus*, *Ceriodaphnia cornuta* forma *rigaudi* e *intermedia*, *Argyrodiaptomus azevedoi* e *Mesocyclops ogunnnus* apresentaram baixa frequência de ocorrência em ambos os períodos sazonais (Tabela 2).

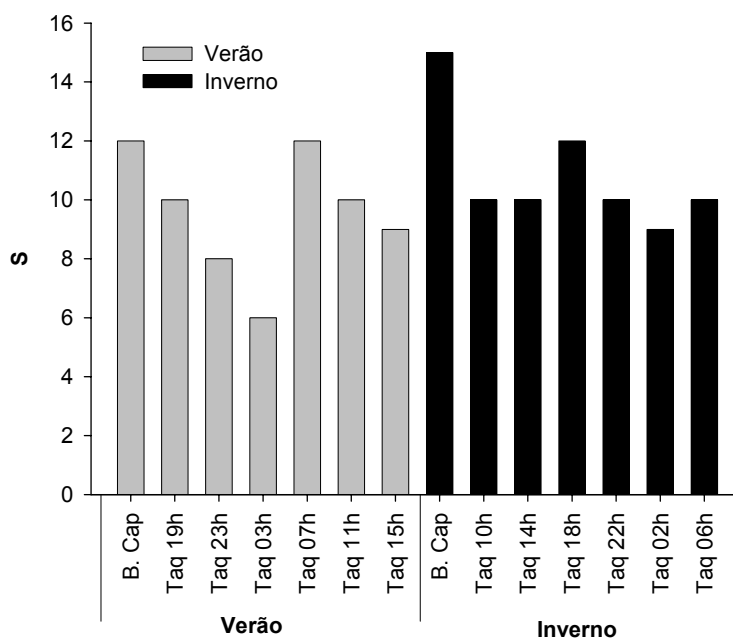
**Tabela 2.** Lista de espécies de Copepoda e Cladocera, frequência de ocorrência (N= 18 amostras por período sazonal) e presença (x) ou ausência ( ) nas estações de coleta Barragem Capivara (B Cap) e Montante Taquaruçu (Mont Taq). Em negrito estão as maiores frequências de ocorrência. Para presença e ausência e frequência de ocorrência (FR%) foram consideradas todas as profundidades em Montante Taquaruçu.

	B Cap	Montante Taquaruçu Verão						B Cap	Montante Taquaruçu Inverno						FR (%)	
	verão	19h	23h	03h	07h	11h	15h	inverno	10h	14h	18h	22h	02h	06h	Taq /verão	Taq /inverno
<b>CLADOCERA</b>																
<b>Bosminidae</b>																
<i>Bosmina hagdmani</i> Stingelin, 1904	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	33	<b>72</b>
<b>Daphniidae</b>																
<i>Ceriodaphnia cornuta</i> Sars, 1886 forma <i>cornuta</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	<b>89</b>	<b>28</b>
<i>Ceriodaphnia cornuta</i> forma <i>intermedia</i>	X	X	X		X	X	X				X			61	6	
<i>Ceriodaphnia cornuta</i> forma <i>rigaudi</i>	X				X						X			6	6	
<i>Ceriodaphnia silvestrii</i> Daday, 1902	X				X		X	X	X	X	X	X	X	22	<b>56</b>	
<i>Daphnia gessneri</i> Herbst, 1967								X	X	X	X	X	X	0	<b>100</b>	
<i>Simocephalus serrulatus</i> (Koch, 1841)	X	X	X	X	X	X		X	X					28	6	
<b>Sididae</b>																
<i>Diaphanosma birgei</i> Korinech, 1981	X	X	X	X	X	X	X	X						<b>100</b>	0	
<i>Diaphanosoma spinulosum</i> Herbst, 1976	X	X	X		X	X	X	X			X	X		61	11	



Tabela 2. Continuação.

SUB-CLASSE COPEPODA	B Cap	Montante Taquaruçu / Verão						B Cap	Montante Taquaruçu / Inverno						FR (%)	
	verão	19h	23h	03h	07h	11h	15h	inverno	10h	14h	18h	22h	02h	06h	Taq/verão	Taq/inverno
<b>Ordem Calanoida</b>																
<i>Notodiaptomus henseni</i> ♂ (Dahl, 1894)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	<b>100</b>	<b>83</b>
<i>Notodiaptomus</i> sp. ♀	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	<b>100</b>	<b>100</b>
<i>Argyrodiaptomus azevedoi</i> ♂ Wright, 1935								X					X		0	17
<i>Argyrodiaptomus azevedoi</i> ♀ Wright, 1935								X		X		X			0	11
Náuplio Calanoida	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	<b>100</b>	<b>100</b>
Copepodito Calanoida	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Ordem Cyclopoida</b>																
<i>Thermocyclops decipiens</i> ♂ (Kiefer, 1929)	X	X			X			X	X	X		X		X	11	50
<i>Thermocyclops decipiens</i> ♀ (Kiefer, 1929)	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	<b>44</b>	67
<i>Thermocyclops minutus</i> ♂ (Lowndes, 1934)								X	X	X	X	X	X	X	0	<b>89</b>
<i>Thermocyclops minutus</i> ♀ (Lowndes, 1934)								X	X	X	X	X	X	X	0	<b>83</b>
<i>Thermocyclops inversus</i> ♂ (Lowndes, 1934)								X							0	0
<i>Thermocyclops inversus</i> ♀ (Lowndes, 1934)								X							0	0
<i>Mesocyclops ogunnus</i> ♂ Onabaniro 1957	X							X	X					X	0	17
<i>Mesocyclops ogunnus</i> ♀ Onabaniro 1957	X	X			X			X	X	X	X				11	28
Náuplio Cyclopoida	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	<b>100</b>	<b>100</b>
Copepodito Cyclopoida	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	<b>100</b>	<b>100</b>



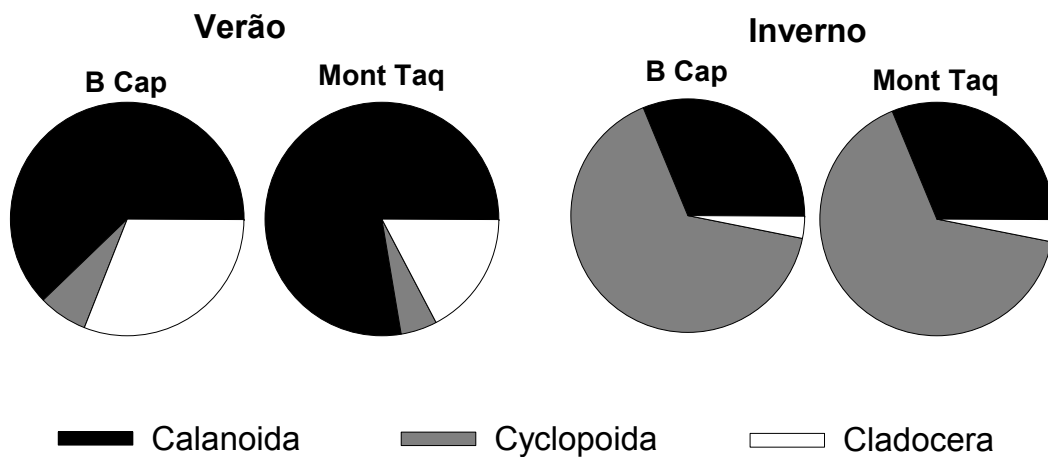
**Figura 2.** Variação da riqueza nas estações de coleta Barragem Capivara (B Cap) e Montante Taquaruçu (Mont Taq), nos diversos horários, durante os períodos de amostragem.

### Abundância

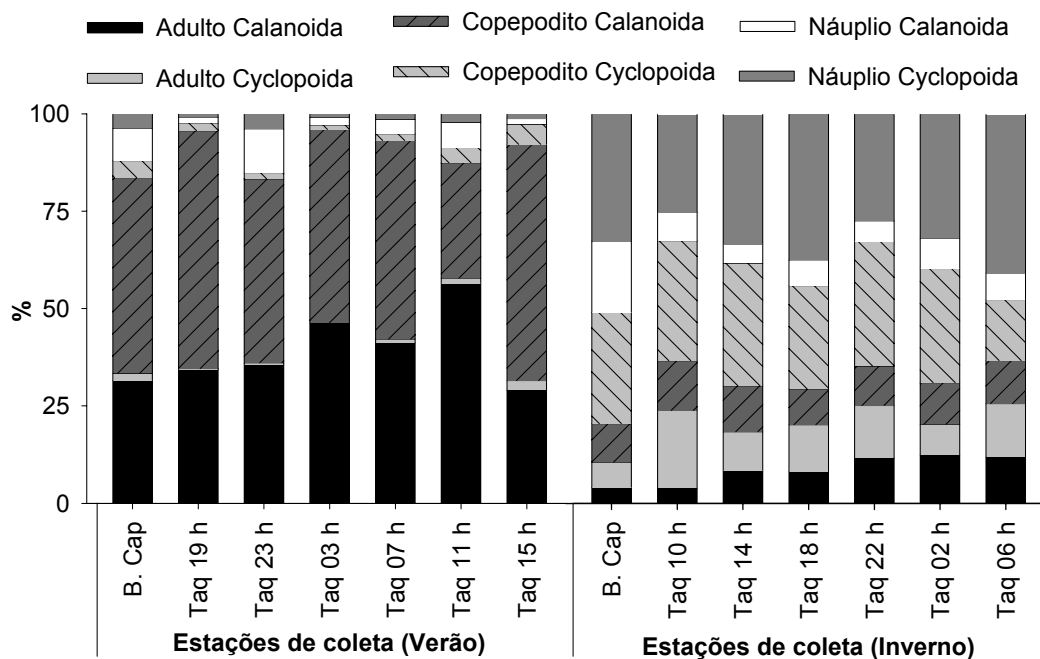
A abundância relativa dos grupos zooplancônicos variou conforme o período sazonal. No verão, o sistema B Cap / Mont Taq foi dominado pela ordem Calanoida (62% B Cap; 77% Mont Taq), seguida por Cladocera (31% B Cap; 17% Mont Taq), e em menor proporção por Cyclopoida (7% B Cap; 5% Mont Taq). No entanto, para o inverno houve uma inversão nas proporções, com maiores valores para Cyclopoida (66% B Cap; 71% Mont Taq), Calanoida (31% B Cap; 22% Mont Taq) e Cladocera (3% B Cap; 7% Mont Taq), consecutivamente (Figura 3). Dentre os indivíduos de Copepoda estão inclusos os diferentes estágios de desenvolvimento (náuplios, copepoditos e adultos).

Em relação aos copépodes, observou-se que durante o verão, os adultos e copepoditos de Calanoida foram predominantes, porém no inverno, náuplios e copepoditos de Cyclopoida estiveram presentes em maior abundância (Figura 4).

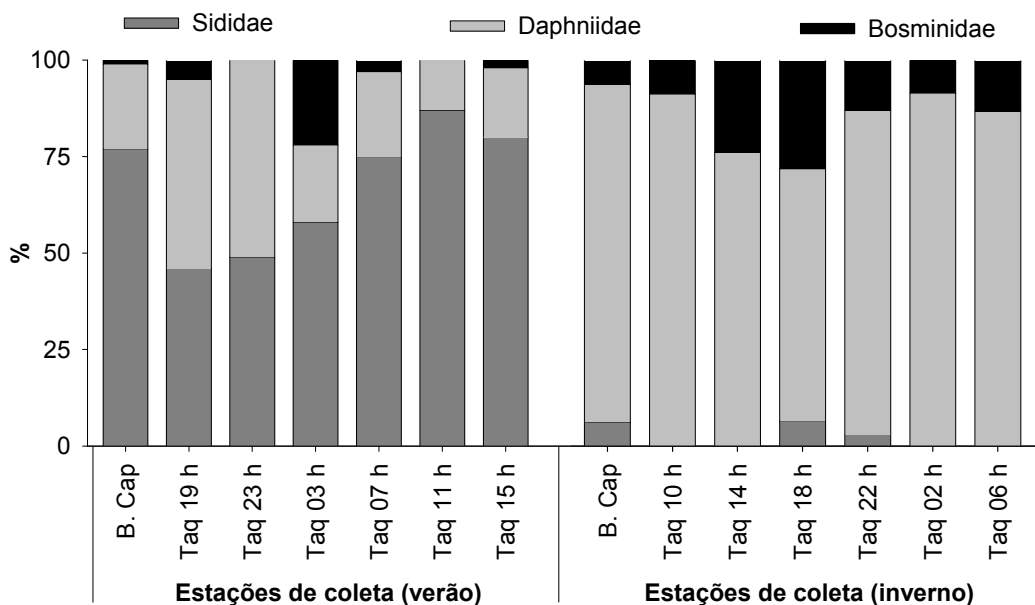
Para Cladocera, durante o verão, a família Sididae foi dominante na estação de coleta B Cap e na maioria dos horários da estação Mont Taq, seguida por Daphniidae e em menores proporções por Bosminidae. No inverno, a família Daphniidae foi dominante, com mais de 70% da abundância em todas as estações de coleta. A família Bosminidae apresentou baixa abundância em todos os locais e a família Sididae, que era dominante durante o verão, apareceu em baixas proporções e apenas nas estações B Cap, Mont Taq\_18h e Mont Taq\_22h (Figura 5).



**Figura 3.** Variação na proporção de Copepoda Calanoida, Copepoda Cyclopoida e Cladocera nas estações de coleta Barragem Capivara (B Cap) e Montante Taquaruçu (Mont Taq), durante os períodos sazonais estudados (verão e inverno).



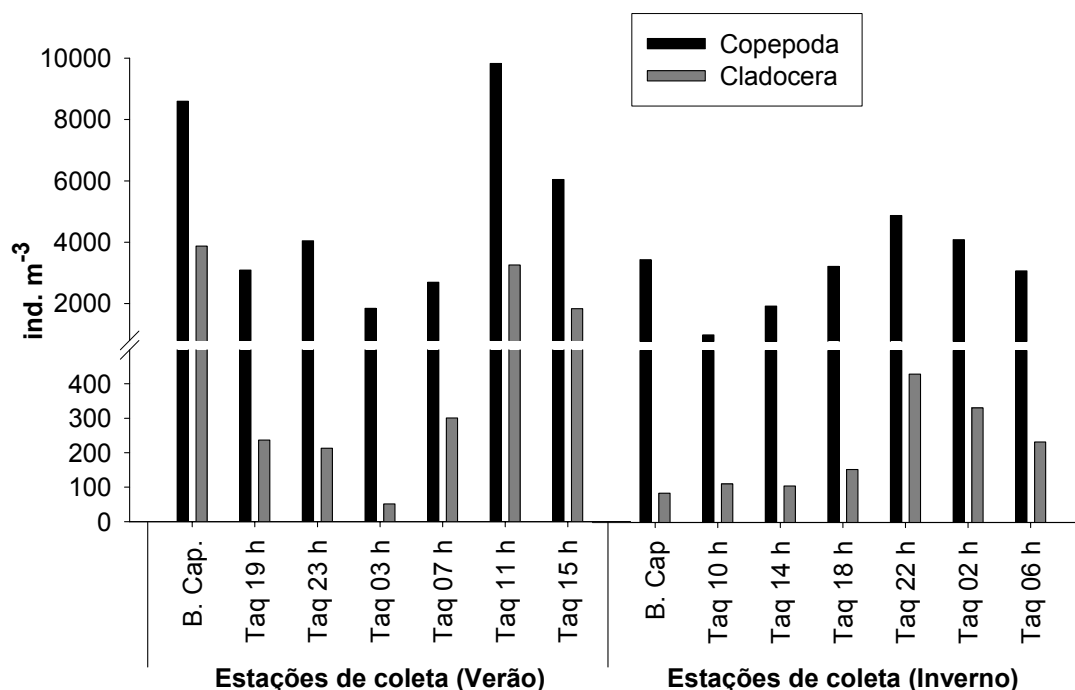
**Figura 4.** Abundância relativa de náuplios, copepoditos e adultos de Copepoda Calanoida e Copepoda Cyclopoida nas estações de coleta Barragem Capivara (B Cap) e nos diversos horários em Montante Taquaruçu (Taq\_h), durante os períodos sazonais estudados (verão e inverno).



**Figura 5.** Abundância relativa das famílias de Cladocera nas estações de coleta Barragem Capivara (B Cap) e nos diversos horários em Montante Taquaruçu (Taq\_h), durante os períodos sazonais estudados (verão e inverno).

Em relação à abundância total, houve grande variação de valores, conforme o período sazonal e o horário de estudo nas estações de jusante (Mont Taq). De maneira geral as maiores abundâncias foram registradas durante o verão. Na estação B Cap, a abundância foi de 8595 ind. m<sup>-3</sup> para Copepoda e 3874 ind. m<sup>-3</sup> para Cladocera durante o período de verão, enquanto no inverno, esses valores diminuíram para 3523 e 85 ind. m<sup>-3</sup> de Copepoda e Cladocera, respectivamente (Figura 6).

Na estação Mont Taq, houve grande variação na abundância média (diferentes profundidades) conforme o horário estudado. Durante o verão, a maior abundância ocorreu em Mont Taq\_11 h (9822 ind. m<sup>-3</sup> para Copepoda; 3256 ind. m<sup>-3</sup> para Cladocera), enquanto que a menor foi registrada em Mont Taq\_03 h (1845 ind. m<sup>-3</sup> para Copepoda; 51 ind. m<sup>-3</sup> para Cladocera). No inverno, a estação de coleta Mont Taq\_22 h apresentou o valor máximo para o período, com 4953 ind. m<sup>-3</sup> de Copepoda e 430 ind. m<sup>-3</sup> para Cladocera, a menor abundância ocorreu em Mont Taq\_10 h com 1105 ind. m<sup>-3</sup> de Copepoda e 111 ind. m<sup>-3</sup> de Cladocera (Figura 6).



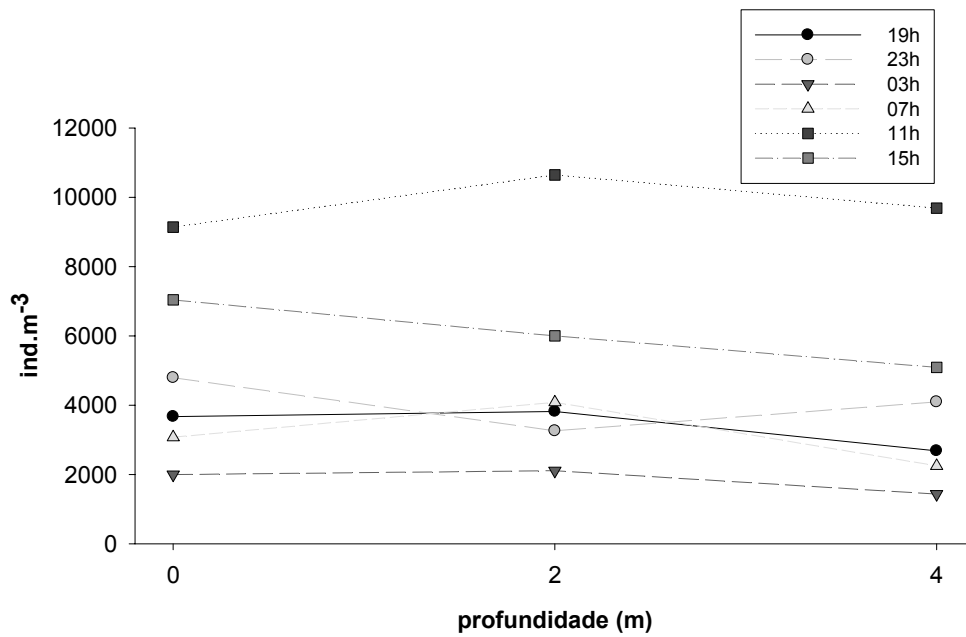
**Figura 6.** Variação da abundância do zooplâncton (Copepoda e Cladocera) na estação de coleta Barragem Capivara (B Cap) e nos diferentes horários da estação Montante Taquaruçu (Taq\_h) (abundância média entre as diferentes profundidades), durante os dois períodos sazonais estudados.

A variação da abundância total para Copepoda e Cladocera nas diferentes profundidades (0, 2 e 4 m) da estação Mont Taq não mostrou grande variabilidade, sendo as maiores diferenças encontradas entre os valores médios da coluna d'água para os diferentes horários do ciclo nictemeral (Figuras 7, 8, 9 e 10). Não foi encontrado um padrão de distribuição vertical do zooplâncton entre os horários diurnos e noturnos.

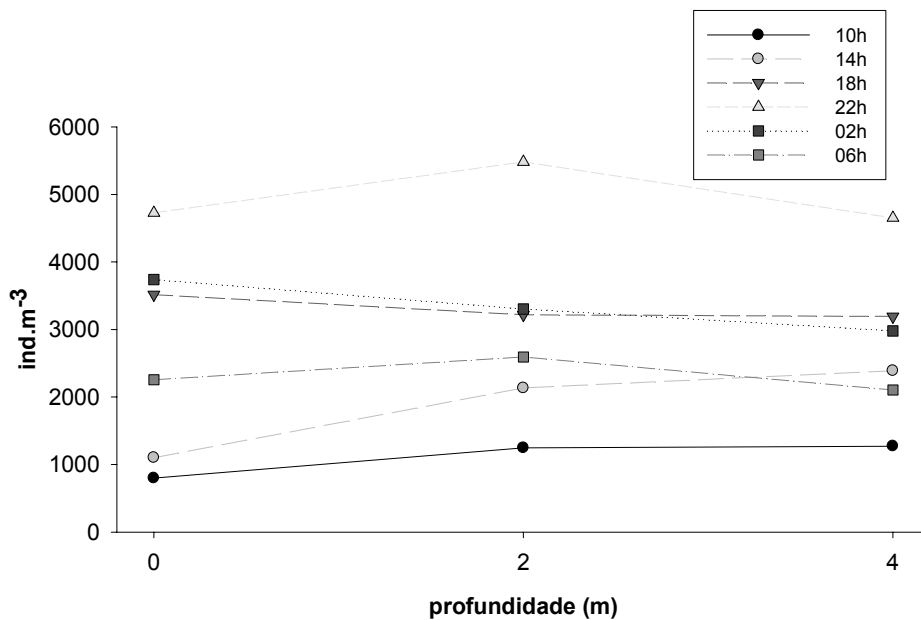
Sobre a ordem Calanoida, no verão, os náuplios e copepoditos foram sempre mais abundantes que os Cyclopoida nas estações B Cap e em todas as profundidades e horários na Mont Taq. Em termos de abundância total, os copepoditos de Calanoida foram sempre superiores em relação aos náuplios. As maiores abundâncias ocorreram em Mont Taq\_15 h, com 2500 ind. m<sup>-3</sup> para copepoditos e 640 ind. m<sup>-3</sup> de náuplios, (Figuras 11 e 12).

No período de inverno, as proporções entre Calanoida e Cyclopoida inverteram-se, com dominância dos cyclopóides. Houve uma relativa igualdade nas proporções entre copepoditos e náuplios de Cyclopoida. Na estação de coleta Mont Taq\_22 h ocorreram às maiores abundâncias para copepoditos (1800 ind. m<sup>-3</sup>) e náuplios (1540 ind. m<sup>-3</sup>) da ordem Cyclopoida (Figuras 13 e 14).

Em ambos os períodos sazonais estudados, não houve uma distribuição vertical marcadamente diferenciada de copepoditos e náuplios dentro de cada horário, registrando apenas variações em toda a coluna d'água dentre os horários.

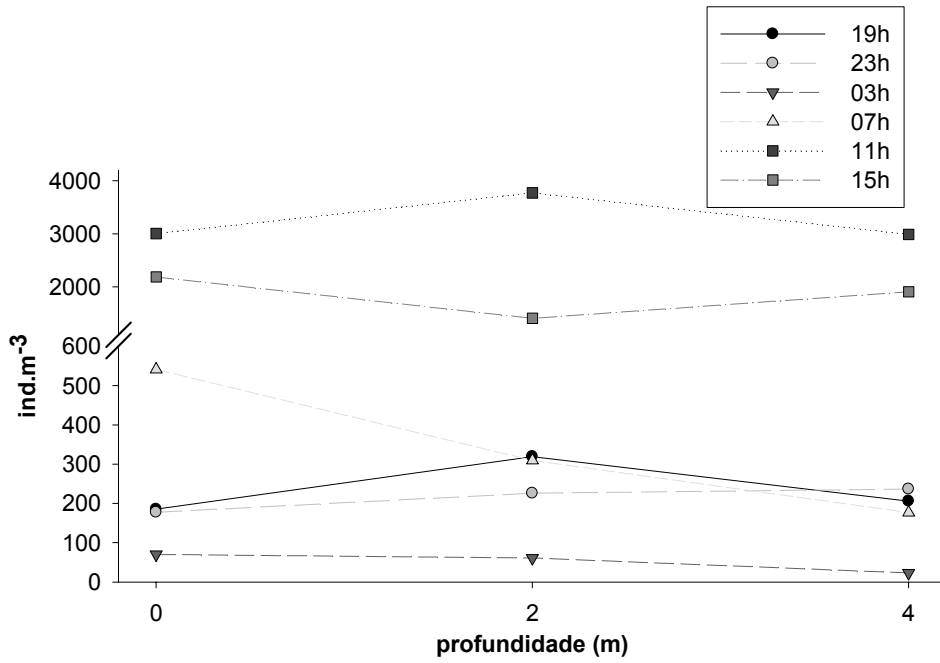


**Figura 7.** Variação da abundância total de Copepoda nas diferentes profundidades e horários da estação de coleta Montante Taquaruçu durante o período de verão.

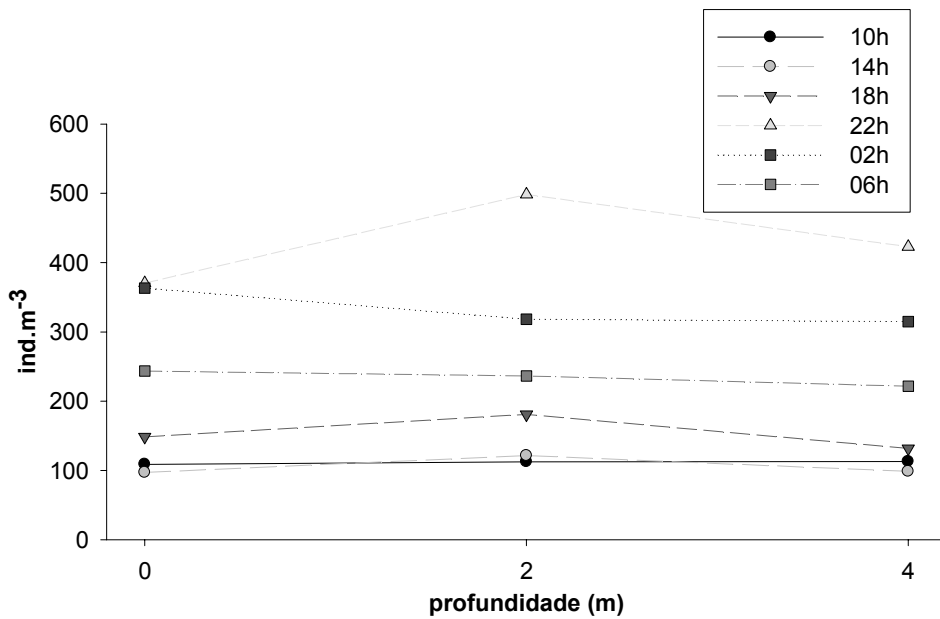


**Figura 8.** Variação da abundância total de Copepoda nas diferentes profundidades e horários da estação de coleta Montante Taquaruçu durante o período de inverno.

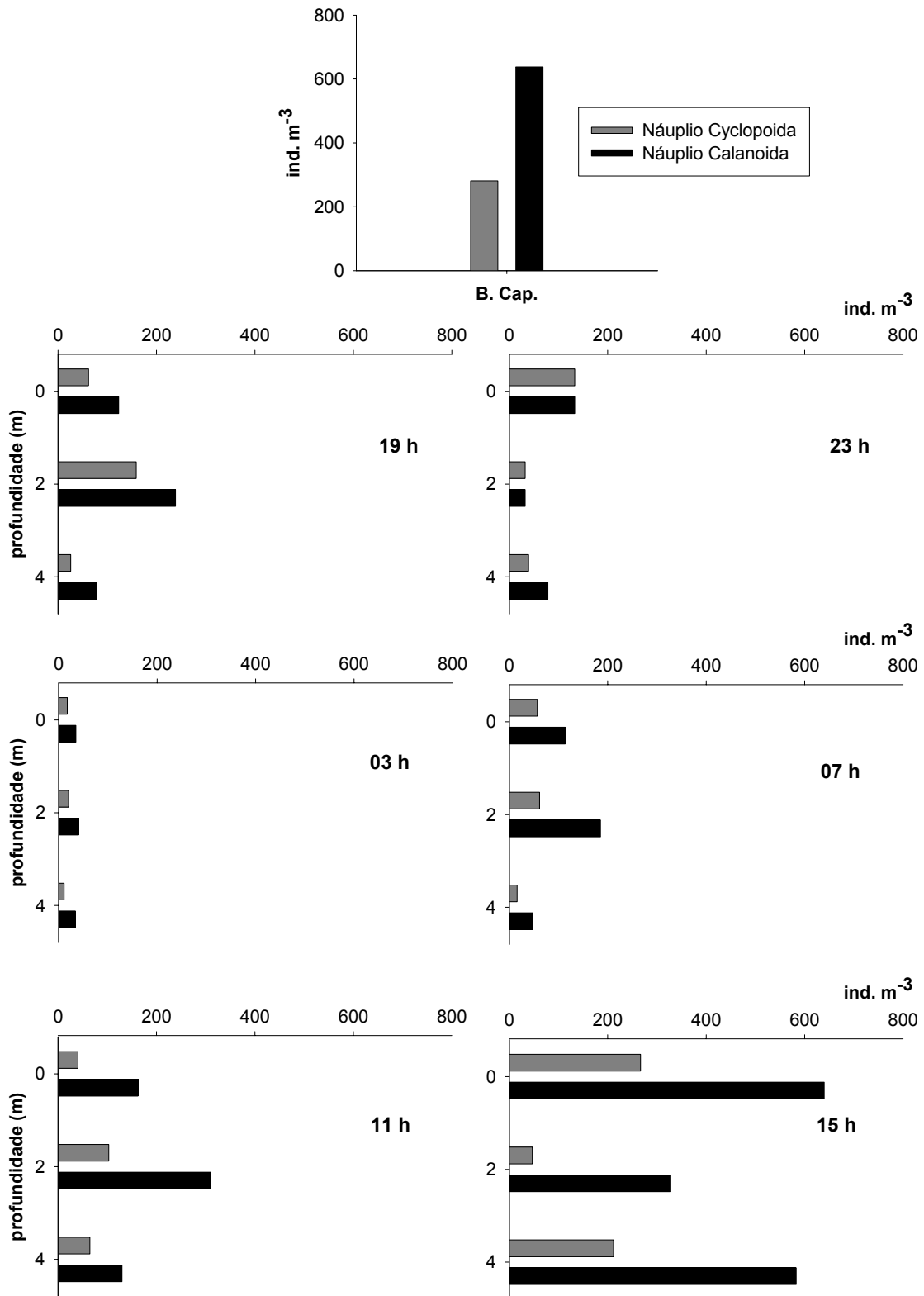




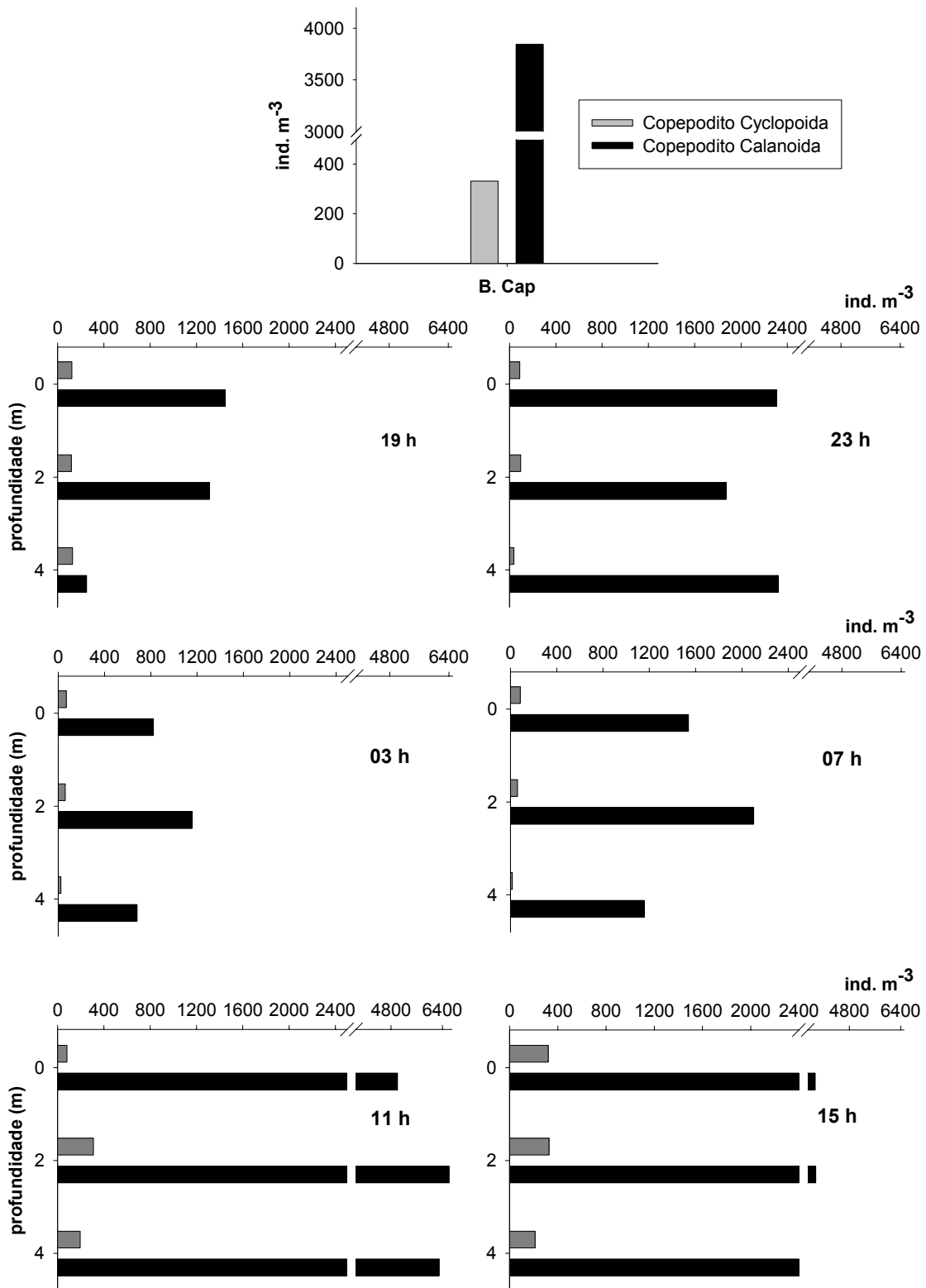
**Figura 9.** Variação da abundância total de Cladocera nas diferentes profundidades e horários da estação de coleta Montante Taquaruçu durante o período de verão.



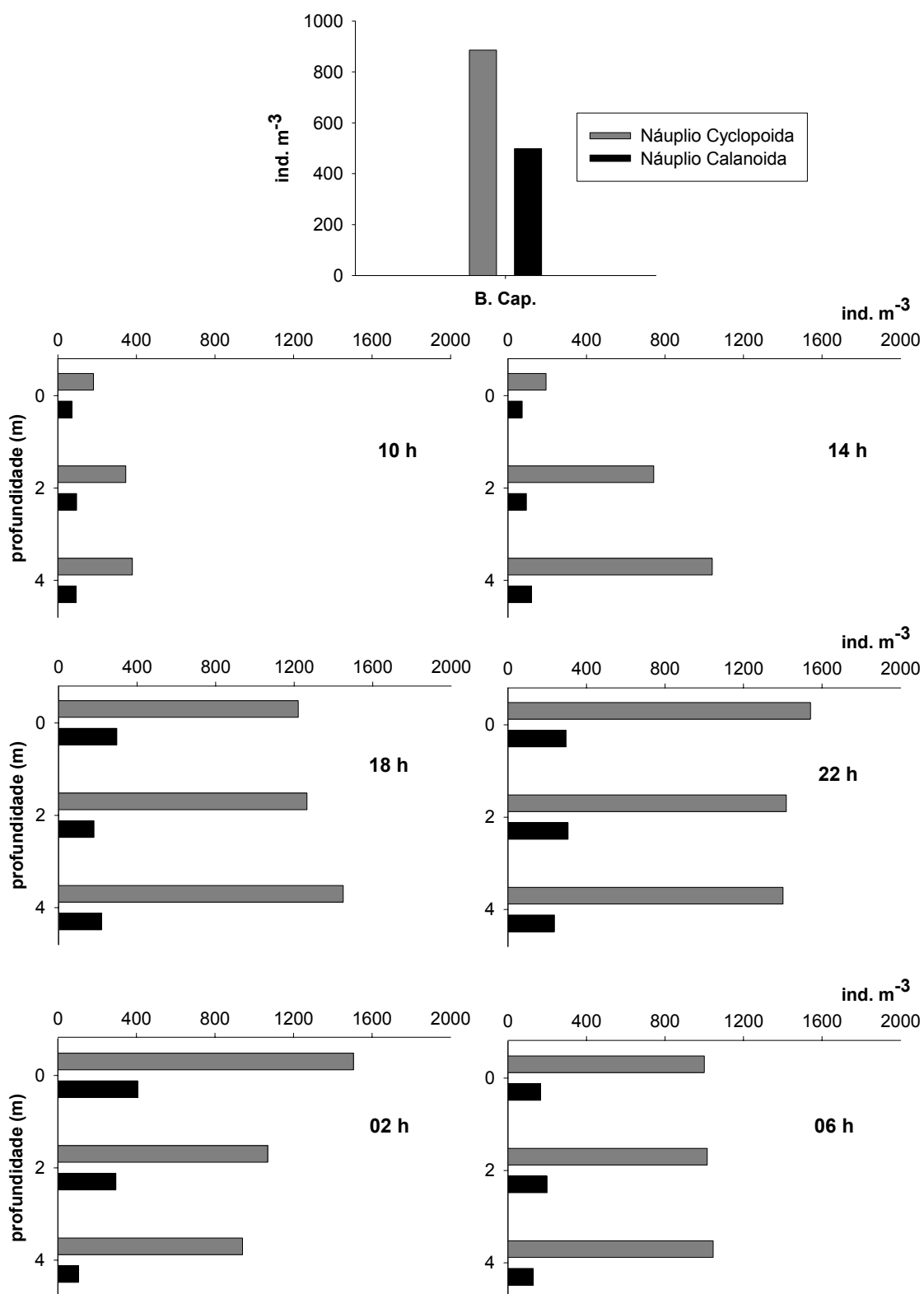
**Figura 10.** Variação da abundância total de Cladocera nas diferentes profundidades e horários da estação de coleta Montante Taquaruçu durante o período de inverno.



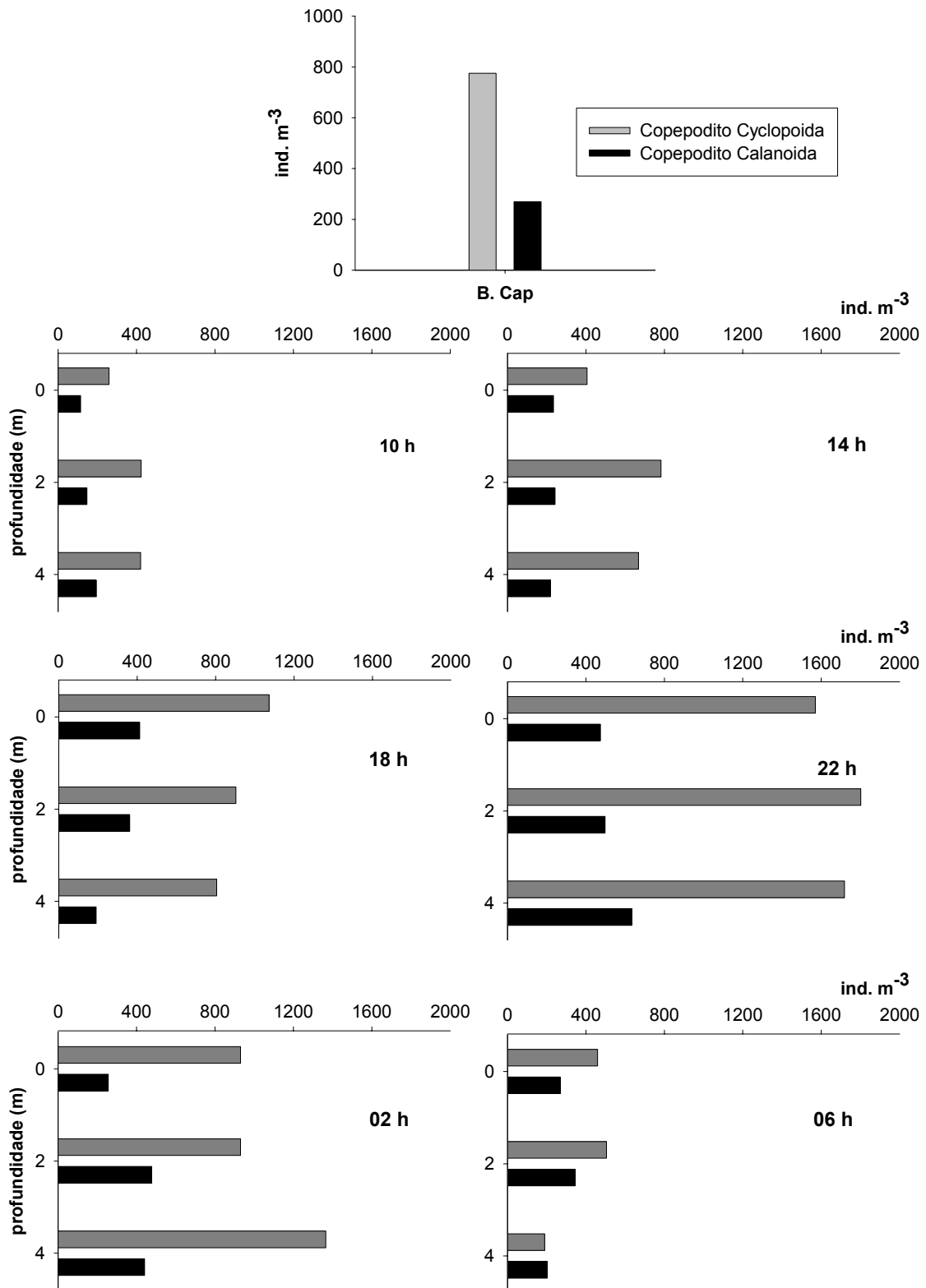
**Figura 11.** Variação da abundância de náuplios de Cyclopoida e Calanoida na estação de coleta Barragem Capivara (B. Cap.) e nas diferentes profundidades e horários em Montante Taquaruçu, durante o período de verão.



**Figura 12.** Variação da abundância de copepoditos de Cyclopoida e Calanoida na estação de coleta Barragem Capivara (B Cap) e nas diferentes profundidades e horários em Montante Taquaruçu, durante o período de verão.



**Figura 13.** Variação da abundância de náuplios de Cyclopoida e Calanoida na estação de coleta Barragem Capivara (B Cap) e nas diferentes profundidades e horários em Montante Taquaruçu, durante o período de inverno.



**Figura 14.** Variação da abundância de copepoditos de Cyclopoida e Calanoida na estação de coleta Barragem Capivara (B Cap) e nas diferentes profundidades e horários em Montante Taquaruçu, durante o período de inverno.

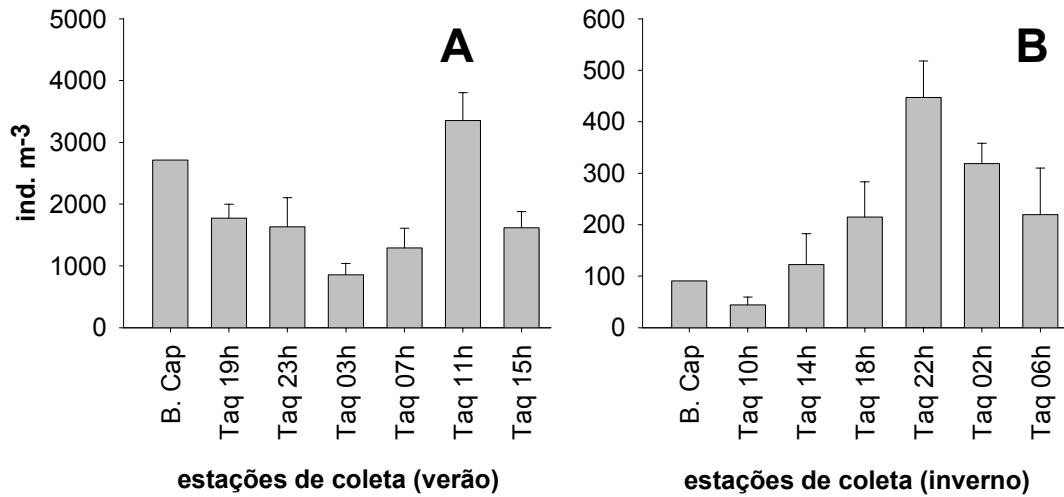
Dentre os copépodes mais abundantes e freqüentes destacou-se o calanóide *Notodiaptomus henseni* machos e fêmeas deste mesmo gênero, não discriminados ao nível de espécie. Na figura 15 é mostrada a abundância média na coluna d'água, com os respectivos desvios-padrão (diferentes profundidades) do gênero *Notodiaptomus*, o qual apresentou alta abundância em ambos os períodos analisados.

Durante o verão foi observado a maior abundância do gênero *Notodiaptomus* em Mont Taq\_11 h (3350 ind. m<sup>-3</sup>) e menor em Mont Taq\_03 h (845 ind. m<sup>-3</sup>). No inverno, o pico máximo foi em Mont Taq\_22 h (447 ind. m<sup>-3</sup>) e o mínimo em Mont Taq\_10 h (44 ind. m<sup>-3</sup>). Na estação B Cap durante o verão a abundância foi de 2711 ind. m<sup>-3</sup>, enquanto no inverno de 91 ind. m<sup>-3</sup>.

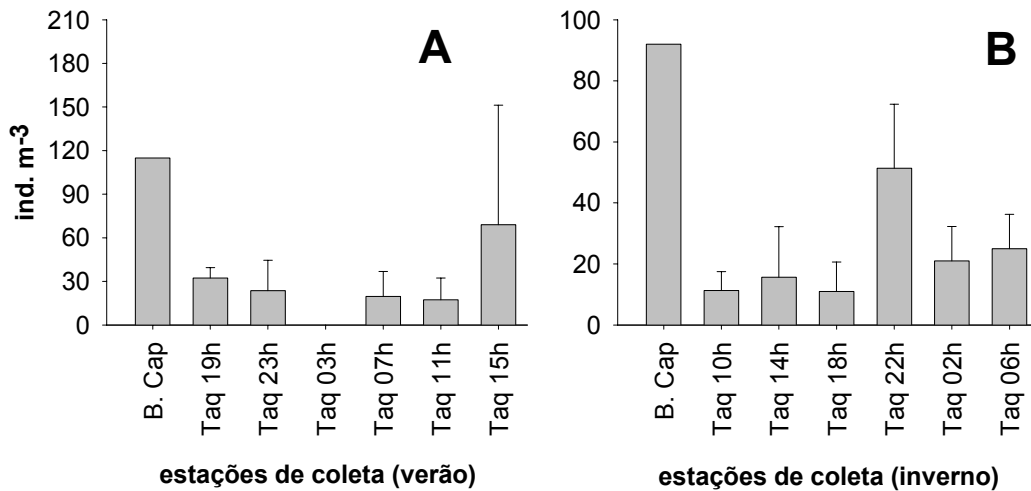
O calanóide *Argyrodiaptomus azevedoi* foi registrado apenas durante o inverno, com uma baixa abundância de indivíduos (22 ind. m<sup>-3</sup>) em B Cap e apenas nos horários das 22 e 02 h na estação Mont Taq, também em baixos valores (15 ind. m<sup>-3</sup>).

Com relação aos Cyclopoida, a espécie *Thermocyclops decipiens* apresentou a maior abundância média durante o verão, com padrão semelhante de distribuição, entre os horários, observado para o gênero *Notodiaptomus*. (Figura 16).

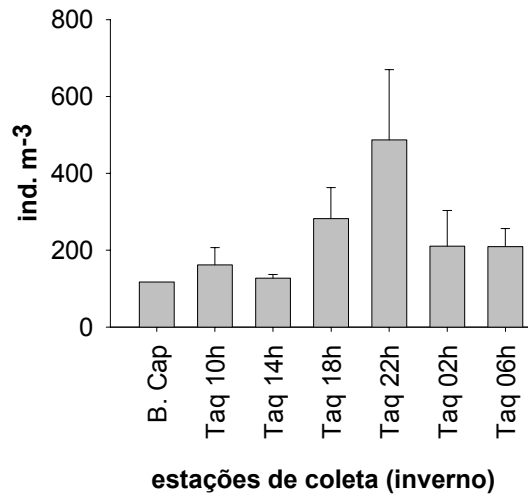
A espécie *Thermocyclops minutus* foi registrada apenas durante o período de inverno, com alta abundância em Mont Taq\_22h e menor abundância em Mont Taq\_14h (Figura 17), sendo os valores superiores aos encontrados para a espécie *Thermocyclops decipiens*. A espécie *Thermocyclops inversus* esteve presente apenas em B Cap durante o inverno, com baixa abundância (20 ind. m<sup>-3</sup>), já *Mesocyclops ogunnus* esteve presente no verão e inverno em B Cap e em alguns horários da estação Mont Taq, sempre em baixas abundâncias.



**Figura 15.** Variação da abundância média e desvio-padrão (n=3) dos organismos adultos de *Notodiaptomus* sp. nas diferentes estações de coleta. A: período de verão; B: período de inverno. Notar a diferença das escalas entre os gráficos.

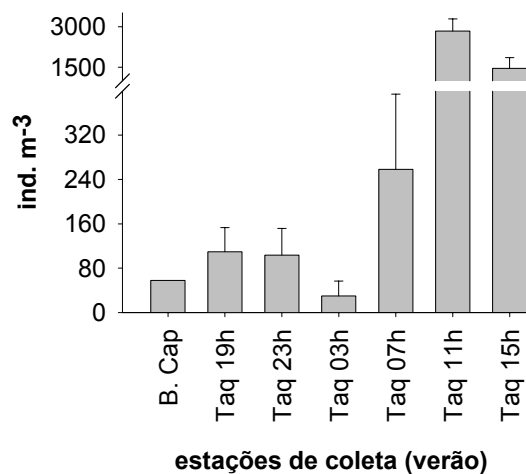


**Figura 16.** Variação da abundância média e desvio-padrão (n=3) dos organismos adultos de *Thermocyclops decipiens* nas diferentes estações de coleta. A: período de verão; B: período de inverno. Notar a diferença das escalas entre os gráficos.



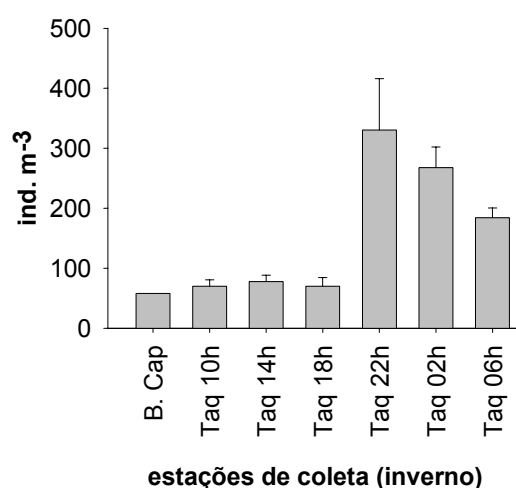
**Figura 17.** Variação da abundância média e desvio-padrão (n=3) dos organismos adultos de *Thermocyclops minutus* nas diferentes estações de coleta durante o inverno.

Em relação ao cladóceros, a maior abundância foi registrada para gênero *Diaphanosoma* sp., durante o verão (Figura 18). No inverno, a espécie *Daphnia gessneri* apresentou a maior abundância, sendo exclusiva para o período (Figura 19). Ambos os padrões de variação na abundância, entre os horários, foram semelhantes aos observados para os táxons de Copepoda, com maior número de indivíduos entre 11 e 15 h durante o verão e 22 h no inverno, e menor abundância durante as 03 h no verão e entre 10 e 14 h no inverno.



**Figura 18.** Variação da abundância média e desvio-padrão (n=3) dos organismos adultos de *Diaphanosoma* sp. nas diferentes estações de coleta durante o verão.

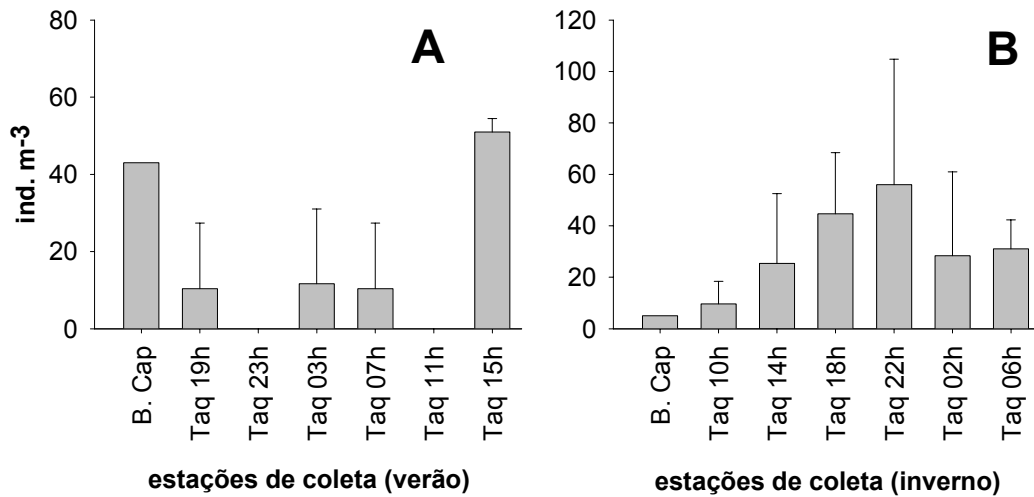




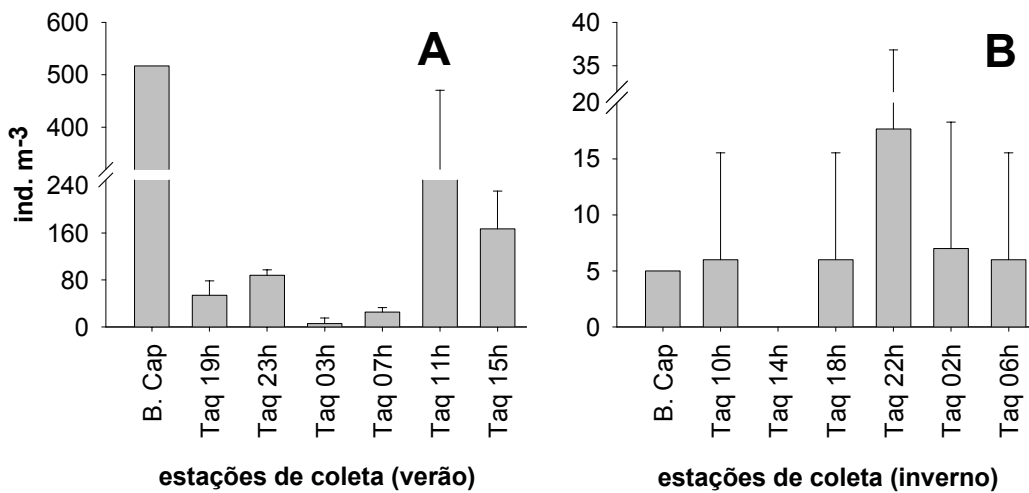
**Figura 19.** Variação da abundância média e desvio-padrão (n=3) dos organismos adultos de *Daphnia gessneri* nas diferentes estações de coleta durante o inverno.

A espécie *Bosmina hagmanni* apresentou maior número de indivíduos durante o inverno, sendo que em alguns horários do verão esteve ausente das amostras. A maior abundância encontrada foi de 59 ind. m<sup>-3</sup> no inverno, em Mont Taq\_22 h, a qual também apresentou grande desvio-padrão devido à concentração de indivíduos na profundidade correspondente a 2 m. Comparando-se verão e inverno, a espécie *Ceriodaphnia cornuta* forma *cornuta* apresentou valores superiores durante o verão, com grande número de indivíduos em B Cap (520 ind. m<sup>-3</sup>) e em Mont Taq\_11h (318 ind. m<sup>-3</sup>).

As espécies, *Ceriodaphnia sivestrii*, *Simocephalus serrulatus* e *Ceriodaphnia cornuta* forma *rigaudi* apresentaram baixa frequência de ocorrência e abundância.



**Figura 20.** Variação da abundância média e desvio-padrão (n=3) dos organismos adultos de *Bosmina hagmanni* nas diferentes estações de coleta. A: período de verão; B: período de inverno. Notar a diferença das escalas entre os gráficos.

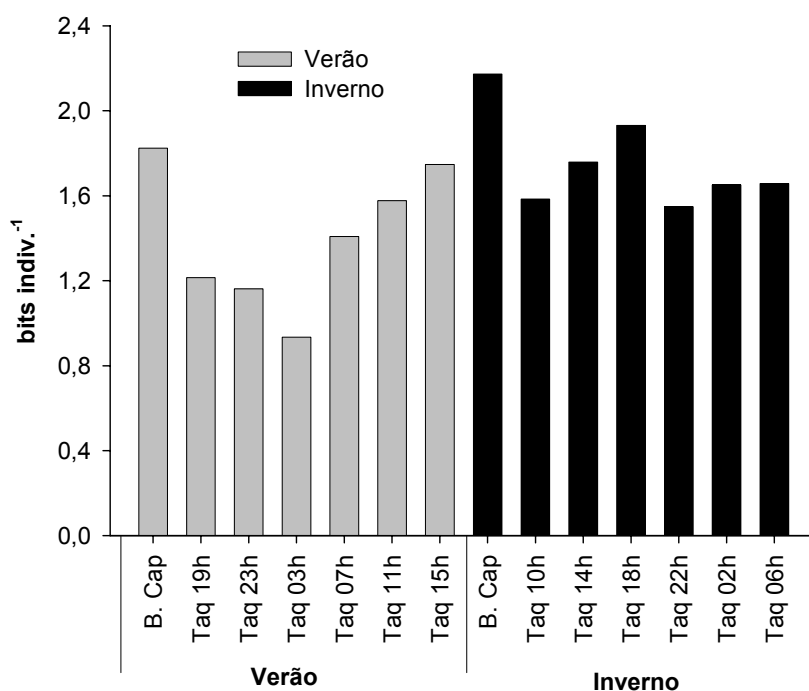


**Figura 21.** Variação da abundância média e desvio-padrão (n=3) dos organismos adultos de *Ceriodaphnia cornuta* forma *cornuta* nas diferentes estações de coleta. A: período de verão; B: período de inverno. Notar a diferença das escalas entre os gráficos.

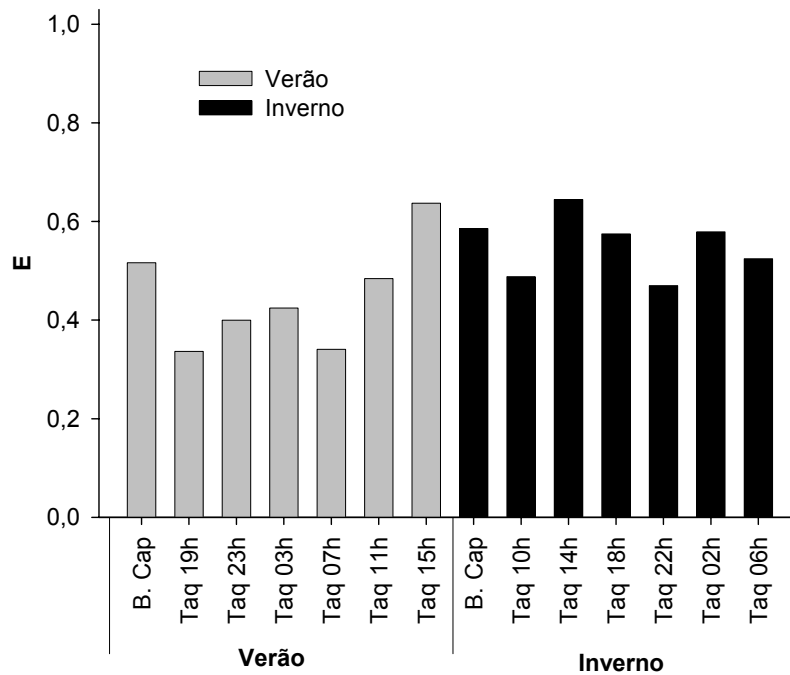
## Diversidade

Quanto à diversidade de Shannon-Wiener, no verão, os maiores valores foram encontrados nas estações B Cap e Mont Taq\_15h e menor diversidade em Mont Taq\_03 h, seguindo um padrão semelhante à abundância total dos indivíduos. No inverno, valor acima de 2,0 bits  $\text{indiv}^{-1}$  foi observado apenas em B Cap, seguido por Mont Taq\_18h com diversidade de 1,9 bits  $\text{indiv}^{-1}$  (Figura 22).

Em relação à equitabilidade, todas as estações apresentaram valores próximos a 0,5, sugerindo assembléias relativamente heterogêneas. Essa baixa equitabilidade pode estar relacionada à grande abundância de *Notodiaptomus* sp. e *Diaphanosoma* sp. durante o verão e de *Daphnia gessneri*, *Thermocyclops minutus* e *Notodiaptomus* sp. durante o inverno (Figura 23).



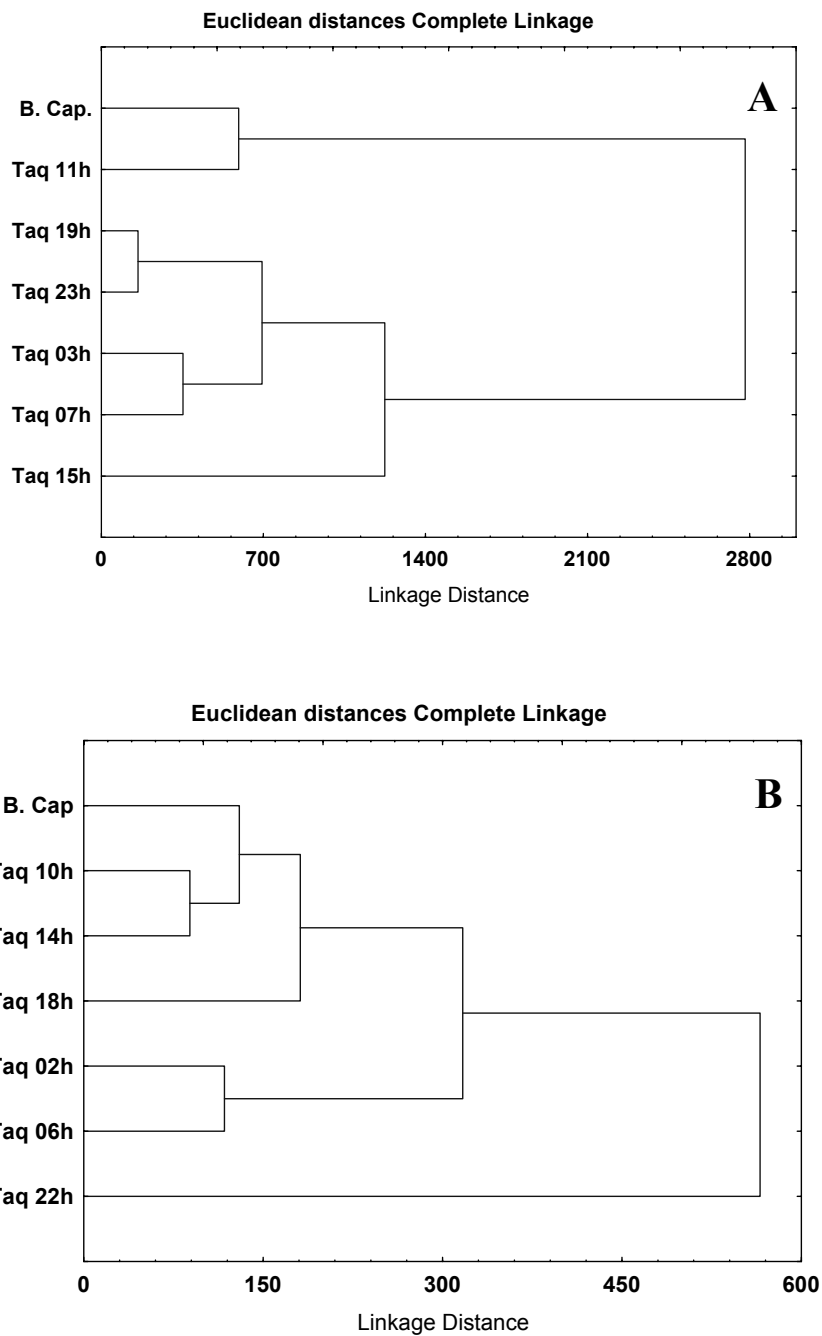
**Figura 22.** Variação da diversidade de Shannon-Wiener  $H'$  (bits  $\text{indiv}^{-1}$ ) entre as estações de coleta Barragem Capivara (B. Cap) e nos diversos horários da estação Montante Taquaruçu (Taq\_h), comparando-se os dois períodos de amostragem.



**Figura 23.** Variação da equitabilidade entre as estações de coleta Barragem Capivara (B. Cap) e nos diversos horários da estação Montante Taquaruçu (Taq\_h), comparando-se os dois períodos de amostragem.

### **Análises estatísticas e relação com variáveis limnológicas**

As análises de similaridade com base na composição e abundância do zooplâncton (Copepoda e Cladocera) demonstraram um agrupamento dos horários sob a influência de vazões semelhantes da usina hidrelétrica a montante (ver Capítulo 1). No verão e inverno as estações com horários próximos se agruparam, por exemplo, Mont Taq 03 e 07 h; Mont Taq 19 e 23 h; Mont Taq 10 e 14 h, indicando haver uma influência da variação da vazão turbinada na exportação do zooplâncton a jusante (Figura 24).



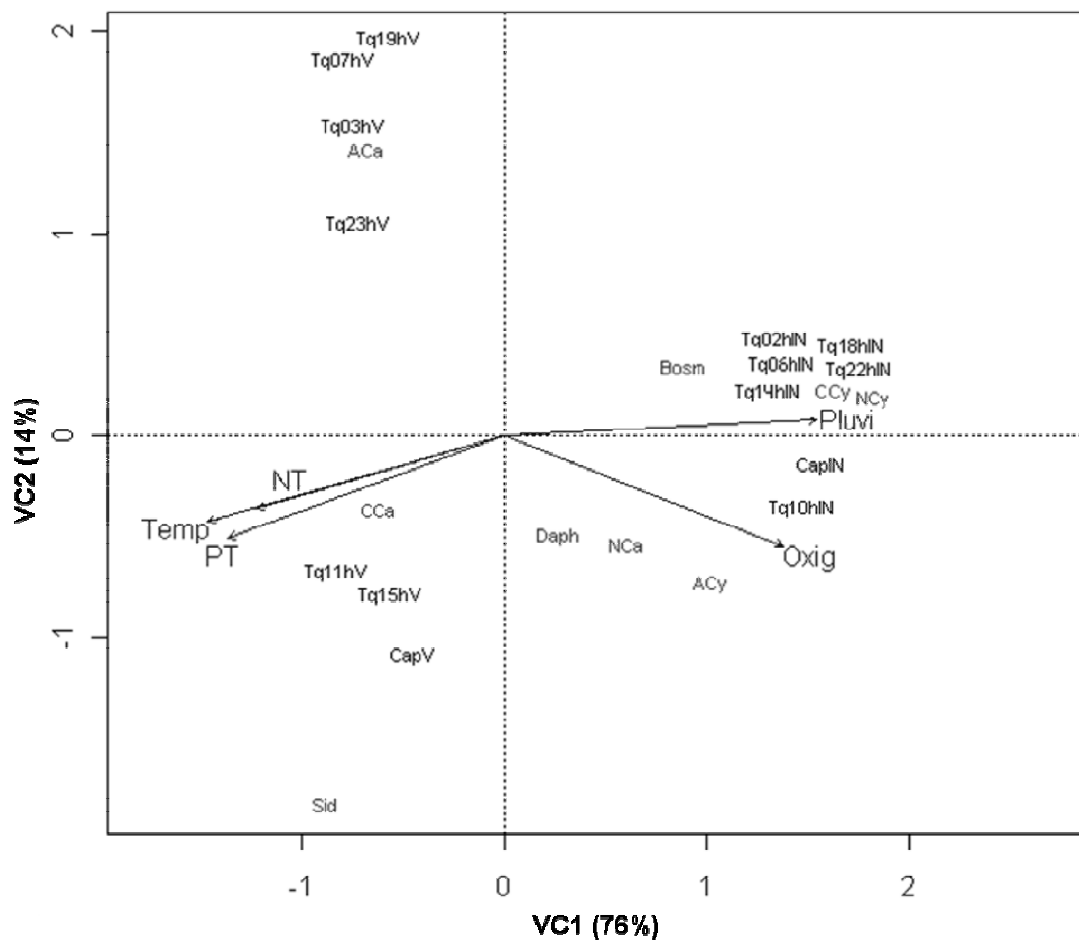
**Figura 24.** Resultado gráfico da análise de similaridade realizada entre a Barragem de Capivara (B Cap) e os diferentes horários em Montante Taquaruçu (Taq \_h), com base na composição e abundância do zooplâncton. A: período de verão; B: período de inverno.

A análise de correspondência canônica (ACC) do sistema B Cap / Mont Taq, aplicada para relacionar os microcrustáceos planctônicos com as variáveis físicas e químicas, explicou 90% das relações considerando as duas variáveis, sendo 76% na primeira variável e 14% na segunda (Figura 25).

Na primeira variável a ordem Cyclopoida (náuplios, copepoditos e adultos), Bosminidae e, em menor escala, Daphniidae estiveram associadas às estações de coleta durante o inverno (Tq\_h IN e CapIN), junto à pluviosidade e ao oxigênio dissolvido. Inversamente, a ordem Calanoida (adultos e copepoditos) e a família Sididae estiveram associadas aos altos valores da temperatura, o fósforo total e nitrogênio total, durante as coletas realizadas no verão (Tq\_h V e CapV).

Na segunda variável canônica as variáveis correlacionadas estiveram ordenadas no quadrante negativo – temperatura, nitrogênio total e fósforo total, junto com horários vespertinos (Tq11hV e Tq15hV) e a barragem Capivara (B Cap) no verão, e o oxigênio dissolvido associado a Tq10hIN e barragem Capivara, ambos no inverno.

No quadrante positivo da segunda variável, estiveram relacionados os adultos de Calanoida com os horários noturnos e matutinos no verão, e em menor escala, Bosminidae e a ordem Cyclopoida (copepoditos e náuplios) com a maioria dos horários durante o inverno (Figura 25).



**Figura 25.** Análise de correspondência canônica para abundância de Cladocera e Copepoda, nas estações de coleta na Barragem Capivara (B Cap) e nos diversos horários em Montante Taquaruçu (Tq\_h) durante o verão (V) e o inverno (IN). Legenda para variáveis limnológicas: Temp – Temperatura; NT – nitrogênio total; PT – fósforo total; Oxig – oxigênio dissolvido; Pluvi – pluviosidade. Legenda do zooplâncton: Daph – Daphniidae; Bosm – Bosminidae; Sid – Sididade; NCa – náuplio Calanoida; NCy – náuplio Cyclopoida; CCa – copepodito Calanoida; CCy – copepodito Cyclopoida; Aca – adulto Calanoida; ACy – adulto Cyclopoida.

## Sistema - Barragem Taquaruçu (B Taq) / Montante Rosana (Mont Ros)

### Composição e riqueza de espécies

Em todo o estudo foram encontrados 33 táxons diferentes dentre os Cladocera (21) e Copepoda (11), com alguns táxons de Cladocera e Copepoda não identificados ao nível específico. Cladocera foi representada pelas famílias Bosminidae, Daphniidae, Sididae, Moinidae, Sididae, Ilyocryptidae e Chydoridae. Para Copepoda, a ordem Calanoida apresentou três táxons, enquanto que a ordem Cyclopoida foi representada por oito táxons diferentes (Tabela 3).

Comparando-se sazonalmente, oito táxons de Cladocera (*Bosminopsis deitersi*, *Diaphanosoma brevireme*, *Diaphanosoma spinulosum*, *Latonopsis australis*, *Ilyocryptus spinifer*, *Alona verrucosa* e Chydoridae sp) e um Copepoda (*Mesocyclops meridianus*) foram exclusivos para o período de verão (Tabela 3). A família Chydoridae apresentou três táxons (*Nicsmirvovius incredibilis*, *Alona intermedia* e *Notoalona sculpta*) restritos ao período de inverno, enquanto que os copépodes apresentaram uma espécie de Calanoida (*Argyrodiaptomus azevedoi*) e três de Cyclopoida (*Microcyclops anceps anceps*, *Paracyclops chiltoni*, e *Eucyclops* sp.) exclusivas para esse período (Tabela 3).

Durante os dois períodos sazonais estudados, a família Chydoridae esteve presente apenas nas estações da zona a jusante da barragem (Mont Ros), o mesmo acontecendo para os táxons *Latonopsis australis*, *Ilyocryptus spinifer* e *Thermocyclops minutus* para o período de verão. No inverno o número de táxons restritos na zona a jusante da barragem foi maior, totalizando mais 7 táxons diferentes (*Argyrodiaptomus azevedoi*, *Microcyclops anceps anceps*, *Paracyclops chiltoni*, *Eucyclops* sp.,



*Ceriodaphnia cornuta* forma *rigaudi*, *Ceriodaphnia cornuta* forma *intermedia* e *Moina minuta*) (Tabela 3).

Em geral, a riqueza de espécies na estação de coleta B Taq foi menor do que a encontrada nos diferentes horários da estação Mont Ros, devido principalmente ao acréscimo de espécies com características litorâneas e bentônicas encontradas no canal central do rio, na estação Mont Ros (Figura 26). A riqueza encontrada nos rios Pirapó e Pirapozinho foi baixa. No verão, encontrou-se apenas um táxon no rio Pirapozinho (*Thermocyclos decipiens*), e no inverno, três táxons no rio Pirapó (*Alona intermedia*, *Notoalona sculpta* e *Paracyclops chiltoni*) e mais três no rio Pirapozinho (*Alona intermedia*, *Notoalona sculpta* e *Ceriodaphnia silvestrii*).

Em relação à frequência de ocorrência na estação Mont Ros (considerando os diversos horários e profundidades), apenas alguns táxons, além dos náuplios e copepoditos de Calanoida e Cyclopoida, estiveram presentes em todas as amostragens durante o verão e inverno (Tabela 3).

Dentre os cladóceros, as maiores frequências de ocorrência (acima de 80%) ocorreram para *Bosmina haghmani*, *Ceriodaphnia cornuta* e *Daphnia gessneri* para ambos os períodos sazonais. No verão, *Moina minuta* também apresentou grande frequência, chegando a 94% das amostras. No inverno, *Ceriodaphnia silvestrii* apresentou uma frequência de 96%. As espécies da família Chydoridae apresentaram baixa frequência, não ultrapassando os 30% durante o verão e o inverno.

Na ordem Calanoida, o gênero *Notodiaptomus* ocorreu em cem por cento das amostras durante os dois períodos sazonais estudados, já *Argyrodiaptomus azevedoi* ocorreu apenas no inverno e em baixa frequência. Dentre os Cyclopoida *Thermocyclops decipiens*, no verão e inverno, e *Thermocyclops minutus*, somente no inverno,

alcançaram os maiores valores, acima de 95%. Os demais táxons tiveram uma frequência de ocorrência abaixo dos 50% (Tabela 3).

**Tabela 3.** Lista de espécies de Copepoda e Cladocera, frequência de ocorrência (N= 36 amostras no verão e 24 no inverno) e presença (x) ou ausência ( ) nas estações de coleta Barragem Taquaruçu e Montante Rosana. Em negrito estão as maiores frequências de ocorrência. Para presença e ausência e frequência de ocorrência (FR%) foram consideradas todas as profundidades em Montante Rosana.

CLADOCERA	Verão		Montante Rosana Verão					Inverno		Montante Rosana Inverno					FR (%)	
	B.Taq.	17h	21h	01h	05h	09h	13h	B.Taq.	10h	14h	18h	22h	02h	06h	Ros/verão	Ros/inverno
<b>Bosminidae</b>																
<i>Bosmina hagdmani</i> Stingelin, 1904	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	<b>97</b>	<b>100</b>
<i>Bosminopsis deitersi</i> Richard, 1895		X	X	X	X	X	X								<b>69</b>	0
<b>Daphniidae</b>																
<i>Ceriodaphnia cornuta</i> Sars, 1886 forma <i>cornuta</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	<b>100</b>	<b>88</b>
<i>Ceriodaphnia cornuta</i> forma <i>intermedia</i>	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		<b>100</b>	33
<i>Ceriodaphnia cornuta</i> forma <i>rigaudi</i>	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	<b>92</b>	25
<i>Ceriodaphnia silvestrii</i> Daday, 1902	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	42	<b>96</b>
<i>Daphnia gessneri</i> Herbst, 1967	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	<b>97</b>	<b>100</b>
<i>Simocephalus serrulatus</i> (Koch, 1841)	X		X	X	X	X		X	X	X		X			28	17
<b>Moinidae</b>																
<i>Moina minuta</i> Hansen, 1899	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	<b>94</b>	<b>29</b>
<b>Sididae</b>																
<i>Diaphanosma birgei</i> Korinech, 1981	X			X	X			X							6	0
<i>Diaphanosma brevirreme</i> Sars, 1901	X				X										6	0
<i>Diaphanosma spinulosum</i> Herbst, 1976	X	X	X	X	X	X	X								47	0
<i>Latonopsis australis</i> Sars, 1888					X										3	0
<b>Ilyocryptidae</b>																
<i>Ilyocryptus spinifer</i> Herrick, 1882		X	X		X										8	0

**Tabela 3.** Continuação.

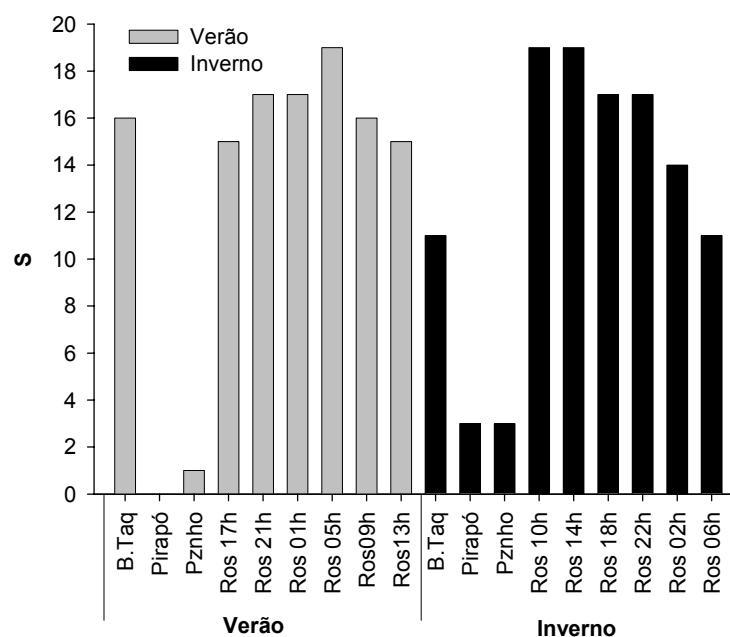
CLADOCERA	Verão		Montante Rosana Verão					Inverno		Montante Rosana Inverno					FR (%)	
	B.Taq.	17h	21h	01h	05h	09h	13h	B.Taq.	10h	14h	18h	22h	02h	06h	Ros/verão	Ros/inverno
<b>Chydoridae</b>																
<i>Euryalona brasiliensis</i> Brehm & Thomsen, 1936				X	X						X	X			6	8
<i>Alona intermedia</i> Sars, 1862									X	X	X	X		X	0	29
<i>Alona verrucosa</i> (Sars, 1901)						X	X								6	0
<i>Nicsmirvovius incredibilis</i> Smirnov, 1984									X	X					0	8
<i>Alona guttata</i> Sars, 1862		X	X							X					6	4
<i>Notoalona sculpta</i> (Sars, 1901)									X	X		X			0	13
Chydoridae sp.							X								6	0

**Tabela 3.** Continuação.

SUB-CLASSE COPEPODA	Verão	Montante Rosana Verão						Inverno	Montante Rosana Inverno						FR (%)	
	B.Taq.	17h	21h	01h	05h	09h	13h	B.Taq.	10h	14h	18h	22h	02h	06h	Ros/verão	Ros/inverno
<b>Ordem Calanoida</b>																
<i>Notodiaptomus henseni</i> ♂ (Dahl, 1894)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	100	100
<i>Notodiaptomus</i> sp. ♀	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	100	100
<i>Argyrodiaptomus azevedoi</i> ♂ Wright, 1935											X	X		0	8	
<i>Argyrodiaptomus azevedoi</i> ♀ Wright, 1935													X	0	4	
Náuplio Calanoida	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	100	100
Copepodito Calanoida	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	100	100
<b>Ordem Cyclopoida</b>																
<i>Thermocyclops decipiens</i> ♂ (Kiefer, 1929)	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	100	42
<i>Thermocyclops decipiens</i> ♀ (Kiefer, 1929)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	97	100
<i>Thermocyclops minutus</i> ♂ (Lowndes, 1934)					X			X	X	X	X	X	X	X	3	96
<i>Thermocyclops minutus</i> ♀ (Lowndes, 1934)						X		X	X	X	X	X	X	X	8	100
<i>Mesocyclops meridianus</i> ♂ Kiefer, 1926	X														0	0
<i>Mesocyclops meridianus</i> ♀ Kiefer, 1926	X	X	X	X											17	0
<i>Mesocyclops ogunnus</i> ♂ Onabaniro 1957	X		X	X		X	X								22	0
<i>Mesocyclops ogunnus</i> ♀ Onabaniro 1957	X				X				X						3	8
<i>Microcyclops anceps anceps</i> (Richard, 1897)											X				0	4
<i>Paracyclops chiltoni</i> ♂ (Thomson, 1882)									X	X	X	X	X		0	46
<i>Acanthocyclops robustus</i> ♂ (Sars, 1863)								X							0	0
<i>Eucyclops</i> sp. ♂									X	X	X	X	X		0	25

**Tabela 3.** Continuação.

<b>Sub-Classe Copepoda</b>	Verão	Montante Rosana Verão						Inverno	Montante Rosana Inverno						FR (%)	
	B.Taq.	17h	21h	01h	05h	09h	13h	B.Taq.	10h	14h	18h	22h	02h	06h	Ros/verão	Ros/inverno
<b>Ordem Cyclopoida</b>																
Náuplio Cyclopoida	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	<b>100</b>	<b>100</b>
Copepodito Cyclopoida	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	<b>100</b>	<b>100</b>



**Figura 26.** Variação na riqueza nas estações de coleta Barragem Taquaruçu (B Taq), rio Pirapó, rio Pirapozinho (Pznho) e Montante Rosana, nos diversos horários, comparando-se os dois períodos de amostragem.

### Abundância

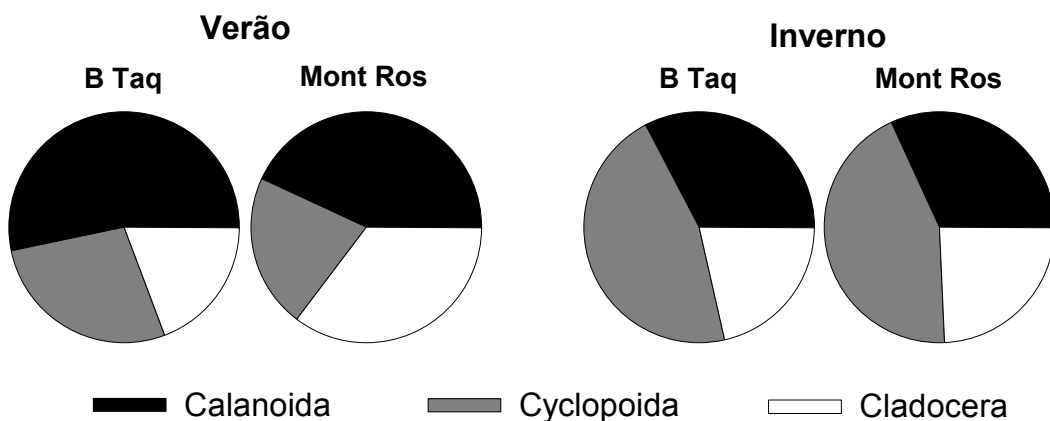
A abundância relativa dos grupos zooplancctônicos variou sazonalmente no sistema B Taq / Mont Ros. No verão houve dominância da ordem Calanoida, seguida por Cladocera e Cyclopoida. No entanto, para o período de inverno houve uma mudança, com maior proporção de Cyclopoida, seguida de Calanoida e por último de Cladocera (Figura 27).

Em relação aos diferentes estágios de desenvolvimento dos copépodes, observou-se, durante o verão e inverno, maiores proporções de copepoditos, com dominância de Calanoida no verão e de Cyclopoida durante o inverno. Apenas em B Taq (verão) foi encontrada uma maior proporção de náuplios, que corresponderam a mais de 50% da amostra (Figura 28). Em geral, os rios Pirapó e Pirapozinho apresentaram maiores proporções de náuplios e copepoditos, embora sempre com baixas abundâncias.

A análise da abundância relativa da Sub-Ordem Cladocera, mostrou que a família Daphniidae foi dominante em todas as estações de coleta durante o verão e inverno, com exceção dos rios Pirapó e Pirapozinho, onde a família Chydoridae foi predominante no inverno, embora com poucos indivíduos coletados. Durante o verão, as demais famílias alcançaram em média 30% da amostra, no inverno houve uma diminuição para aproximadamente 20% (Figura 29).

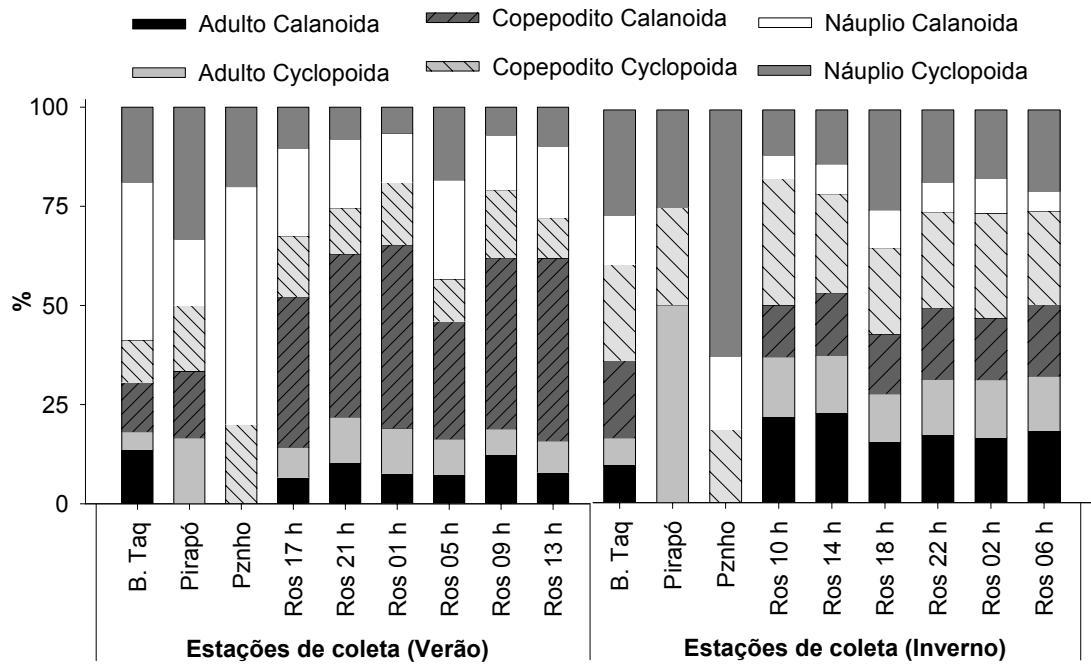
Nas estações de coleta Mont Ros, durante o inverno, a família Chydoridae apresentou maiores proporções quando comparada ao período de verão. Por outro lado, as famílias Moinidae e Bosminidae obtiveram maiores proporções no verão, comparado ao inverno. A família Sididae ocorreu em B Taq e em alguns horários da estação Mont Ros durante o verão, já no inverno, esta família foi encontrada apenas em B Taq (Figura 29).

De maneira geral, a abundância relativa encontrada na estação de B Taq foi exportada para sua região de jusante, na estação Mont Ros, com apenas pequenas diferenças nas proporções e acréscimo de alguns táxons.

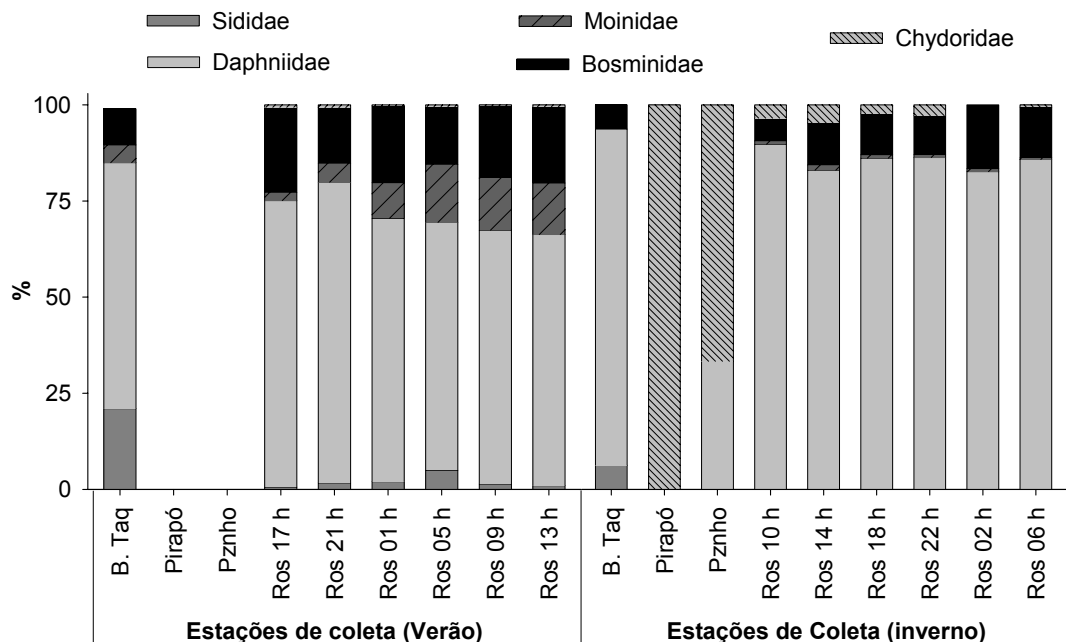


**Figura 27.** Variação na proporção de Copepoda Calanoida, Copepoda Cyclopoida e Cladocera nas estações de coleta Barragem Taquaruçu (B Taq) e Montante Rosana (Mont Ros), durante os períodos sazonais estudados (verão e inverno).





**Figura 28.** Abundância relativa de náuplios, copepoditos e adultos de Copepoda Calanoida e Copepoda Cyclopoida nas estações de coleta Barragem Taquaruçu (B Taq), rio Pirapó, rio Pirapozinho (Pznh) e nos diversos horários em Montante Rosana (Ros\_h), durante os períodos sazonais estudados (verão e inverno).



**Figura 29.** Abundância relativa das famílias de Cladocera nas estações de coleta Barragem Taquaruçu (B Taq), rio Pirapó, rio Pirapozinho (Pznh) e nos diversos horários em Montante Rosana (Ros\_h), durante os períodos sazonais estudados (verão e inverno).

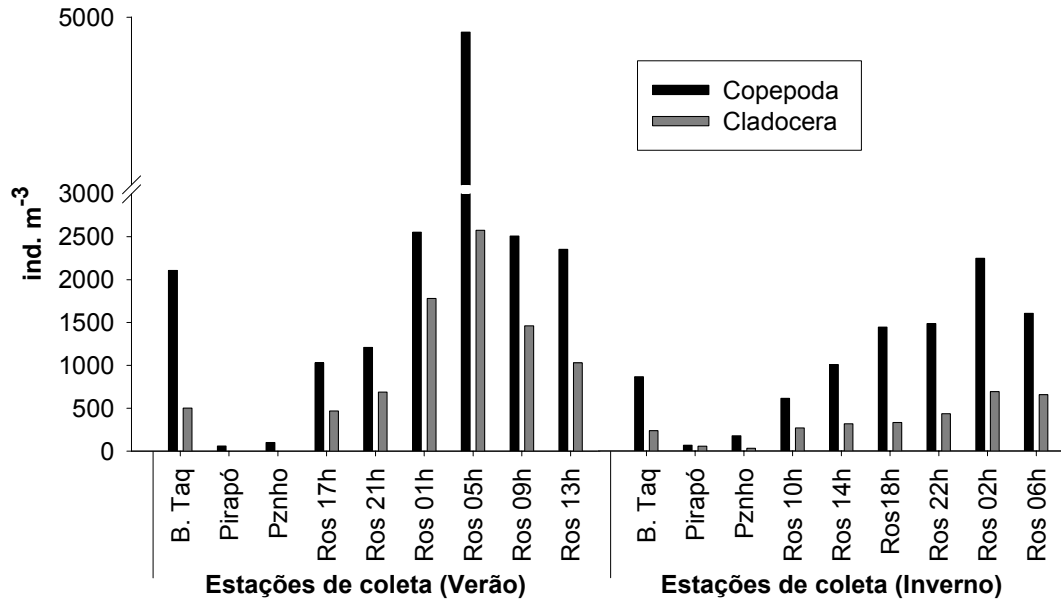
Em relação à abundância total, houve grande variação conforme o período sazonal e o horário de estudo nas estações de jusante (Mont Ros). De maneira geral as maiores abundâncias foram registradas durante o verão, refletindo a abundância total encontrada na estação B Taq.

Na estação B Taq, a abundância foi de 2106 ind. m<sup>-3</sup> de Copepoda e 503 ind. m<sup>-3</sup> de Cladocera para o período de verão, enquanto no inverno, esses valores diminuíram para 865 ind. m<sup>-3</sup> de Copepoda e 236 ind. m<sup>-3</sup> de Cladocera (Figura 30).

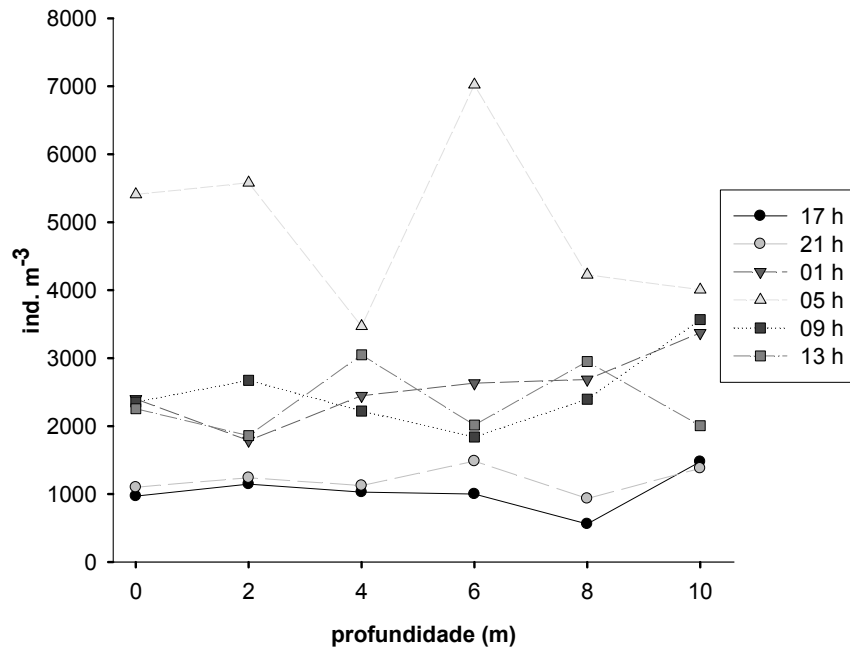
Na estação Mont Ros, houve grande variação na abundância média (diferentes profundidades) conforme o horário estudado. Durante o verão, a maior abundância ocorreu em Mont Ros\_05 h (4950 ind. m<sup>-3</sup> de Copepoda; 2577 ind. m<sup>-3</sup> de Cladocera), enquanto a menor foi registrada em Mont Ros\_17 h (1029 ind. m<sup>-3</sup> de Copepoda; 470 ind. m<sup>-3</sup> de Cladocera). No inverno, Mont Ros\_02 h apresentou o valor máximo para o período sazonal, com 2247 ind. m<sup>-3</sup> de Copepoda e 693 ind. m<sup>-3</sup> de Cladocera. A menor abundância ocorreu em Mont Ros\_10 h, com 613 ind. m<sup>-3</sup> de Copepoda e 268 ind. m<sup>-3</sup> de Cladocera (Figura 30).

Nos rios Pirapó e Pirapozinho a abundância registrada para Copepoda e Cladocera foi baixa, não ultrapassando 50 ind. m<sup>-3</sup> (Figura 30).

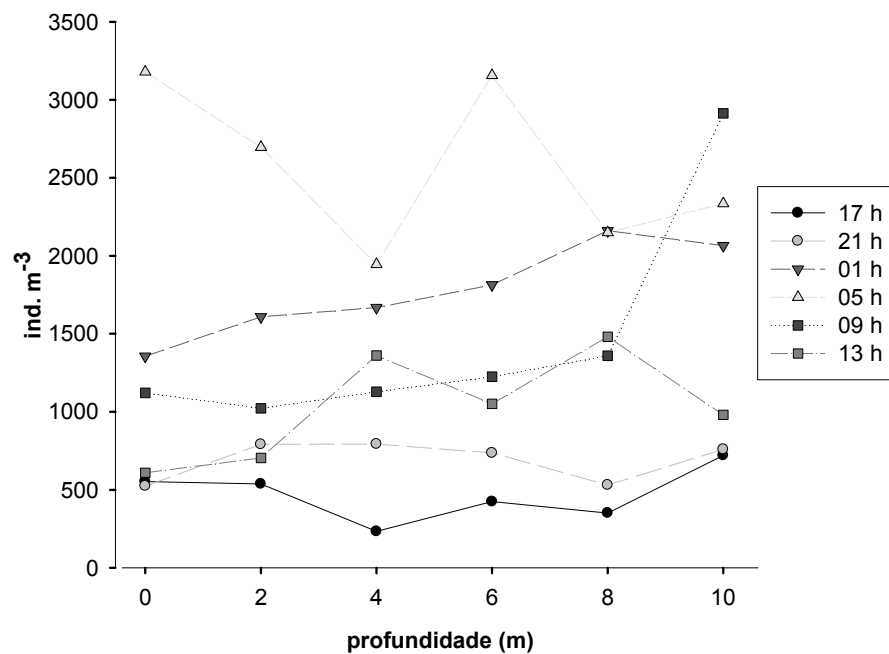
Houve uma grande variabilidade em relação à variação da abundância total para Copepoda e Cladocera nas diferentes profundidades (0, 2, 4, 6, 8 e 10 m no verão; 0, 1.5, 3 e 11 m no inverno). As maiores diferenças de densidade entre as profundidades ocorreram nos horários de maior abundância (Figuras 31, 32, 33 e 34). Não foi encontrada uma distribuição vertical nitidamente diferenciada do zooplâncton entre os horários diurnos e noturnos.



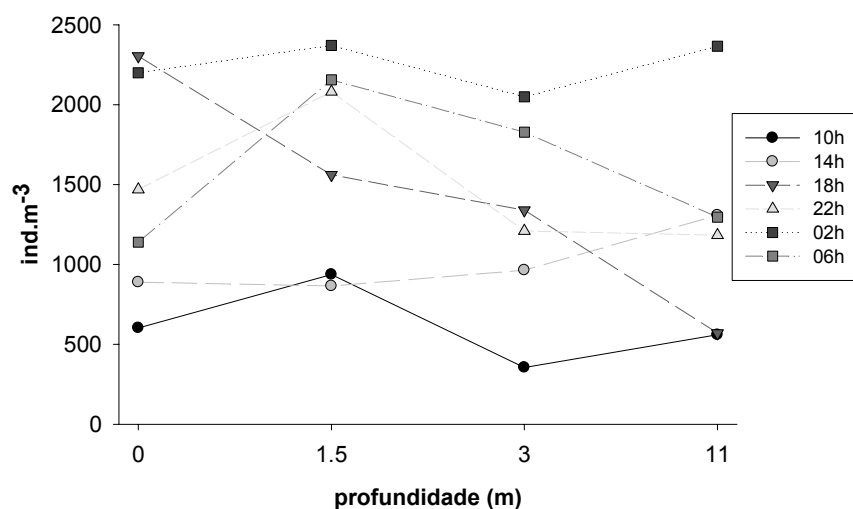
**Figura 30.** Variação da abundância do zooplâncton (Copepoda e Cladocera) na estação de coleta Barragem Taquaruçu (B. Taq.), rio Pirapó, rio Pirapozinho e nos diferentes horários da estação Montante Rosana (Ros\_h) (abundância média entre as diferentes profundidades), durante os dois períodos sazonais estudados.



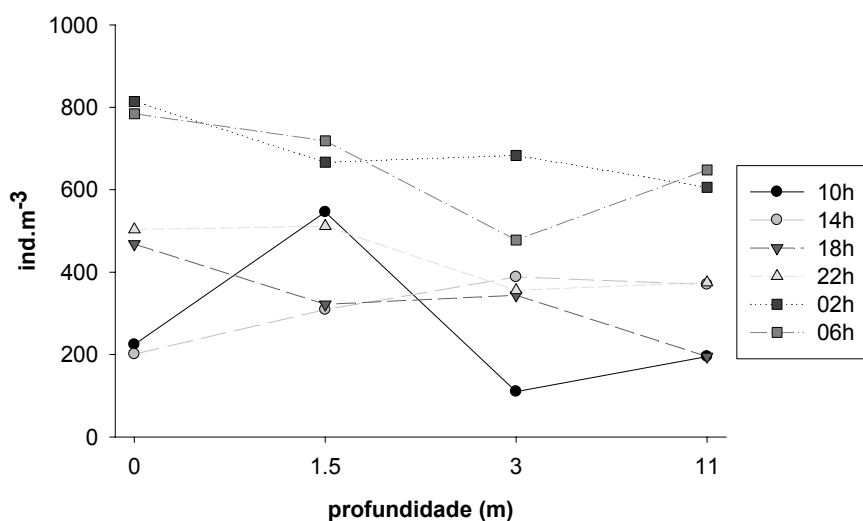
**Figura 31.** Variação da abundância total de Copepoda nas diferentes profundidades e horários da estação de coleta Montante Rosana durante o período de verão.



**Figura 32.** Variação da abundância total de Cladocera nas diferentes profundidades e horários da estação de coleta Montante Rosana durante o período de verão.



**Figura 33.** Variação da abundância total de Copepoda nas diferentes profundidades e horários da estação de coleta Montante Rosana durante o período de inverno.

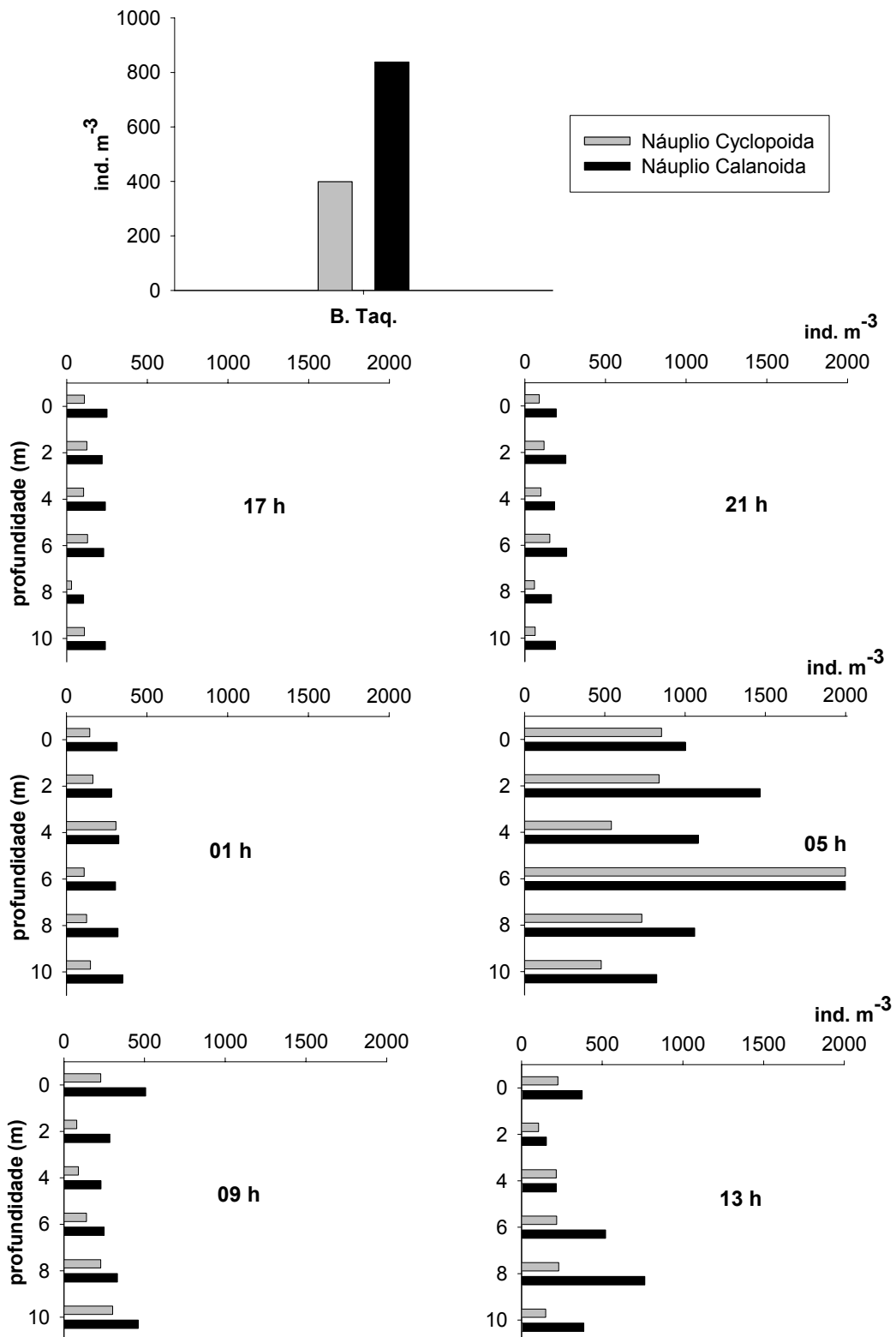


**Figura 34.** Variação da abundância total de Cladocera nas diferentes profundidades e horários da estação de coleta Montante Rosana durante o período de inverno.

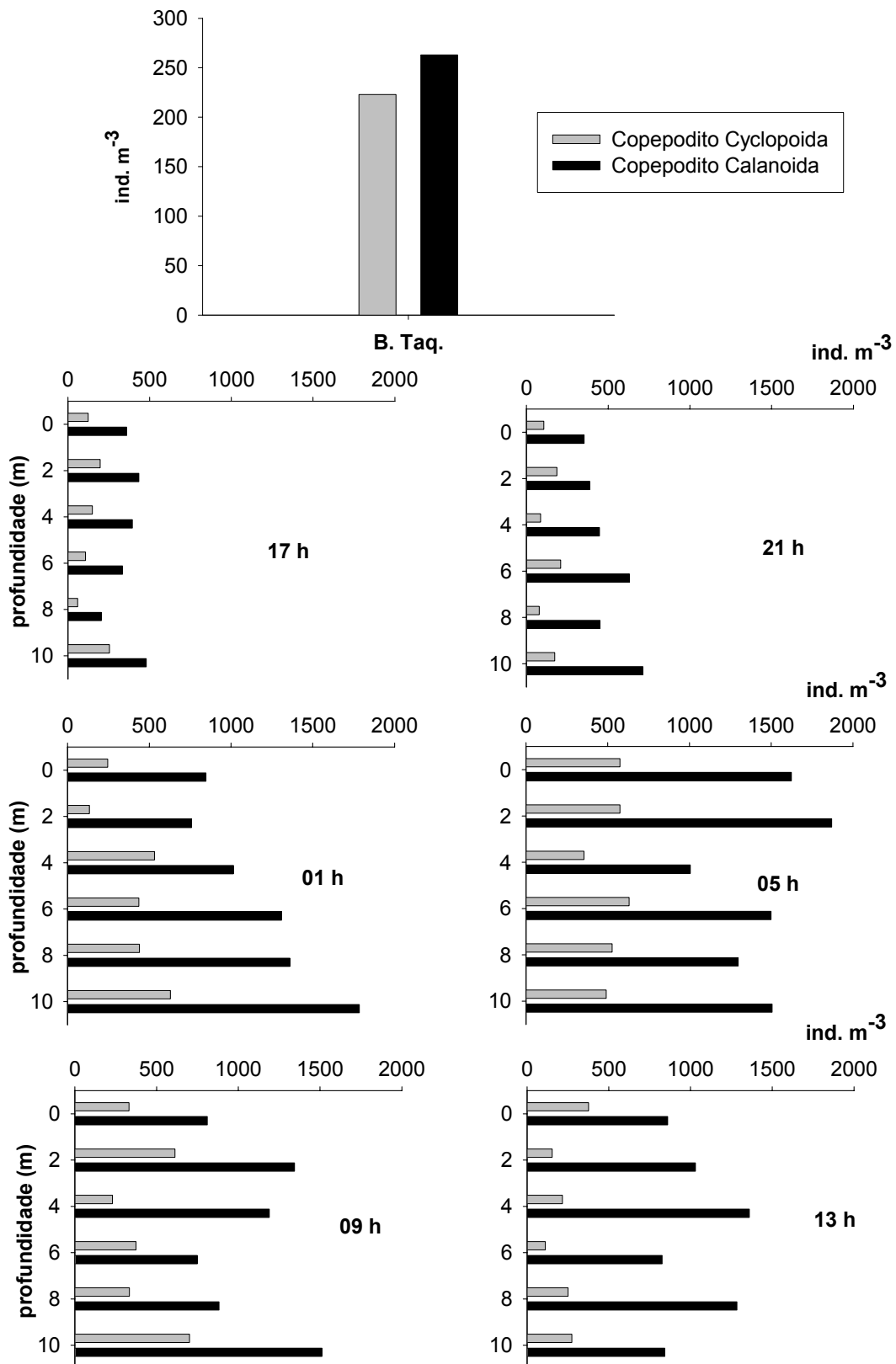
A análise da abundância total de náuplios e copepoditos, durante o período de verão, mostrou uma maior densidade da ordem Calanoida sobre a ordem Cyclopoida, em todas as profundidades e horários em Mont Ros, o mesmo ocorrendo na estação B Taq. Comparando-se a abundância entre os copepoditos e os náuplios, os primeiros

apresentaram valores mais elevados na maioria dos horários. A maior densidade para copepoditos e náuplios de ambas as ordens ocorreu em Mont Ros\_05 h (Figuras 35 e 36).

No inverno, a ordem Cyclopoida foi dominante, com valores próximos entre copepoditos e náuplios. Em Mont Ros\_10 e 14 h ocorreram as menores abundâncias para copepoditos e náuplios das ordens Cyclopoida e Calanoida (Figuras 37 e 38). Em ambos os períodos sazonais estudados, não foi identificada uma distribuição vertical marcadamente diferenciada dentre os horários diurnos e noturnos.

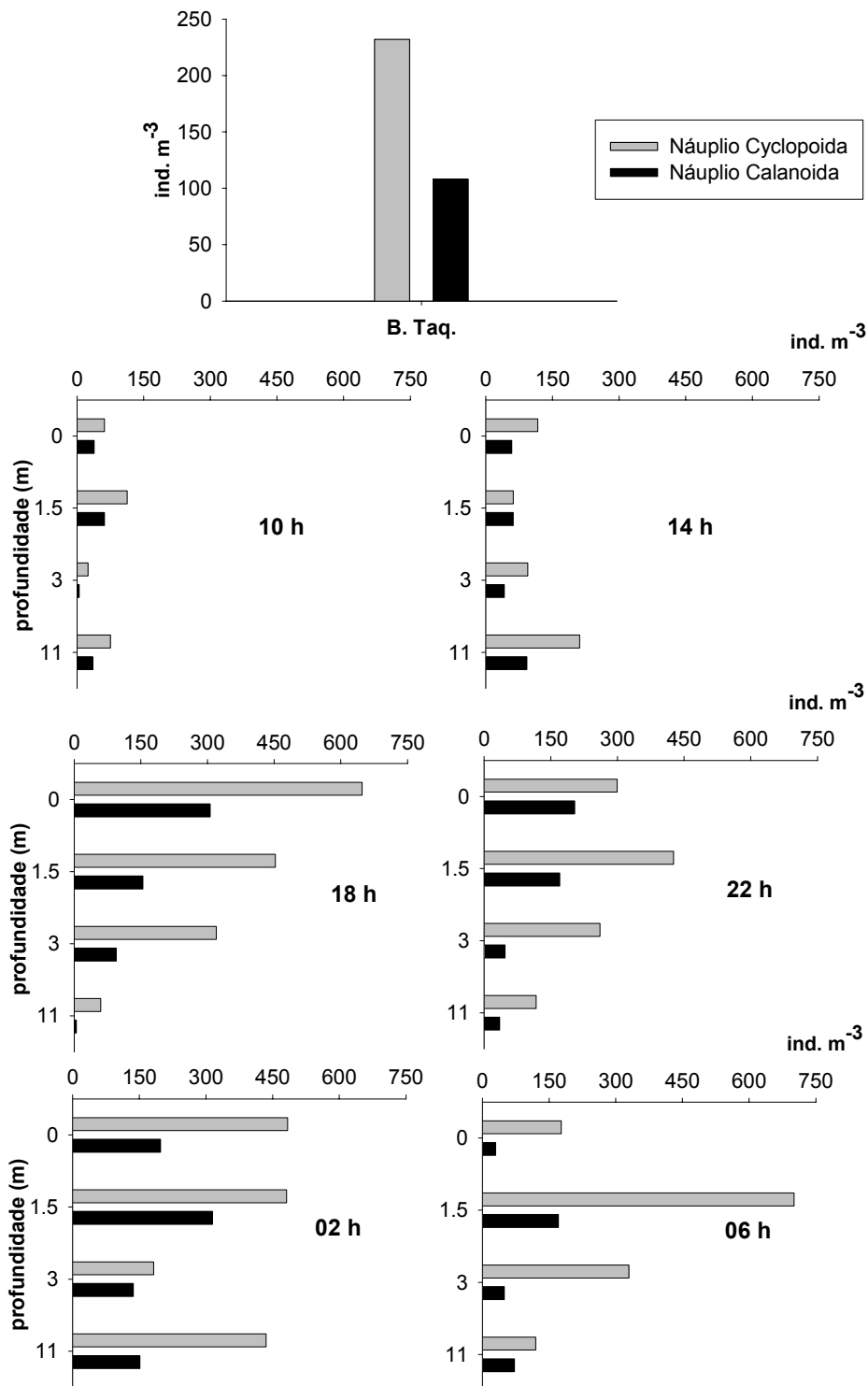


**Figura 35.** Variação da abundância de náuplios de Copepoda Cyclopoida e Calanoida na estação de coleta Barragem Taquaruçu (B. Taq.) e nas diferentes profundidades e horários em Montante Rosana, durante o período de verão estudado.

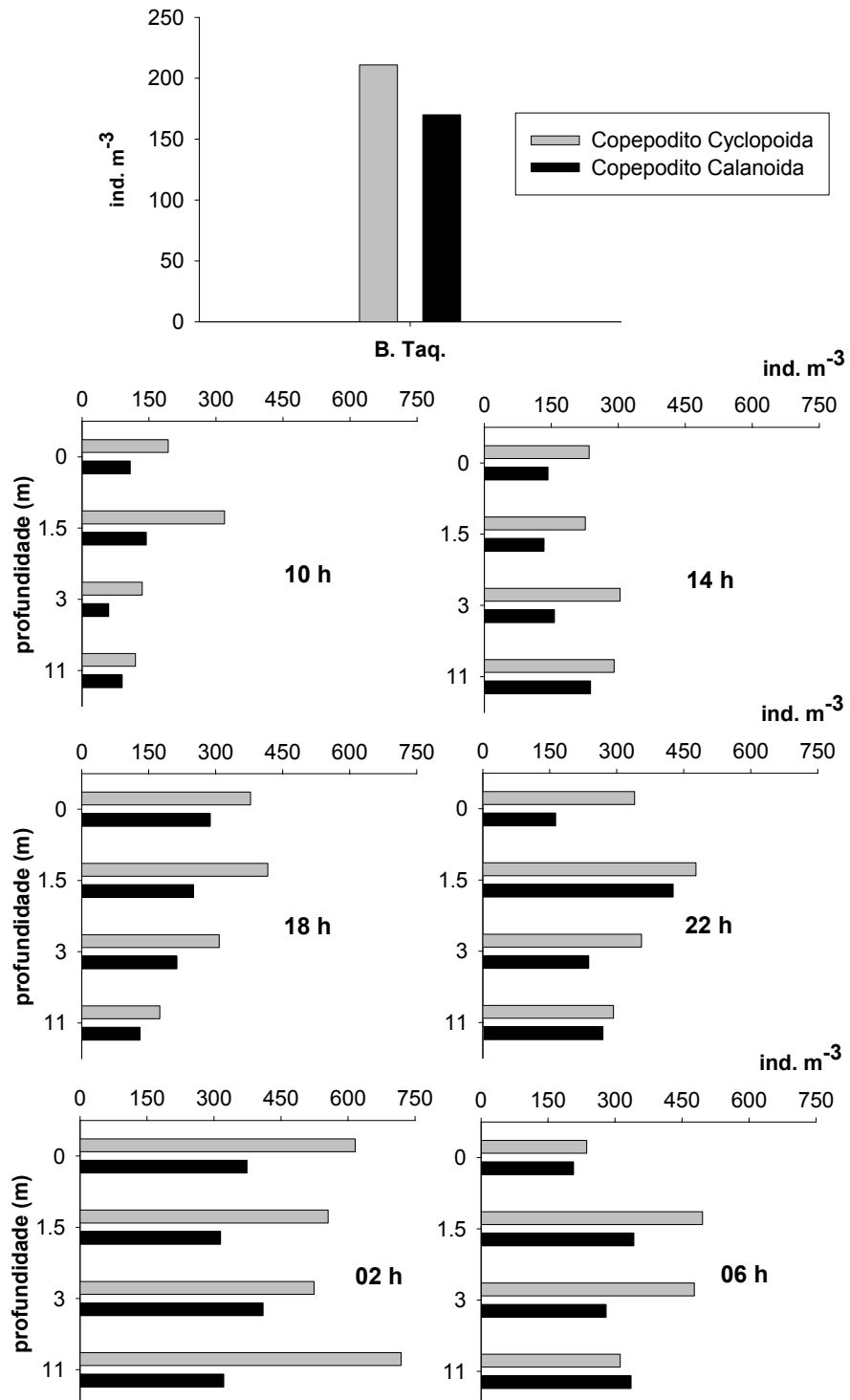


**Figura 36.** Variação da abundância de copepoditos de Copepoda Cyclopoida e Calanoida na estação de coleta Barragem Taquaruçu (B. Taq.) e nas diferentes profundidades e horários em Montante Rosana, durante o período de verão estudado.





**Figura 37.** Variação da abundância de náuplios de Copepoda Cyclopoida e Calanoida na estação de coleta Barragem Taquaruçu (B. Taq.) e nas diferentes profundidades e horários em Montante Rosana, durante o período de inverno estudado.



**Figura 38.** Variação da abundância de copepoditos de Copepoda Cyclopoida e Calanoida na estação de coleta Barragem Taquaruçu (B. Taq.) e nas diferentes profundidades e horários em Montante Rosana, durante o período de inverno estudado.

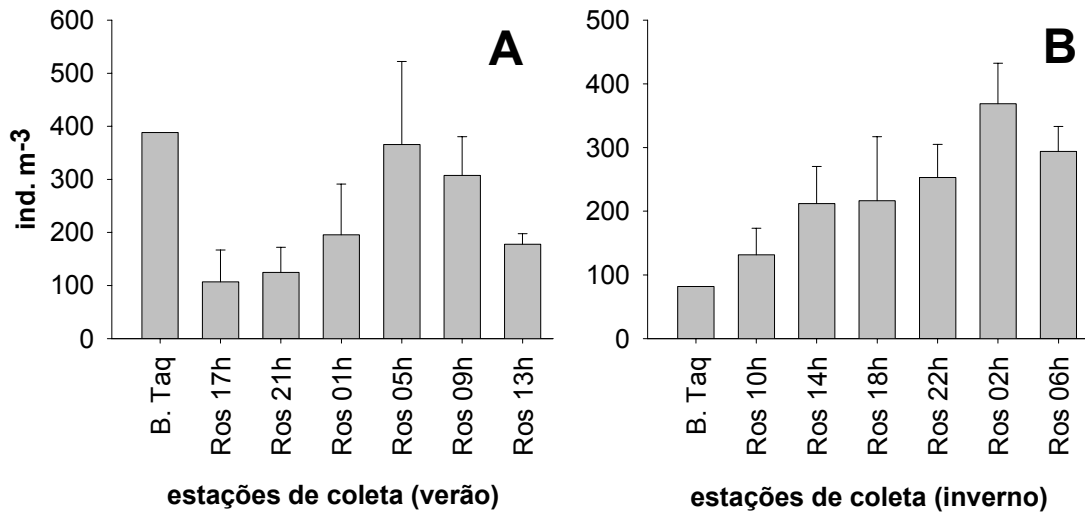
Dentre os copépodes mais abundantes e freqüentes destacou-se o calanóide macho *Notodiaptomus henseni* e fêmeas deste mesmo gênero, não discriminadas ao nível de espécie. Na figura 39 é mostrada a abundância média na coluna d'água, com os respectivos desvios-padrão (diferentes profundidades) do gênero *Notodiaptomus*. Durante o verão foi observada a maior abundância média na estação B Taq (388 ind. m<sup>-3</sup>) e em Mont Ros\_05 h (365 ind. m<sup>-3</sup>) e a menor em Mont Ros\_03 h (177 ind. m<sup>-3</sup>). No inverno, a estação B. Taq apresentou baixa abundância (88 ind. m<sup>-3</sup>), em Mont Ros os valores foram superiores, com pico máximo em Mont Ros\_02 h (253 ind. m<sup>-3</sup>) e mínimo em Mont Ros\_10 h (131 ind. m<sup>-3</sup>) (Figura 39).

O calanóide *Argyrodiaptomus azevedoi* foi registrado apenas durante o inverno, com uma baixa abundância de indivíduos (em média 5 ind. m<sup>-3</sup>) e apenas em Mont Ros\_18, 22 e 02 h.

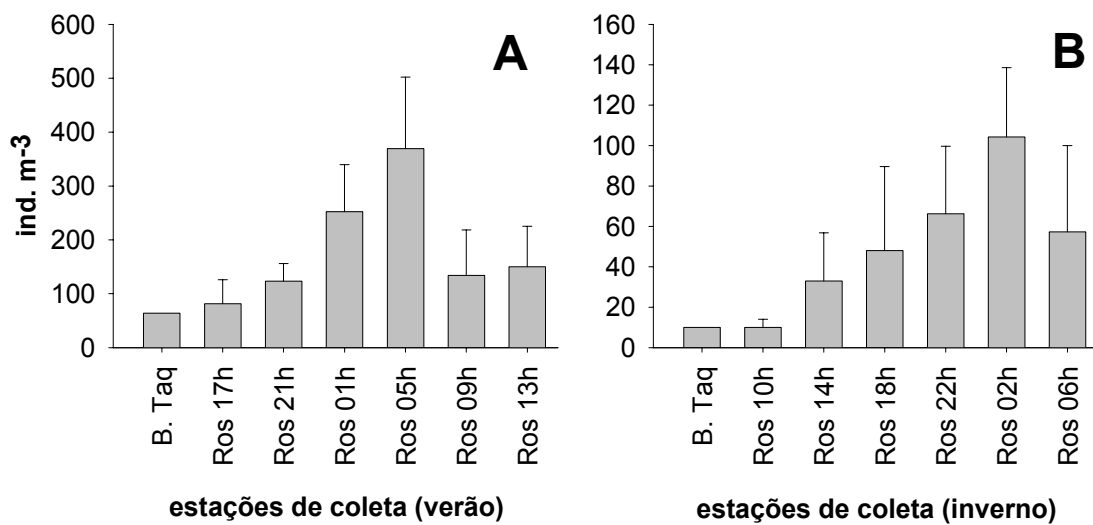
Com relação aos Cyclopoida, a espécie *Thermocyclops decipiens* apresentou a maior abundância média durante o verão, com um pico máximo em Mont Ros\_05 h (369 ind. m<sup>-3</sup>) e menor em Mont Ros\_17 h (81 ind. m<sup>-3</sup>). No inverno a densidade desta espécie foi bem menor, com a maior densidade encontrada em Ros\_02 h, com 104 ind. m<sup>-3</sup>, e menor em Taq Ros\_10 h, apresentando apenas 10 ind. m<sup>-3</sup> (Figura 40).

A espécie *Thermocyclops minutus*, dentre os Cyclopoida, apresentou a maior abundância média durante o inverno. No período de verão, a freqüência e a abundância desta espécie foram baixas. O padrão na abundância dentre as diferentes estações de coleta, foram os mesmos registrados para as demais espécies citadas, com picos máximos em Mont Ros\_02 h e mínimos em Mont Ros\_10 h (Figura 41).

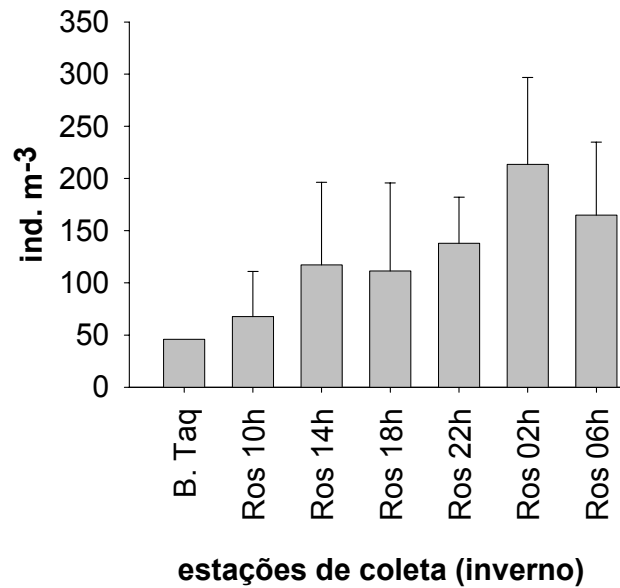
As demais espécies de Cyclopoida foram menos freqüentes e abundantes nas amostras.



**Figura 39.** Variação da abundância média e desvio-padrão (n=6 verão; n=4 inverno) dos organismos adultos de *Notodiaptomus* sp. nas diferentes estações de coleta. A: período de verão; B: período de inverno. Notar a diferença das escalas entre os gráficos.



**Figura 40.** Variação da abundância média e desvio-padrão (n=6 verão; n=4 inverno) dos organismos adultos de *Thermocyclops decipiens* nas diferentes estações de coleta. A: período de verão; B: período de inverno. Notar a diferença das escalas entre os gráficos.



**Figura 41.** Variação da abundância média e desvio-padrão (n=4) dos organismos adultos de *Thermocyclops minutus* nas diferentes estações de coleta durante o inverno.

Em relação ao cladóceros, para a maioria das espécies a abundância foi maior durante o verão, com exceção da família Chydoridae e da espécie *Ceriodaphnia silvestrii* que registraram maiores valores durante o inverno.

A abundância de *Daphnia gessneri*, durante o verão, foi maior em Mont Ros\_01 e 05 h, com uma média de 487 ind. m<sup>-3</sup>. No inverno a densidade máxima ocorreu em Mont Ros\_06, com 415 ind. m<sup>-3</sup> (Figura 42).

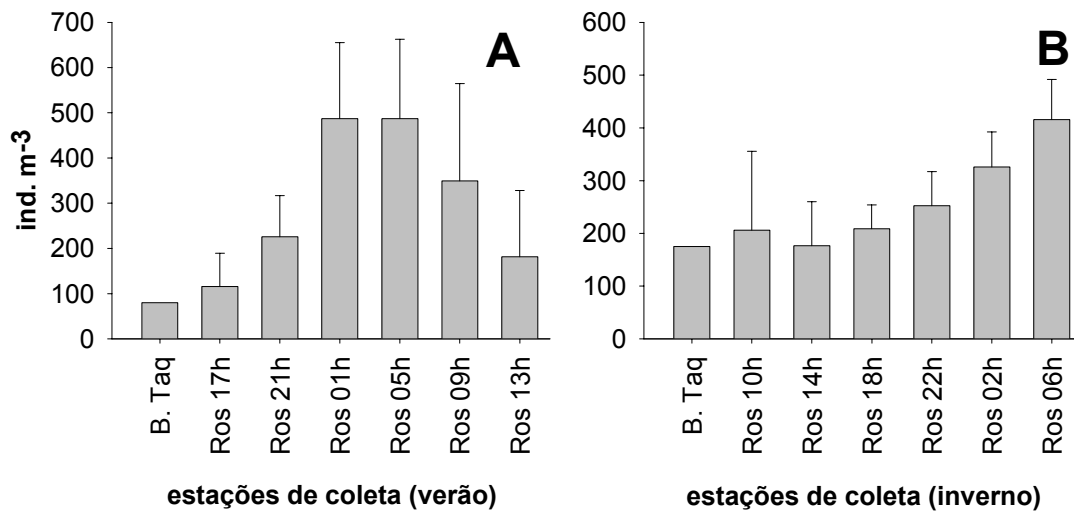
Nas Figuras 43, 44 e 45 é possível observar a variação na abundância de *Bosmina hagdmani*, *Moina minuta*, *Ceriodaphnia cornuta* forma *cornuta*, *Ceriodaphnia cornuta* forma *intermedia* e *Ceriodaphnia cornuta* forma *rigaudi* durante os dois períodos estudados. Os maiores valores durante o verão ocorreram Mont Ros\_05 h e durante o inverno em Mont Ros\_02 h

A espécie *Ceriodaphnia silvestrii* ocorreu em maior abundância no período de inverno, alcançando um valor máximo em Mont Ros\_02 h, com 102 ind. m<sup>-3</sup>. No verão, a máxima abundância ocorreu em Mont Ros\_01 h, com apenas 21 ind. m<sup>-3</sup> (Figura 46).

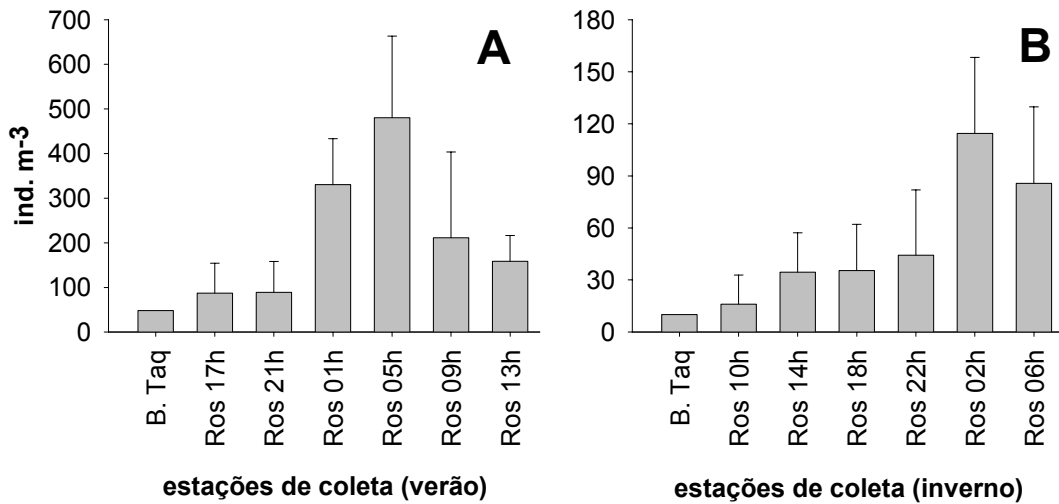
*Bosminopsis deitersi* ocorreu apenas durante o verão, com baixas abundâncias, sendo a maior em Mont Ros\_05 h com 62 ind. m<sup>-3</sup> (Figura 47).

As demais espécies de Cladocera foram pouco freqüentes e abundantes nas amostras.

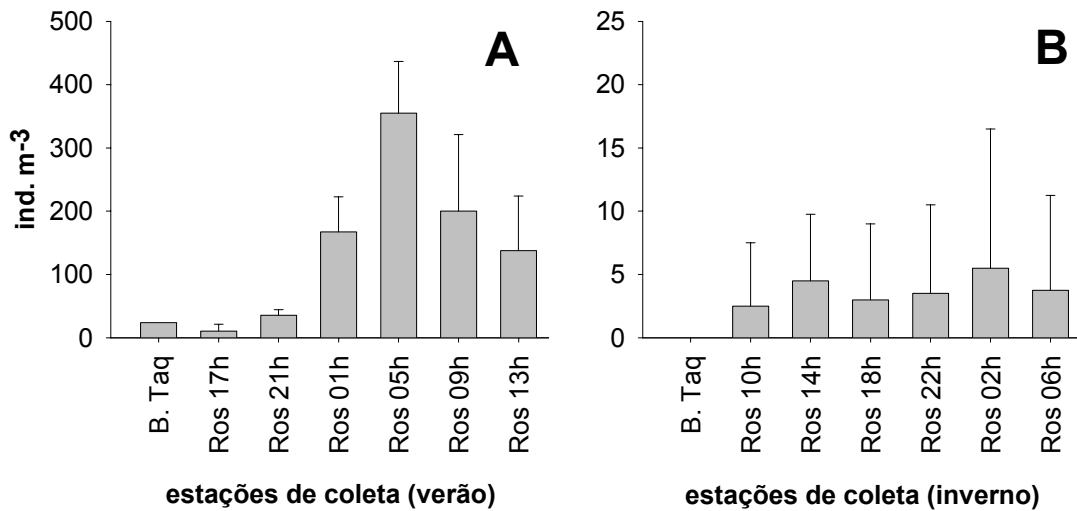
Foi possível identificar um padrão na variação da abundância entre as diferentes estações de coleta, com picos máximos registrados em Mont Ros\_05 h / verão e Mont Ros\_02 h / inverno, e mínimos em Mont Ros\_17 h / verão e Mont Ros\_10 h / inverno (Figuras 30 a 47).



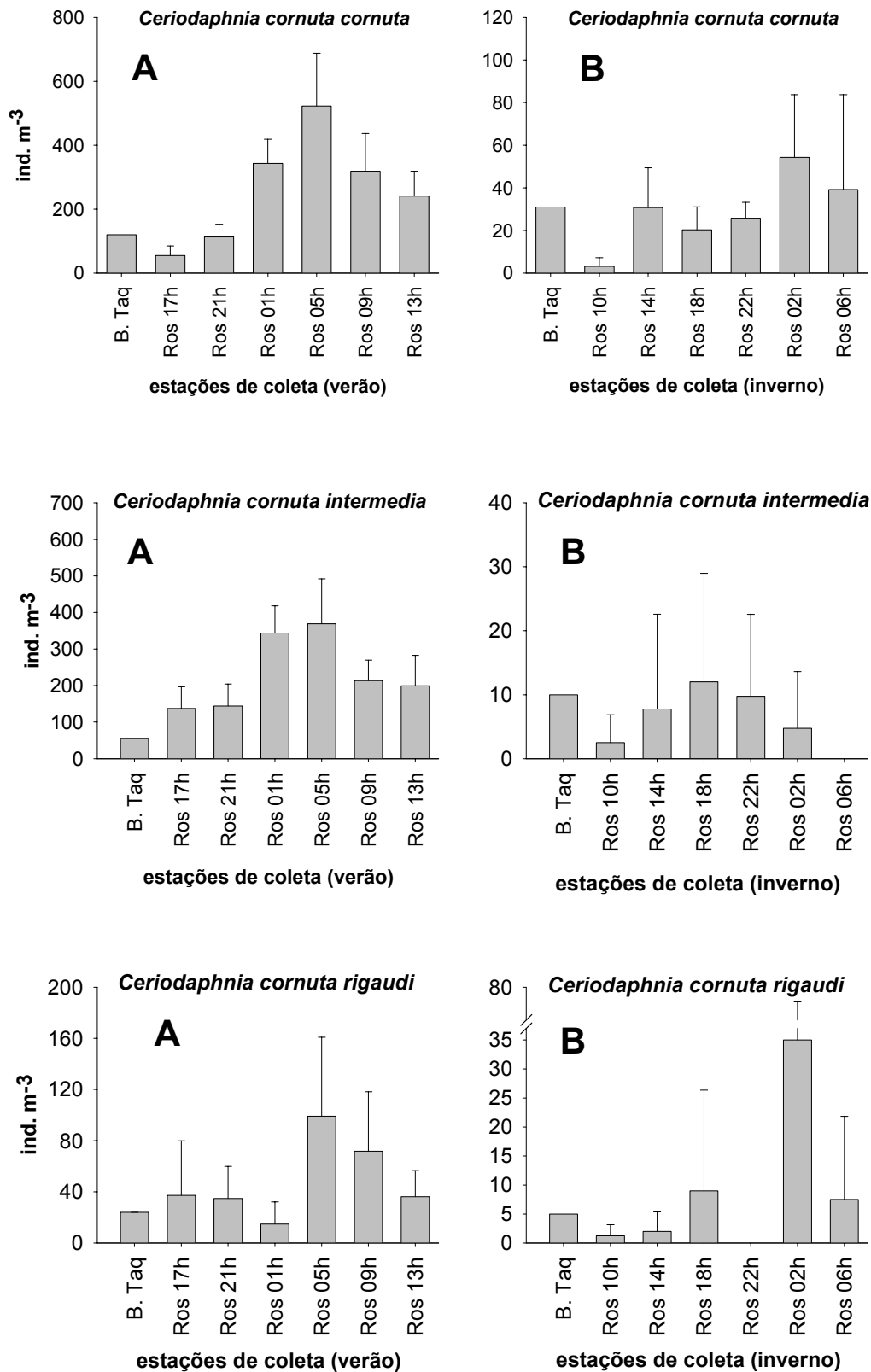
**Figura 42.** Variação da abundância média e desvio-padrão (n=6 verão; n=4 inverno) dos organismos adultos de *Daphnia gessneri* nas diferentes estações de coleta. A: período de verão; B: período de inverno. Notar a diferença das escalas entre os gráficos.



**Figura 43.** Variação da abundância média e desvio-padrão (n=6 verão; n=4 inverno) dos organismos adultos de *Bosmina haggmani* nas diferentes estações de coleta. A: período de verão; B: período de inverno. Notar a diferença das escalas entre os gráficos.

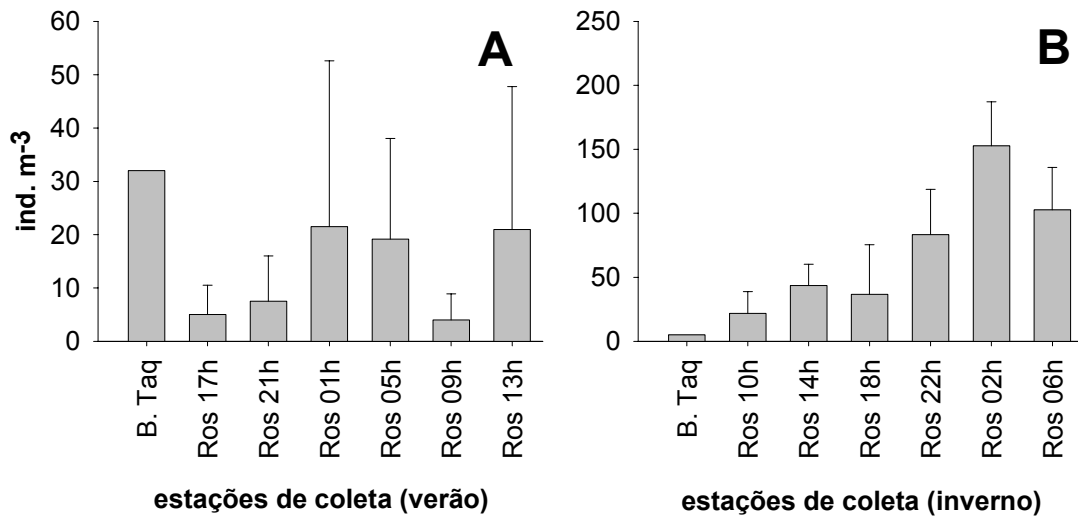


**Figura 44.** Variação da abundância média e desvio-padrão (n=6 verão; n=4 inverno) dos organismos adultos de *Moina minuta* nas diferentes estações de coleta. A: período de verão; B: período de inverno. Notar a diferença das escalas entre os gráficos.

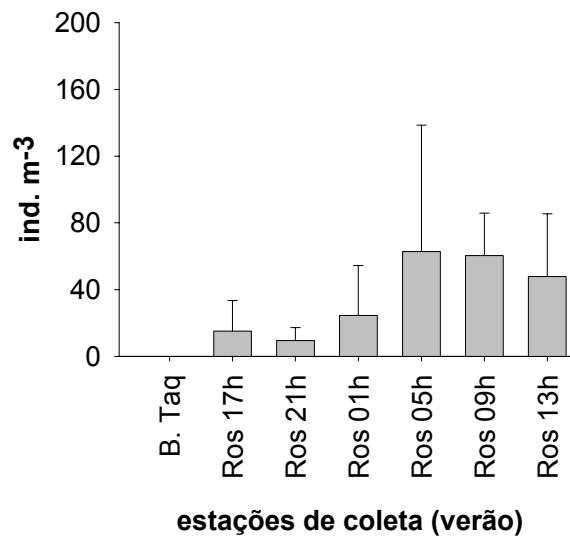


**Figura 45.** Variação da abundância média e desvio-padrão (n=6 verão; n=4 inverno) dos organismos adultos de *Ceriodaphnia cornuta cornuta*, *Ceriodaphnia cornuta intermedia*, *Ceriodaphnia cornuta rigaudi* nas diferentes estações de coleta. A: período de verão; B: período de inverno. Notar a diferença das escalas entre os gráficos.





**Figura 46.** Variação da abundância média e desvio-padrão (n=6 verão; n=4 inverno) dos organismos adultos de *Ceriodaphnia silvestrii* nas diferentes estações de coleta. A: período de verão; B: período de inverno. Notar a diferença das escalas entre os gráficos.



**Figura 47.** Variação da abundância média e desvio-padrão (n=6) dos organismos adultos de *Bosminopsis deitersi* nas diferentes estações de coleta durante o verão.

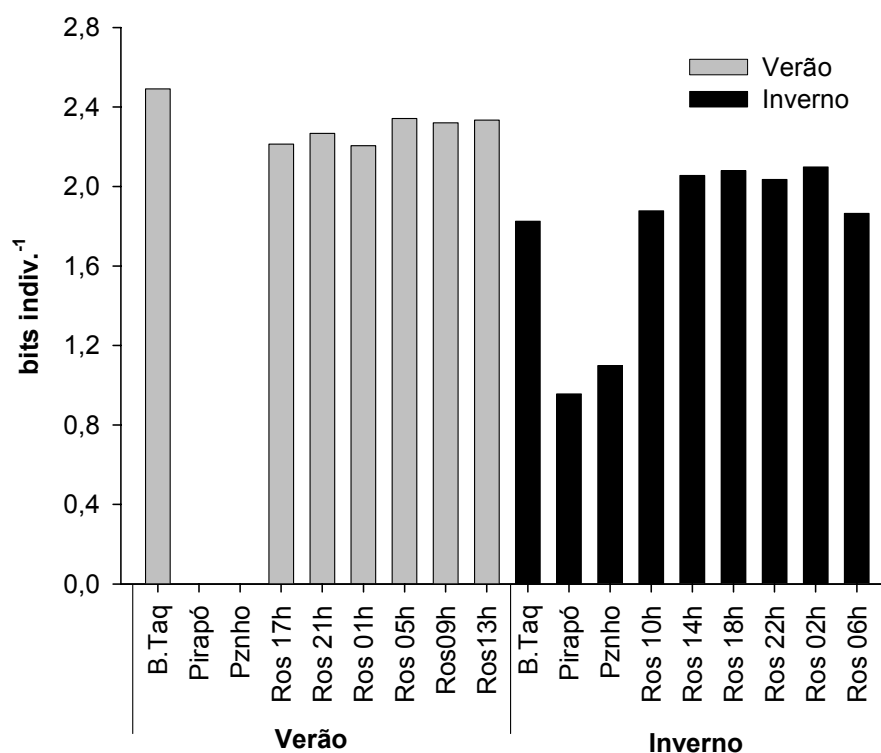
## Diversidade

Quanto à diversidade de Shannon-Wiener, os maiores valores foram encontrados durante o verão. Em B Taq a diversidade foi de 2.5 bits ind<sup>-1</sup>, nas demais estações em Mont

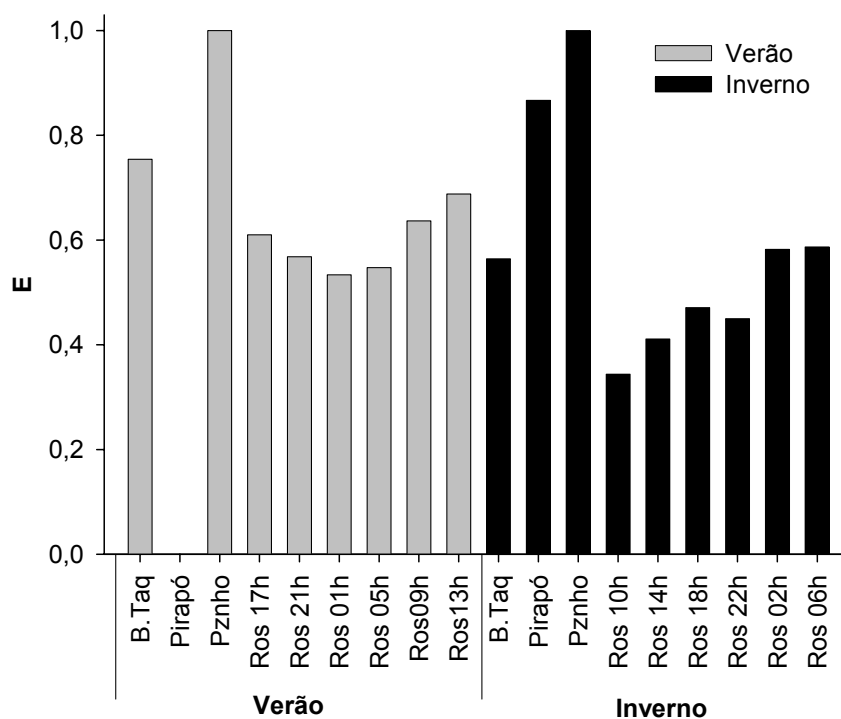
Ros, ocorreram valores entre 2,2 e 2,3 bits ind<sup>-1</sup> para o período de verão. No inverno, B Taq apresentou uma menor diversidade (1,7 bits ind<sup>-1</sup>) em relação às estações a jusante em Mont Ros, provavelmente devido ao aporte de espécies de Cladocera da família Chydoridae e de cyclopóides (Figura 48). Os rios Pirapó e Pirapozinho apresentaram baixa diversidade devido a pouca riqueza e abundância de espécies (Figura 48).

Em relação à equitabilidade todas as estações apresentaram valores próximos a 0,5, sugerindo assembléias relativamente heterogêneas, em termos de dominância, principalmente em função da grande abundância de alguns táxons, com exceção da B Taq que durante o verão apresentou uma maior equitabilidade (Figura 49).

Os valores de 1 ou próximo a 1 nos rios Pirapó e Pirapozinho, devem-se ao pequeno número de espécies com abundâncias semelhantes (Figura 49).



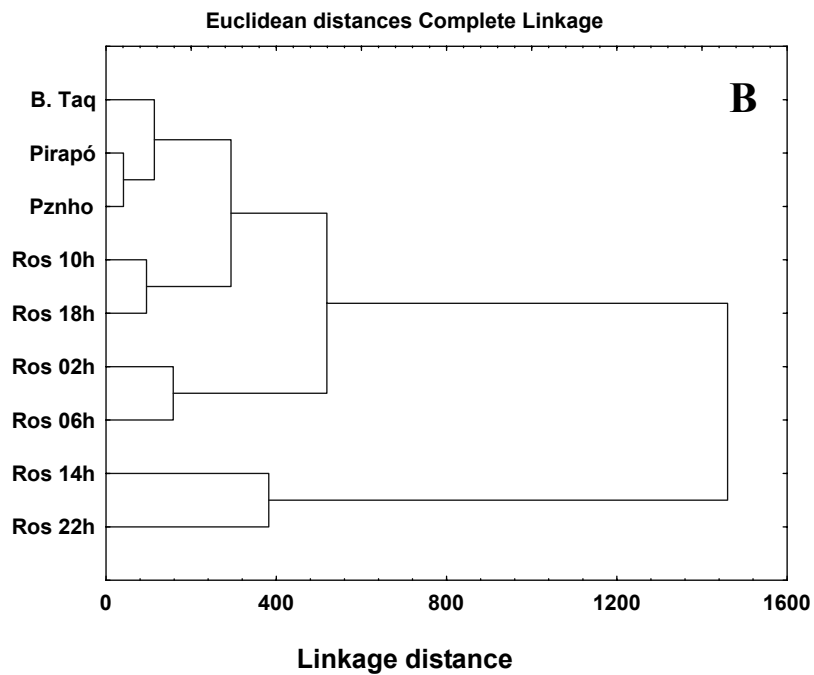
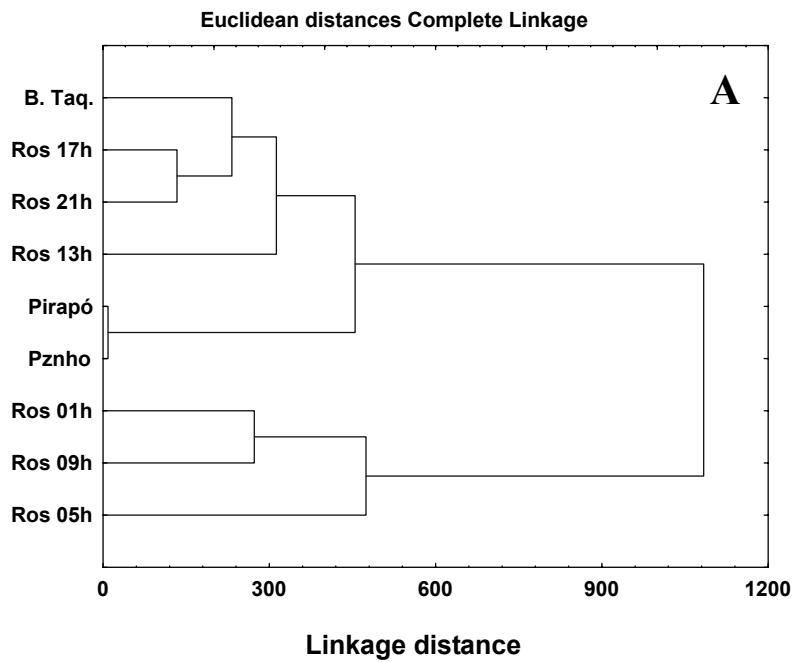
**Figura 48.** Variação da diversidade de Shannon-Wiener H' (bits indiv.<sup>-1</sup>) entre as estações de coleta Barragem Taquaruçu (B. Taq.), rio Pirapó, rio Pirapozinho e nos diversos horários da estação Montante Rosana (Ros\_h), comparando-se os dois períodos de amostragem.



**Figura 49.** Variação da equitabilidade entre as estações de coleta Barragem Taquaruçu (B. Taq.), rio Pirapó, rio Pirapozinho e nos diversos horários da estação Montante Rosana (Ros \_h), comparando-se os dois períodos de amostragem.

### **Análises estatísticas e relação com variáveis limnológicas**

As análises de similaridade com base na composição e abundância do zooplâncton (Copepoda e Cladocera) demonstraram um agrupamento dos horários sob a influência de vazões semelhantes da usina hidrelétrica a montante (Figura 4, capítulo 1). Este agrupamento indica a possível influência da variação da vazão turbinada na exportação do zooplâncton a jusante. Os rios Pirapó e Pirapozinho mantiveram-se agrupados devido à semelhante na estrutura do zooplâncton (Figura 50).

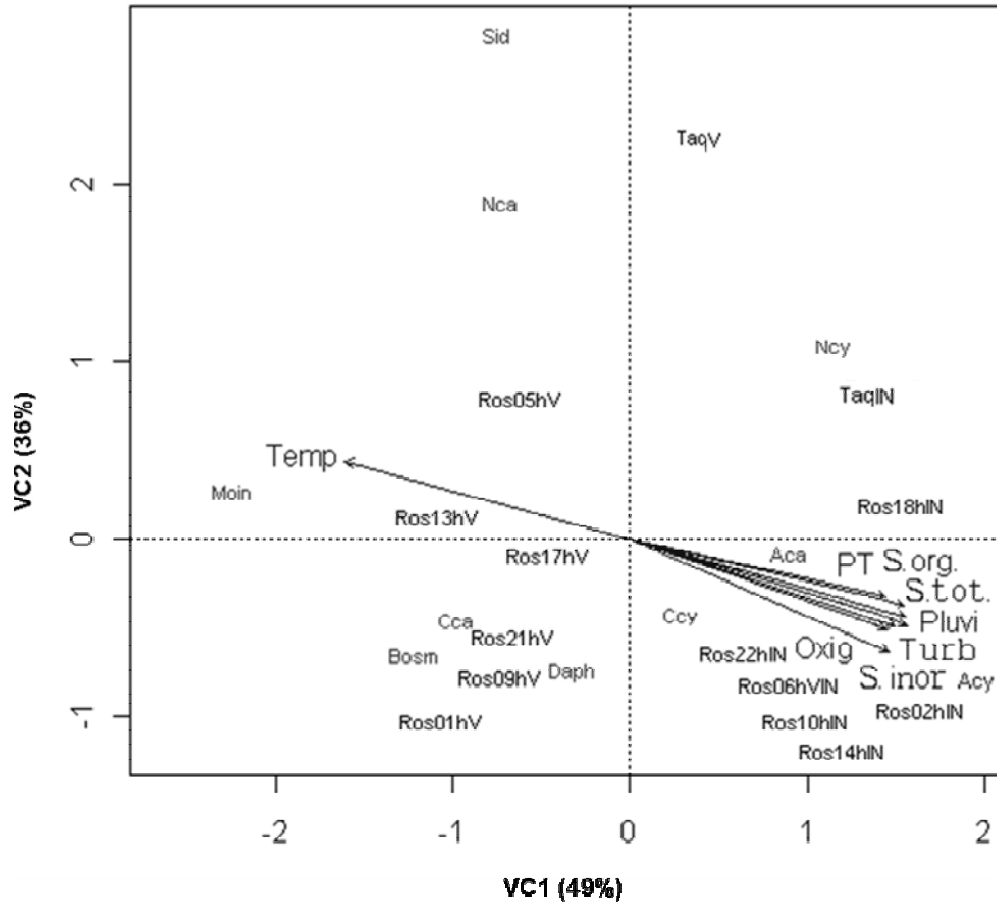


**Figura 50.** Resultado gráfico da análise de similaridade realizada entre a Barragem de Taquaruçu (B. Taq.), rios Pirapó e Pirapozinho (Pznho) e nos diferentes horários em Montante Rosana (Ros \_h), com base na composição e abundância do zooplâncton. A: período de verão; B: período de inverno.

A análise de correspondência canônica (ACC) do sistema B Taq / Mont Ros, aplicada para relacionar os microcrustáceos planctônicos com as variáveis físicas e químicas, explicou 85% das relações considerando as duas variáveis, sendo 49% na primeira variável e 36% na segunda (Figura 51).

Na primeira variável canônica, a maioria das variáveis ambientais esteve positivamente correlacionada especialmente em resposta à pluviosidade na coleta de inverno (Ros\_h IN), a qual influenciou a concentração de fósforo total, sólidos orgânicos e inorgânicos, a turbidez e oxigênio dissolvido. Junto a esses, estiveram ainda relacionados os adultos de Cyclopoida e Calanoida, os náuplios de Cyclopoida e, em menor escala, também os copepoditos de Cyclopoida. Inversamente a estes, ainda na primeira variável, estiveram correlacionadas a temperatura e as estações de coleta no período de verão (Ros\_h V), juntamente com náuplios e copepoditos de Calanoida e as famílias de Cladocera – Sididae, Daphniidae, Bosminidae e Moinidae (Figura 51).

Na segunda variável canônica, náuplios de Calanoida, Sididae e, em menor escala, Moinidae, associaram-se positivamente à temperatura. Inversamente estiveram correlacionadas as variáveis influenciadas pela pluviosidade – fósforo total, sólidos totais, orgânicos e inorgânicos, turbidez e oxigênio dissolvido, junto a horários noturnos e matutinos no verão e a maioria das coletas realizadas no inverno. Estas variáveis foram associadas a copepoditos e adultos de Cyclopoida, copepoditos de Calanoida e as famílias Bosminidae e Daphniidae (Figura 51).



**Figura 51.** Análise de correspondência canônica para abundância de Cladocera e Copepoda, nas estações de coleta na Barragem Taquaruçu (TaqMed) e nos diversos horários em Montante Rosana (Ros\_h) durante o verão (V) e o inverno (IN). Legenda para variáveis limnológicas: Temp – temperatura; PT – fósforo total; Oxiq – oxigênio dissolvido; Pluvi – pluviosidade; S. org. – material em suspensão orgânico; S. inor. – material em suspensão inorgânico; S. tot. – material em suspensão total; Turb – turbidez. Legenda do zooplâncton: Daph – Daphniidae; Bosm – Bosminidae; Sid – Sididade; NCa – náuplio Calanoida; NCy – náuplio Cyclopoida; CCa – copepodito Calanoida; CCy – copepodito Cyclopoida; Aca – adulto Calanoida; ACy – adulto Cyclopoida.

## **DISCUSSÃO**

Os trechos de barragem dos reservatórios de Capivara e Taquaruçu (B Cap e B Taq) apresentaram diferentes efeitos sobre a composição e abundância zooplanctônica dos respectivos trechos de jusante (Mont Taq e Mont Ros). As influências variaram conforme o período do ano, o tipo de funcionamento das barragens, condições limnológicas e também devido às grandes variações horárias nas vazões turbinadas para suprir os picos de consumo de energia elétrica.

### ***Padrões de variação da vazão nas Usinas Hidrelétricas***

Em relação à vazão de saída dos reservatórios de montante, esta foi apenas do tipo turbinada em ambos os períodos sazonais (verão e inverno), ou seja, a água escoada a jusante foi retirada da camada correspondente à altura da tomada d'água para as turbinas. Na barragem de Capivara tal profundidade se localiza 32 m abaixo da superfície e na barragem de Taquaruçu a 7 m (ver Capítulo 1).

A vazão turbinada apresentou um aumento nos horários matutino e vespertino (horário de expediente comercial e industrial), e um pico máximo observado ao anoitecer e primeiras horas da noite. Isto ocorre devido à rotina da maioria da população brasileira, cujo retorno para casa após a jornada de trabalho faz com que se intensifique o uso de chuveiros elétricos e televisores, além de outros aparelhos eletro-eletrônicos. O acendimento da iluminação pública também contribui significativamente para o aumento do consumo de energia elétrica.

Por outro lado, durante a madrugada verificou-se os menores valores de vazão, uma vez que neste período grande parte dos equipamentos elétricos estão desligados e somente uma parte das indústrias se mantém em atividade, portanto, há um menor consumo de energia elétrica (ver Capítulo 1).

Sazonalmente, a média da vazão na usina hidrelétrica de Taquaruçu apresentou maiores valores no inverno, devido às fortes chuvas atípicas que atingiram sua bacia de drenagem. Por se tratar de um reservatório do tipo fio d'água, com baixa capacidade de armazenar água, houve um aumento de sua vazão turbinada para compensar uma possível elevação da cota altimétrica acima dos níveis suportados pela barragem (ver Capítulo 1).

Na usina hidrelétrica de Capivara foram registrados valores médios de vazão semelhantes entre verão e inverno, devido a sua função de acumulação e regularização do sistema em cascata a jusante. A vazão não foi afetada pelos altos índices pluviométricos registrados durante a coleta de inverno (ver Capítulo 1).

### ***Composição, riqueza e abundância do zooplâncton nos trechos barragem/jusante***

A passagem da água pelas turbinas das usinas hidrelétricas de Capivara e Taquaruçu, parece não comprometer fisicamente os organismos zooplancônicos, pois não foram encontrados fragmentos dos animais, bem como, os ovos em Copepoda e os embriões em Cladocera mantiveram-se aderidos ao corpo e visivelmente intactos.

A composição do zooplâncton (Cladocera e Copepoda) dentre as regiões de barragem e jusante de cada sistema em separado (B Cap / Mont Taq; B Taq / Mont Ros), não apresentou grande variação, apenas a estação de coleta Mont Ros em relação a B Taq, apresentou um acréscimo de espécies, principalmente de representantes da família Chydoridae (Cladocera) e dos gêneros *Paracyclops* e *Eucyclops* (Copepoda).

Em sistemas fluviais a presença de habitats lênticos a montante, tais como lagos e reservatórios artificiais, funciona como fonte de material orgânico, incluindo fitoplâncton e zooplâncton, que é exportado para a jusante (Akopian *et al.*, 1999). Em vários estudos realizados a jusante de lagos e reservatórios a composição planctônica entre as duas regiões tem se mostrado similar (Pourriot, 1997; Sandlund, 1982; Doi, 2008).



Mitsuka & Henry (2002), estudando a zona da barragem do reservatório de Jurumirim (rio Paranapanema) e sua região a jusante, também não encontraram grande variação na composição de Copepoda entre as duas regiões.

O aparecimento de espécies da família Chydoridae a jusante da barragem do reservatório de Taquaruçu (Mont Ros) sugere haver uma expressiva influência dos processos hidrodinâmicos. O aumento da velocidade da correnteza em consequência do aumento da vazão no reservatório à montante e a elevação do nível d'água, pode fazer com que ocorra o transporte de espécies tipicamente litorâneas (Elmoor-Loureiro, 1997) para zona pelágica. Certas espécies desta família também possuem maior tolerância a condições lólicas (Richardson, 1992).

Os gêneros de Copepoda, *Paracyclops* e *Eucyclops*, são considerados por Reid (1985) e por Silva (2003) como habitantes típicos dos compartimentos bentônicos. A presença destes gêneros, apenas no período de inverno em Mont Ros, provavelmente ocorreu em função das fortes chuvas que ocorreram previamente e durante a coleta (ver Capítulo 1), que levaram a um aumento da vazão, da velocidade da correnteza e da turbulência, desta forma, removendo os espécimes do sedimento para a coluna d'água.

A contribuição lateral dos rios Pirapó e Pirapozinho que deságuam antes da estação de coleta Mont Ros, também influenciaram positivamente a riqueza de espécies neste local.

As espécies de Cladocera e Copepoda encontradas nos reservatórios de Capivara, Taquaruçu e Rosana já foram registradas nos demais trabalhos realizados no rio Paranapanema (Henry & Nogueira, 1999; Nogueira, 2001; Sampaio, *et al.*, 2002, Panarelli *et al.*, 2003; Gralhóz, 2005; Nogueira *et al.*, 2006; Sartori, 2008; Nogueira *et al.*, 2008).

No entanto, o número máximo de táxons registrados nos sistema B Cap / Mont Taq (16 táxons) e B Taq / Mont Ros (33 táxons) pode ser considerado inferior ao registrado por Nogueira *et al.* (2006) e Nogueira *et al.* (2008) em um trabalho de grande escala espacial

na cascata de reservatórios do rio Paranapanema, onde foram encontrados ao todo 74 táxons de Cladocera e Copepoda. Embora tenha se encontrado um número maior de táxons ao longo da cascata do rio Paranapanema, é importante mencionar que os estudos citados acima, ocorreram ao longo de dois anos consecutivos (8 coletas) e abarcaram a região da barragem e montante (zona de transição) dos reservatórios, além de importantes tributários.

As regiões de várzea e lagoas laterais também contribuem para o incremento da composição, abundância e diversidade do zooplâncton no rio Paranapanema, como observado por Gralhóz (2005). Em um levantamento detalhado (junto aos diferentes bancos de macrófitas) realizado em lagoas e áreas de várzea ao longo de todo o rio Paranapanema, foram registradas 70 espécies de Cladocera, distribuídas em 32 gêneros e sete famílias. Dentre essas, 61% foram representadas por Chydoridae.

Porém, considerando apenas os reservatórios analisados no presente estudo, Nogueira *et al.* (2006) verificaram uma média de 11 táxons na barragem de Capivara, 12 táxons em montante Taquaruçu, 13 táxons na barragem Taquaruçu e 14 e 15 táxons em montante e barragem Rosana, respectivamente.

É possível notar uma tendência de crescimento da riqueza em direção a jusante do sistema de reservatórios em cascata. Essa variação no número de espécies pode estar relacionada ao grau de trofia dos reservatórios, já que Capivara é considerado meso-eutrófico, enquanto que, Taquaruçu e Rosana são classificados como oligo-mesotróficos (Nogueira *et al.*, 2002; Pagioro *et al.*; 2005). De acordo com Maitland (1978), lagos oligotróficos apresentam um número elevado de espécies de zooplâncton, mas com baixa abundância por espécie, enquanto que, ambientes eutróficos apresentam baixo número de espécies, porém em alta abundância.

Em relação à abundância relativa entre Copepoda, houve variação sazonal na dominância Calanoida/Cyclopoida. Considerando náuplios, copepoditos e indivíduos

adultos, a ordem Calanoida foi dominante durante o verão, com inversão desta relação no inverno, quando a ordem Cyclopoida mostrou maior abundância. Padrões semelhantes de variação na dominância entre Calanoida/Cyclopoida durante verão e inverno, foram observados em diversos estudos no rio Paranapanema (Nogueira, 1996; Nogueira & Panarelli, 1997; Sartori, 2008; Nogueira *et al.*, 2008).

As diferenças observadas na relação Calanoida/Cyclopoida durante o verão (28 °C) e inverno (20 °C) indicam que os efeitos sazonais interferem na dinâmica destas populações. Estudos experimentais revelam que a temperatura é um importante fator no desenvolvimento destas populações. A espécie *Notodiaptomus iheringi* (Calanoida) apresentou desenvolvimento mais rápido de ovo a fase larval em temperaturas mais elevadas e também foi observada uma maior mortalidade e diminuição na eficiência reprodutiva desta espécie quando a baixas temperaturas (Espíndola, 1994) (*apud* Sampaio *et al.*, 2002). Por outro lado, Rietzler (1995) (*apud* Sampaio *et al.*, 2002), observou em experimentos com *Thermocyclops minutus* uma diminuição da longevidade com o aumento temperatura.

Nos dois sistemas barragem/jusante (B Cap / Mont Taq; B Taq / Mont Ros) os indivíduos adultos e copepoditos foram mais abundantes durante o verão, quando a ordem Calanoida era dominante. Por outro lado, no inverno, quando houve a dominância da ordem Cyclopoida, os náuplios e copepoditos foram encontrados em maior número.

Estas disparidades da abundância entre os estágios de desenvolvimento de Calanoida e Cyclopoida podem estar relacionadas a diferentes estratégias reprodutivas. Segundo Nogueira *et al.* (2008) os ciclopóides podem ser considerados como r-estrategistas (colonialistas) com alta taxa reprodutiva, mas baixa sobrevivência dos estágios larvais. Os ovos de calanóides são maiores que os de ciclopóides, o que poderia

ser o fator primário (nutricional) assegurando uma maior taxa de sobrevivência das larvas de calanóides (organismos k-estrategistas).

A ontogenia de Copepoda envolve grandes modificações no tamanho do corpo, comportamento e alimentação. Assim, condições apropriadas para um estágio do ciclo de vida de uma espécie são frequentemente inapropriadas para outro estágio (Casanova, & Henry, 2004).

Dentre os cladóceros, no sistema B Cap / Mont Taq houve dominância da família Sididae no verão e da família Daphniidae no inverno. No sistema B Taq / Mont Ros a família Daphniidae foi dominante em ambos os períodos sazonais. Em ambos os sistemas e períodos sazonais, a proporções entre as famílias de Cladocera registradas nas zonas de barragens (B Cap e B Taq) foram semelhantes às encontradas nas estações a jusante, somente ocorrendo pequenas variações dentre os horários estudados no ciclo nictemeral.

Nos rios Pirapó e Pirapozinho, sistema B Taq / Mont Ros, foram encontrados cladóceros (*Alona intermedia*, *Notoalona sculpta* e *Ceriodaphnia silvestrii*) apenas durante o inverno, sendo as espécies registradas também na estação Mont Ros.

Estes resultados demonstram que a composição zooplanctônica na zona da barragem é exportada para as regiões a jusante. Devido ao baixo tempo de retenção da água e alta velocidade da correnteza, há um pequeno desenvolvimento autóctone do zooplâncton nos trechos de jusante, apenas são acrescentadas espécies de zonas litorâneas, bancos de macrófitas e contribuições de tributários. A análise de correspondência canônica demonstrou que as características que relacionaram os microcrustáceos planctônicos com as variáveis físicas e químicas, agruparam as estações de barragem e jusante, separando apenas entre verão e inverno.

A presença de lagoas marginais ou áreas de remanso da água em sistemas lóticos são também importantes áreas para o desenvolvimento do zooplâncton, pois apresentam

um maior tempo de residência da água e menor velocidade da correnteza. No rio Danúbio, Áustria, o canal central do rio apresenta alta velocidade de correnteza, acima de  $1 \text{ m s}^{-1}$ , com uma baixa densidade zooplancônica, enquanto que nas áreas laterais de remanso e lagoas marginais foi encontrada alta densidade de zooplâncton, sendo estas regiões consideradas núcleos de desenvolvimento planctônico para o rio (Reckendorfer et al., 1999).

O reservatório de Taquaruçu, considerado no presente estudo, é pouco dendrítico, sendo que anteriormente a estação de coleta Mont Taq não há a presença de lagoas marginais ou áreas com tempo de residência da água mais elevado que encontrada no canal central. No reservatório de Rosana ocorrem várias lagoas marginais, sendo duas grandes localizadas anteriormente a estação de coleta Mont Ros, estudos sobre a composição e densidade zooplancônica nestas lagoas foram realizados por Sartori (2008).

Em relação à abundância total do zooplâncton (Cladocera e Copepoda), a média no sistema B Cap / Mont Taq foi maior que o trecho B Taq / Mont Ros durante os dois períodos sazonais. Em geral, os dois sistemas apresentaram uma maior abundância durante o verão. Esta maior quantidade de organismos no sistema B Cap / Mont Taq era esperada, já que o reservatório de Capivara tem um alto tempo de residência da água, além de condições mais eutróficas, o que favorece o desenvolvimento quantitativo dos microcrustáceos planctônicos.

Nogueira *et al.* (2006), em um estudo na cascata de reservatórios do rio Paranapanema, também encontraram as maiores abundâncias de zooplâncton nas represas com maior tempo de residência e as menores em reservatórios tipo fio d'água.

***Relação entre os mecanismos operacionais das barragens e a variação na abundância total zooplanctônica a jusante***

Em ambos os sistemas estudados, as estações de jusante (Mont Taq e Mont Ros) apresentaram grande diferença na abundância total dos organismos zooplanctônicos ao longo dos ciclos nictemerais. Esta variação que ocorreu conforme o horário de estudo, sendo influenciada principalmente pela variação horária da vazão turbinada exportada dos reservatórios a montante e que promove uma alternância na deriva do zooplâncton, bem como na velocidade da correnteza.

No sistema B Cap / Mont Taq, durante o verão, a maior abundância total do zooplâncton (Cladocera e Copepoda - incluindo náuplios, copepoditos e adultos), foi encontrada em Mont Taq\_11h e menor em Mont Taq\_03 h. No inverno, a estação de coleta Mont Taq\_22 h apresentou o valor máximo para o período, já a menor abundância ocorreu em Mont Taq 10 h.

No sistema B Taq / Mont Ros, as maiores abundâncias na estação a jusante (Mont Ros) ocorreram nos horários da madrugada, sendo o pico máximo em Mont Ros\_05 h durante o verão e em Mont Ros\_02 h no inverno. As menores abundâncias foram registradas em Mont Ros\_17 h durante o verão e em Mont Ros\_10 h no inverno.

Apesar da variação da vazão turbinada nos dois sistemas ser semelhante, com maiores valores nos horários diurnos e ao anoitecer e menores durante a madrugada (ver Capítulo 1), os padrões de variação na abundância zooplanctônica entre dois trechos de jusante divergiram devido a diversos fatores: 1) distância do ponto de coleta na região a jusante: Mont Taq à 5 Km da barragem de Capivara e Mont Ros à 16 Km da barragem de Taquaruçu; 2) velocidade da correnteza: maiores valores em Mont Taq que em relação à Mont Ros; 3) altura da tomada d'água para as turbinas: barragem Capivara à 32 m da superfície da água, barragem Taquaruçu à 7 m da superfície; 4) padrões sazonais de

estratificação e circulação da coluna d'água nas barragens: barragem de Capivara com forte estratificação durante o verão e leve tendência no inverno, barragem Taquaruçu desestratificada durante ambos os períodos (ver Capítulo 1).

Assim, a dinâmica do transporte do zooplâncton a jusante difere nos dois sistemas, devido a diferentes características que influenciam as zonas de barragem e jusante.

Diversos estudos relatam a diminuição na abundância zooplanctônica longitudinalmente, a partir do distanciamento de um reservatório ou lago (Pourriot *et al.*, 1997; Mitsuka & Henry, 2002; Chang, 2008). No entanto, à distância percorrida pelo zooplâncton na deriva está relacionada com a velocidade da correnteza e com a variação da vazão (McLay, 1970; Sandlund, 1982; Campbell 2002). Em estudos a jusante de lagos, foi encontrada as maiores abundâncias de organismos planctônicos quando do aumento da vazão durante o período de chuvas (Per-Ola, 1999; Chang, 2008).

Segundo Sandlund (1982), durante o aumento da vazão de um lago a montante, ocorre uma elevação do fluxo de saída à jusante, levando desta forma, um maior número de organismos planctônicos carregados para o escoamento a jusante. No entanto, alguns grupos zooplanctônicos, especialmente os crustáceos, tem alguma capacidade de remar contra a vazão da saída, e assim evitar o escoamento para fora do lago (Ruttner, 1963 *apud* Sandlund, 1982).

A migração vertical dos organismos zooplanctônicos e a posição vertical do escoamento d'água é outro fator que pode influenciar a deriva do zooplâncton à jusante. Sandlund (1982) encontrou a maior densidade zooplanctônica a jusante do lago Galvsjön, Suécia, no horário em que os organismos encontravam se na superfície do lago, justamente no local de escoamento.

Assim, nos sistemas barragem/jusante analisados neste estudo, acredita-se que as características intrínsecas de cada sistema, somada aos fatores citados acima por diversos

autores, possam interferir na dinâmica do transporte do zooplâncton a jusante. O aumento da vazão nos horários de maior consumo de energia elétrica é considerado o fator principal para a elevação do escoamento zooplanctônico a jusante.

No sistema B Cap / Mont Taq, devido à pequena distância da estação de coleta de jusante (Mont Taq) em relação à barragem, foi verificado uma relação positiva da variação da abundância zooplanctônica com a variação da vazão.

No verão, em Mont Taq\_19, 23, 11 e 15 h foram encontradas as maiores abundâncias do zooplâncton (Figura 6) coincidindo com altos valores da vazão turbinada (ver Capítulo 1). Durante a madrugada as menores abundâncias refletiram a baixa vazão na barragem de Capivara.

Nos horários diurnos em Mont Taq 11 e 15 h foram encontradas as maiores abundâncias, provavelmente devido à dinâmica diária de migração vertical do zooplâncton na barragem de Capivara, que por diversos fatores ambientais, como evitar predação (Bezerra-Neto & Pinto-Coelho, 2007) e vantagens metabólicas (Dawidowicz & Loose, 1992) tendem a permanecer em regiões mais profundas durante o dia. Desta forma, uma maior abundância de organismos nesta região, propiciou um maior escoamento à jusante devida coincidência com a altura da tomada d'água das turbinas em Capivara (32 m).

Neste período sazonal (verão) a coluna d'água estava estratificada, com a termoclina acima da tomada d'água para as turbinas, havia grande diferença na temperatura e na concentração do oxigênio dissolvido entre a superfície (28,7 °C; 7,6 mg L<sup>-1</sup>) e a altura da captação de água para as turbinas (25,2 °C; 5,2 mg L<sup>-1</sup>) (ver Capítulo 1).

Embora se tenha coletado uma amostra integrada da coluna d'água (arrasto vertical) na barragem de Capivara, estas características da água próxima as turbinas podem oferecer vantagens anti-predatórias e metabólicas aos organismos zooplanctônicos localizados nesta região.



No inverno, ocorreu um padrão crescente da abundância no sentido dos horários noturnos, com um pico máximo alcançado em Mont Taq\_22h. Nas estações de coleta Mont Taq\_02 e 06 h, houve uma tendência de diminuição na abundância, embora os valores encontrados ainda sejam altos, apesar da baixa vazão, isso possivelmente ocorreu em decorrência da baixa velocidade da correnteza, que levou a permanência de águas residuais dos horários anteriores.

No inverno, a termoclina localizava-se abaixo da tomada d'água para as turbinas (ver Capítulo 1). Provavelmente, fatores relacionados à migração vertical que beneficiem o zooplâncton na região da tomada d'água para as turbinas foram menos evidentes na barragem de Capivara durante o período.

No sistema B Taq / Mont Ros os picos de variação da vazão foram refletidos mais tardiamente na estação Mont Ros, provavelmente devido a distância de 16 km da estação de coleta em relação a barragem de Taquaruçu. Embora as maiores vazões tenham ocorrido nos horários diurnos e ao anoitecer, os picos na abundância zooplanctônica (Cladocera e Copepoda) foram encontrados durante a madrugada.

Em ambos os períodos sazonais ocorreu um padrão crescente da abundância no sentido dos horários da madrugada, com um pico máximo alcançado em Mont Ros\_05h para o verão e em Mont Ros\_02 h durante o inverno. Durante o inverno, a maior abundância do zooplâncton encontrada no horário (02 h) mais próximo as maiores vazões diárias e noturnas a montante, refletem o aumento da vazão turbinada e da velocidade da correnteza ocasionados pelas fortes chuvas atípicas do período (ver Capítulo 1). Contudo, para entender tal dinâmica também é importante considerar o tempo de deslocamento da massa d'água turbinada e a possível defasagem entre o horário de turbinamento e aumento da abundância do zooplâncton na estação de amostragem do trecho de jusante.

Uma outra hipótese está relacionada ao fato de que na B Taq a tomada d'água para as turbinas situa-se próxima a superfície. Assim, possivelmente nos horários noturnos de maior vazão, também ocorra maiores valores na abundância do zooplâncton escoado a jusante, devido à migração vertical diária em direção a superfície.

Os rios Pirapó e Pirapozinho apresentaram baixa abundância em relação a B Taq e Mont Ros, não tendo influência numérica na estrutura zooplanctônica.

Nos dois sistemas barragem/jusante, a análise de similaridade com base na composição e abundância do zooplâncton mostrou que os horários que estavam sob influência de vazões semelhantes se agruparam, e as estações com características lênticas (B Cap e B Taq) foram localizadas nos extremos dos gráficos. Os rios Pirapó e Pirapozinho mantiveram-se agrupados durante os dois períodos sazonais.

Em relação à estrutura do zooplâncton nas regiões de jusante, não foi verificado uma distribuição vertical nítida entre os horários estudados. Apenas em Mont Taq, em alguns horários de menor velocidade da correnteza, foi observada uma tendência de distribuição diferencial entre as profundidades.

Esta homogeneidade do zooplâncton na coluna d'água pode estar relacionada a fatores ligados à hidrodinâmica, devido aos altos valores da velocidade da correnteza, bem como, da variação horária da mesma, impedindo um comportamento migratório nítido entre os horários diurnos e noturnos. As variáveis físicas e químicas (temperatura, oxigênio dissolvido, nutrientes), além da clorofila-a, tiveram uma tendência homogênea ao longo da coluna d'água, provavelmente também devido a condições hidrodinâmicas do ambiente (ver Capítulo 1).

Nogueira & Panarelli, 1997 também não encontraram uma distribuição vertical evidente na barragem de Jurumirim para diversas espécies do zooplâncton, devido à instabilidade física do ambiente (processo hidrodinâmicos).

### ***Variação da abundância das espécies mais freqüentes e abundantes***

A variação na abundância das espécies de Copepoda e Cladocera apresentou um padrão semelhante à distribuição do zooplâncton total, com os valores correlacionados, pelo menos parcialmente, à variação da vazão do reservatório a montante.

No sistema B Cap / Mont Ros dentre os Calanoida, o gênero *Notodiaptomus* foi mais abundante durante o verão, atingindo uma média de 3350 ind. m<sup>-3</sup> na Mont Taq \_11 h. No inverno o pico máximo para este gênero foi de 445 ind. m<sup>-3</sup> na Mont Taq \_22h. O outro Calanoida presente na amostra, *Argyrodiaptomus azevedoi*, ocorreu apenas durante o inverno e em baixa abundância. Alguns autores (Sendacz & Kubo, 1982; Sendacz *et al.*, 1985) verificaram a presença do gênero *Argyrodiaptomus* apenas em ambientes oligotróficos.

Dentre os cyclopóides as espécies *Thermocyclops decipiens* e *Thermocyclops minutus* coexistiram apenas durante o inverno, estando a segunda espécie ausente durante o verão. Durante o inverno, a abundância de *Thermocyclops minutus* foi superior a de *Thermocyclops decipiens*.

Estas duas espécies são passíveis de serem usadas como bioindicadoras do grau de trofia do ambiente. *Thermocyclops decipiens* é considerado como mais tolerante aos processos de eutrofização, enquanto que *T. minutus* tem melhor desenvolvimento em condições oligotróficas (Sendacz & Kubo, 1982; Sendacz *et al.*, 1985; Branco & Cavalcanti, 1999; Silva & Matsumura-Tundisi, 2002; Nogueira, 2002; Corgosinho & Pinto-Coelho, 2006). No entanto, a co-ocorrência de *T. decipiens* e *T. minutus* é muito comum (Campos *et al.*, 1996). Daí a necessidade de se observar as relações numéricas entre ambos (Nogueira, 2001) e a possível segregação espacial entre as suas populações (Nogueira & Panarelli, 1997).

A presença de *Argyrodiaptomus azevedoi*, e de uma maior abundância de *Thermocyclops minutus* sobre *T. decipiens*, indicam condições mais oligotróficas durante o inverno.

Dentre os cladóceros, o sistema B Cap / Mont Taq apresentou a predominância numérica de *Diaphanosoma* sp. durante o verão e *Daphnia gessneri* durante o inverno. Estes dois táxons são considerados típicos de zonas pelágicas e não são considerados bons indicadores de condições ambientais distintas, pois são fisiologicamente e morfologicamente adaptados a viver ao longo de ambientes com condições oligo-hipereutrófico (Sampaio *et al.*, 2002). Em reservatórios do rio Paranapanema Nogueira (2001), Panarelli *et al.* (2003), Nogueira *et al.* (2008) e Sartori (2008) também verificaram elevadas abundâncias dos gêneros *Daphnia* e *Diaphanosoma*.

No sistema B Taq / Mont Ros dentre os Calanoida, o gênero *Notodiatomus* apresentou altas abundâncias, sendo estas semelhantes entre o verão e inverno. Dentre os Cyclopoida a espécie *Thermocyclops decipiens* foi dominante em ambos os períodos sazonais. A espécie *Thermocyclops minutus* esteve presente durante verão e inverno, porém em maior número de indivíduos durante o inverno. As demais espécies de Cyclopoida apresentaram baixa abundância.

Dentre os cladóceros, o sistema B Taq / Mont Ros exibiu maior abundância, em ambos os períodos, da família Daphniidae, representada em maior número pela espécie *Daphnia gessneri* seguida das espécies *Ceriodaphnia cornuta* forma *cornuta*, *Ceriodaphnia cornuta* forma *intermedia* e *Ceriodaphnia cornuta* forma *rigaudi*.

Durante o inverno foi encontrada uma grande abundância da espécie *Ceriodaphnia silvestrii* e da família Chydoridae principalmente na estação Mont Ros, possivelmente devido às fortes chuvas e com aumento da vazão à montante e da velocidade da correnteza,

estas espécies tenham sido carregadas das zonas litorâneas para zona pelágica do reservatório.

Enfim, a variação da vazão turbinada dos reservatórios de montante, influenciou a abundância de cada espécie, de acordo com o horário do dia, nas regiões de jusante, sendo este padrão diferenciado em Mont Taq e Mont Ros provavelmente devido à distância em relação da barragem.

## **CONCLUSÕES**

- A composição do zooplâncton (Cladocera e Copepoda) nos trechos a jusante foi determinada pela composição presente na zona da barragem a montante, apenas com acréscimo a jusante de algumas espécies com características litorâneas ou bentônicas.
- A variação horária da vazão turbinada nos reservatórios a montante foi o fator principal da variação da abundância zooplanctônica nos trechos a jusante, conforme observado ao longo do ciclo nictemeral.
- A abundância zooplanctônica escoada a jusante das barragens foi maior durante os horários de maior vazão, estando esta variação da vazão relacionada à demanda energética doméstica e industrial.
- A partir de variações na vazão, a distância do ponto de coleta a jusante, em relação à barragem, e a velocidade da correnteza determinaram os horários de maior ou menor abundância do zooplâncton.

- Não foi verificada uma distribuição vertical nítida do zooplâncton nos trechos de jusante estudados, podendo estar relacionado aos distúrbios hidrodinâmicos ocasionados pela variação da vazão e à elevada velocidade da correnteza.
- A altura da tomada d'água para as turbinas, somada a padrões de migração vertical do zooplâncton, possivelmente influenciaram a densidade de organismos escoados a jusante.
- Sazonalmente, características limnológicas (temperatura, oxigênio dissolvido, nutrientes, clorofila-a, etc.) podem interferir na composição e na abundância zooplancônica, principalmente nas regiões das barragens, e conseqüentemente, esta estrutura da comunidade será exportada a jusante.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akopian M. A., Garnier. J. & Pourriot R. (1999) A large reservoir as a source of zooplankton for the river: structure of the populations and influence of fish predation. *J Plankton Res* **21**, 285–297
- Armengol J., Sabater, F., Riera, J. L. & Puig, M. A. (1988) Longitudinal changes in the zooplankton communities along a series of reservoirs in the Guadiana River (W. Spain). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **23**, 1006-1010.
- Armitage P. D. & Capper M. H. (1976) The numbers, biomass and transport downstream of micro-crustaceans and Hydra from Cow Green Reservoir (Upper Teesdale). *Freshwater Biol* **6**, 425–432
- Bezerra-Neto J. F. & Pinto-Coelho, R. M. P. (2007) Diel vertical migration of the copepod *Thermocyclops inversus* (Kiefer, 1936) in a shallow tropical reservoir: the role of oxygen and the spatial overlap with *Chaoborus*. *Aquatic Ecology*, **41**, 535–545.

- Branco C. W. C. & Cavalcanti, C. G. B. (1999) A ecologia das comunidades planctônicas no lago Paranoá. In: *Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais*, (ed. R. Henry) pp. 575-595. Fapesp/Fundibio, Botucatu.
- Casanova S.M.C. & Henry, R. (2004) Longitudinal distribution of Copepoda Populations in the transition zone of Paranapanema river and Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil) interchange with two lateral lakes. *Braz. J. Biol.* **64**, 11-26.
- Campbell C. E. (2002) Rainfall events and downstream drift of microcrustacean zooplankton in a Newfoundland boreal stream. *Can J Zool.* **80**, 997–1003
- Campos J. R. C., Lansac-Tôha F. A., Nunes M. A., Garcia A. P. P. & Prado, F. R. (1996) Composição da comunidade zooplanctônica de três lagoas da Ilha Porto Rico na planície de inundação do Alto Rio Paraná, *Acta Limnol. Bras.* **8**,183-194.
- Chang K., Doi H., Imai Hi., Gunji F. & Nakano S. (2008) Longitudinal changes in zooplankton distribution below a reservoir outfall with reference to river planktivory. *Limnology.* **9**, 125–133.
- Corgosinho P. H. C. & Pinto-Coelho, R. M. (2006) Zooplankton biomass, abundance and allometric patterns along an eutrophic gradient at Furnas Reservoir (Minas Gerais, Brazil). *Acta Limnol. Bras.* **182**, 213-224.
- Dawidowicz, P., & Loose C. J. (1992) Metabolic costs during predator-induced diel vertical migration of *Daphnia*. *Limnol. Oceanogr.* **37**, 1589-1595.
- Dini M. L. & Carpenter S. R. (1991) Fish predators, food availability and diel vertical migration in *Daphnia*. *J. Plankton Res.* **14**, 359-377.
- Doi H., Chang K., Ando T., Imai H., Nakano S., Kajimoto A. & Katano I. (2008) Drifting plankton from a reservoir subsidize downstream food webs and alter community structure. *Oecologia.* **156**, 363–371.
- Elmoor-Loureiro L. M. A. (1997) *Manual de identificação de cladóceros límnicos do Brasil*. Universa, Brasília, 156 p.

- Espíndola E. L. G., Matsumura-Tundisi T., Reitzier A. C. & Tundisi J. G. (2000) Spatial heterogeneity of the Tucuruí Reservoir (State of Pará, Amazonia, Brazil) and the distribution of zooplanktonic species. *Rev. Brasil Biol.* **60**, 179-194.
- Esteves F. A. (1998) *Fundamentos de Limnologia*. 2a ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 602p.
- Felisberto S. A. & Rodrigues L. Periphytic community of reservoirs cascade in the Paranapanema river, Brazil (2005) *Acta Scientiarum. Biological Sciences.* **27**, 215-223.
- Ferrareze M. & Nogueira M. G. (2006) Phytoplankton Assemblages and Limnological Characteristics in Lotic Systems of the Paranapanema Basin (Southeast Brazil). *Acta Limnol. Bras.*, 18: 1-16.
- Gralhóz G. (2005) Associações de Cladocera (Crustacea Branchiopoda) e fatores limnológicos em áreas de várzea do rio Paranapanema (SP-PR). *Dissertação de mestrado*. Instituto de Biociências. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 273p.
- Hammer Y., Harper D. A. T. & Ryan P. D. (2001) *Past: Palaeontological statistics software package for education and data analysis*. *Paleontologia Electronica*, 4(1), 9p.
- Hart R. C. (1988) Zooplankton feeding rates in relation to suspended sediment content: potential influences on community structure in a turbid reservoir. *Freshwat. Biol.* **19**, 23–139.
- Henry R. & Nogueira, M. G. (1999) A Represa de Jurumirim (São Paulo): primeira síntese sobre o conhecimento limnológico. In: *Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais*. (ed Henry, R) pp. 651-686. Tipomic, Botucatu.
- Jack J. D., Wickham S. A., Toalson S. & Gilbert J. J. (1993) The effects of clays on freshwater plankton community: an enclosure experiment. *Arch. Hydrobiol.* **127**, 257–270.



- Jorcin A. & Nogueira M. G. (2008) Benthic macroinvertebrados in the Paranapanema reservoir cascade (Southeast Brazil). *Brazilian Journal of Biology*. **68**, 631-637.
- Kindt R & Coe R. 2005. *Tree diversity analysis*. World Agroforestry Centre: Kenya. 207p.
- Kirk K. L. & Gilbert J. J. (1990) Suspended clay and the population dynamics of planktonic rotifers and cladocerans. *Ecology* **71**, 1741–1755.
- Lansac-Tôha F. A., Bonecker C. C., Velho L. F. & Lima, A. F. (1997) Composição, distribuição e abundância da comunidade zooplanctônica. In: *A planície de inundação do alto Rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos* (eds Vazzoler, A. E. A. M., Agostinho, A. A. & Hahn, N. S). pp. 179-208. Maringá, Eduem.
- Lansac-Toha F. A., Velho, L. F. M., Perenha, M. C. Z., Pereira D. G. & Santos V. D. (2004) Abundance of planktonic ciliates in a cascading reservoirs of the Paranapanema River, Brazil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*. **26**, 407-413.
- Lopes R. M., Lansac-Tôha F. A., Vale, R. & Serafim-Júnior M. (1997) Comunidade zooplanctônica do Reservatório de Segredo. In: *Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo*, (eds: Agostinho A. A. & Gomes, L. C.). pp.39-60. Maringá: Eduem.
- Maitland P. S. (1978) *Biology of fresh waters*. London.
- Margalef R. (1983) *Limnología*. Omega: Barcelona, 1010p.
- Matsumura-Tundisi T. (1986) Latitudinal Distribution of Calanoida Copepods in Freshwater aquatic Systems of Brasil. *Rev. Bras. Biol.* **46** (3), 527-553.
- McLay C. (1970) A theory concerning the distance travelled by animals entering the drift of a stream. *J. Fish. Res. Bd Can.* **27**, 359-370.
- Mitsuka P. M. & Henry R. (2002) The fate of Copepod Populations in the Paranapanema River (São Paulo, Brazil), Downstream from the Jurumirim Dam. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, **45** (4): 479-490.

- Nogueira, M. G. (1996) Composição, abundância e distribuição espaço-temporal das populações planctônicas e variáveis físico-químicas na represa de Jurumirim, Rio Paranapanema, SP. *Tese de doutorado*. EESC-USP, São Carlos, Brasil, 439p.
- Nogueira M. G. (2001) Zooplankton composition, abundance and diversity as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia*. **455**, 1-18.
- Nogueira M. G. & Panarelli E. (1997) Estudo da migração vertical das populações zooplanctônicas na represa de Jurumirim (rio Parapanema, São Paulo, Brasil). *Acta. Limnol. Brasil*. **9**, 55-81.
- Nogueira, M. G. ; Jorcin, A., Vianna, N. C. & Britto, Y. C. T. (2002) Uma avaliação dos processos de eutrofização nos reservatórios em cascata do Rio Paranapanema (SP/PR), Brasil. In: *El agua em Sudamérica: de la eutrofización a la gestión. Buenos Aires: Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo* (eds Fernández-Cirelli & G. Chalar) pp. 91-106.
- Nogueira M. G., Jorcin A., Vianna N. C. & Britto Y. C. T. (2006) Reservatórios em cascata e os efeitos na limnologia e organização das comunidades bióticas (fitoplâncton, zooplâncton e zoobentos) - um estudo de caso no rio Paranapanema (SP/PR). In: *Ecologia de Reservatórios - Impactos Potenciais, Ações de Manejo e Sistemas em Cascata*. (eds Nogueira, M. G., Jorcin, A. & Henry R) pp. 83-125. Rima, São Carlos.
- Nogueira M. G., Oliveira P. C. R. & Britto Y. C. T. (2008) Zooplankton assemblages (Copepoda and Cladocera) in a cascade of reservoirs of a large tropical river (SE Brasil) *Limnética (Madrid)*. **27**, 151-170.
- Odum E. P. (2004) *Fundamentos de ecologia*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 927 p.
- Pagioro T. A., Thomaz, S. M., Roberto, M. do C. (2005) Caracterização limnológica abiótica dos reservatórios. In: *Biocenoses em Reservatórios: padrões espaciais e temporais*. (eds Rodrigues, L., Agostinho, A. A., Gomes, L. C. & Thomaz, S. M) pp. 17-38. Rima, São Carlos.

- Palmer R. & O’Keeffe, J. (1990) Transported material in small river with multiple impoundments. *Freshwater Biology*. **24**, 563-575.
- Panarelli E., Casanova S. M. C., Nogueira, M. G., Mitsuka, P. M. & Henry, R. (2003) A comunidade zooplancônica ao longo de gradientes longitudinais no Rio Paranapanema/Represa de Jurumirim (São Paulo, Brasil). In: *Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos*. (ed R. Henry) pp. 129-160. Rima, São Carlos.
- Per-Ola H. (1999) Distribution of filter-feeding caddisflies (Trichoptera) and plankton drift in a Swedish lake-outlet stream. *Aquatic Ecology*. **33**, 377–386.
- Pinto-Coelho R. M. (2002). *Fundamentos em Ecologia*. Porto Alegre: Artmed. 252 p.
- Pourriot R., Rougier C. & Miquelis, A (1997) Origin and development of river zooplankton: example of the Marne. *Hydrobiologia*, **345**:143-148.
- R Development Core Team. (2006) R: A language and environment for statistical computing. Vienna - Austria, R Foundation for Statistical Computing ISBN 3-900051-07-0, URL. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 10/10/2007.
- Reid J. W. (1985) Chave de identificação para as espécies continentais sulamericanas de vida livre da ordem Cyclopoida (Crustacea, Copepoda). *Boletim de Zoologia, Universidade de São Paulo*. **9**, 17-143.
- Reckendorfer W., Keckeis H., Winkler G. & Schiemer F. (1999) Zooplankton abundance in the River Danube, Austria: the significance of inshore retention. *Freshwater Biology* **41**, 583-591.
- Richardson W. B. (1992) Microcrustacea in flowing water: experimental analysis of washout times and a field test. *Freshwat Biol* **28**, 217–230.
- Rocha C. E. F. (1998) New morphological characters useful for the taxonomy of genus *Microcyclops* (Copepoda, Cyclopoida). *J. Mar. System*. **15**, 425-431.
- Rocha O., Sendacz, S. & Matsumura-Tundisi, T. (1995) Composition, biomass and productivity of zooplankton in natural lakes and reservoirs of Brazil. In: *Limnology*

*in Brazil* (eds Tundisi J. G., Bicudo C. E. M. & Matsumura-Tundisi, T.). pp. 151-165. Rio de Janeiro: ABC/SBL,

Rzoska J. (1978) *On the Nature of Rivers*. Junk, The Hague.

Sampaio E. V., Rocha O., Matsumura-Tundisi, T. & Tundisi, J. G. (2002) Composition and abundance of zooplankton in the limnetic zone of seven reservoirs of the Paranapanema River, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. **62**, 525-545.

Sandlund O. T. (1982) The drift of zooplankton and microzoobenthos in the river Strandaelva, western Norway. *Hydrobiologia*. **94**, 33-48.

Sartori L. P. (2008) Compartimentalização longitudinal do reservatório de Rosana (Rio Paranapanema, SP/PR) - variáveis limnológicas e assembleias zooplanctônicas. *Tese de Doutorado*. Instituto de Biociências. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 273p.

Sendacz S. & Kubo E. (1982) Copepoda (Calanoida e Cyclopoida) de reservatórios do Estado de São Paulo. *Boletim do Instituto de Pesca*. **9**, 51-189.

Sendacz S., Kubo E. & Cestarolli M. A. (1985) Limnologia de reservatórios do sudeste do Estado de São Paulo, Brasil. VIII. Zooplâncton. *Bol. Inst. Pesca*. **12**, 187-207.

Silva W. M. (2003) Diversidade dos Cyclopoida (Copepoda, Crustacea) de água doce do Estado de São Paulo: taxonomia, ecologia e genética. *Tese de doutorado*, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 170p.

Silva W. M. & Matsumura-Tundisi T. (2002) Distribution and abundance of Cyclopoida populations in a cascade of reservoir of the Tietê River (São Paulo State, Brazil). *Verh. Int. Ver. Limnol*, **28**, 667-670.

StatSoft Inc. (2002) *Statistica* (data analysis software system), version 6.0 [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).

Straškraba M. & Tundisi J. G. (1999) Reservoir Ecosystem Functioning: Theory and application. In: *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications*. (eds M. Straskraba & J. G. Tundisi) pp. 565-583. Brazilian Academy of Sciences, International Institute of Ecology and Backhuys Publishers, São Carlos, Brazil.

- Tundisi J. G. (1990) Distribuição espacial, seqüência temporal e ciclo sazonal do fitoplâncton em represas: fatores limitantes e controladores. *Ver. Brasil. Biol.* **50**, 937-955.
- Tundisi J. G., Matsumra-Tindisi T & Tundisi, J E. M. (2008) Reservoirs and human well being: new challenges for evaluating impacts and benefits in the neotropics. *Braz. J. Biol.* **68**, 1133-1135.
- Urabe J. (1990) Stable horizontal variation in the zooplankton community structure of a reservoir maintained by predation and competition. *Limnol. Oceanogr.* **35**, 1703–1717.
- Velho L. F. M., Alves G. M., Lansac-Toha F. A., Bonecker C. C. & Pereira, D.G. (2004) Testate amoebae abundance in plankton samples from Paraná State reservoirs. *Acta Scientiarum. Biological Sciences.* **26**, 415-419.
- Viroux L. (2002) Seasonal e longitudinal aspects of microcrustacean (Cladocera e Copepoda) dynamics in a lowland river. *Journal of Plankton Research.* **24**, 281-292.
- Walks D. J. & Cyr H (2004) Movement of plankton through lake-stream systems. *Freshwat Biol* **49**, 745–759.
- Ward J. N. (1975) Downstream fate of zooplankton from a hypolimnial release mountain reservoir. *Verm Internat. Verein Limnol.* **19**, 1798-1808.
- Wetzel R. G. (1990) Reservoir ecosystems: conclusions and speculations. In: *Reservoir limnology: ecological perspectives*. (eds Thornton, K. W., Kimmel, B. L. & Pavne, F. E.). pp. 227-238. Wiley-Interscience Publication, Canada.