

**DIATOMÁCEAS EPILÍTICAS INDICADORAS DA QUALIDADE  
DE ÁGUA NA BACIA DO RIO GRAVATAÍ, RIO GRANDE DO  
SUL, BRASIL.**

**SAIONARA ELIANE SALOMONI**

**ORIENTADORA: Profa. Dra. ODETE ROCHA**

**CO-ORIENTADORA: Dra. VERA LÚCIA M. CALLEGARO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Ciências (Ciências Biológicas), Área de concentração em Ecologia.

**SÃO CARLOS – SP**

**2004**

## AGRADECIMENTOS

Ao final desta etapa, quero expressar com grande estima e satisfação meus agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho:

Ao Prof. Dr. Pedro Américo Senna (in memoriam) pela oportunidade que me deu em fazer o doutorado neste programa, pela confiança no desenvolvimento do meu trabalho, pelo exemplo profissional, pela amizade e pelos ensinamentos de perseverança, otimismo e força de vontade de viver, que nos passou até os seus últimos dias de vida.

À Profa. Dra. Odete Rocha, da Universidade Federal de São Carlos, pela excelente orientação, grandes sugestões e ajuda na redação deste trabalho, bem como o incentivo, a amizade e o carinho que manifestou nestes meses que tivemos de convivência.

À FAPERGS – Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul, pelo financiamento do projeto e à CAPES – Centro de Aperfeiçoamento e Pesquisa do Ensino Superior, pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos, na pessoa dos Coordenadores Prof. Dr. José Eduardo dos Santos e Prof. Dr. José Roberto Verani, por fornecer subsídios para o desenvolvimento deste trabalho. Aos secretários do PPP-ERN/UFSCar Roseli Aparecida Gonçalves, João Afonso, Maria das Graças, Luiz Eduardo, Renata e Iara pelo apoio, amizade e atenção dispensada.

Aos Diretores da Fundação Zoobotânica Ms. Eduardo Vélez e Ms. Luciano Moura, da administração anterior, e ao Diretor atual, Nei Gastal, pelo apoio e infra-estrutura no uso das instalações e equipamentos do Museu de Ciências Naturais, tornando possível este trabalho.

À Dra. Vera Lúcia Callegaro da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, pela co-orientação, pelo incentivo no desenvolvimento deste trabalho, pela amizade e pelo estímulo de sempre.

Ao Prof. Dr. Eduardo Lobo da Universidade de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, por disponibilizar sua bibliografia, pelo auxílio no desenvolvimento da metodologia deste trabalho, pelo estímulo e amizade.

À funcionária da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, RS, Ieda Pintos e aos motoristas do carro e do barco: Paulo Renato Ruas Marque, Paulo Amaral da Silva, Cleodir Mansan e Eduardo Borsatto pelo apoio técnico e companheirismo sem os quais as atividades de campo não teriam o sucesso obtido.

Às pesquisadoras da Fundação Zoobotânica em especial ao Núcleo de Algas: Vera Werner, Vera Callegaro, Sandra Silva, Zulanira Rosa e Lezilda Torgan pelo estímulo e incentivo dado no decorrer deste estudo. À todas as bolsistas e estagiárias, pelos bons momentos que compartilhamos. Aos técnicos do laboratório, Maurília, Jorge, Manoel, Gilberto e Nilson, pelo auxílio e amizade.

Aos colegas Antônio, Ricardo Ramos e Arlete, do Laboratório de Geoprocessamento da Fundação Zoobotânica, pela confecção do mapa da área estudada e pelos vários auxílios.

À Diretora técnica Dra. Dolores Pineda e ao Eng<sup>o</sup>. Químico Enio Leite, da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEPAM). À Diretora Bióloga Ms. Maria Mercedes Bendati e a Bióloga Maria das Graças Ortolan, do Departamento Municipal de Água e Esgoto de Porto Alegre (DMAE), por ter disponibilizado os resultados das variáveis físicas, químicas e microbiológicas no período de estudo, bem como pelo incentivo na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Alberto Carvalho Peret da Universidade Federal de São Carlos, e ao colega e amigo Guilherme Hermany, pelo auxílio nas análises estatísticas, pelo empréstimo dos “softwares” e pelas valiosas sugestões.

Aos colegas do programa de disciplina: Fernanda, Francisco, Magnólia, Didier, Cassio, Paulo, Sônia (Valorosa), Luizão, Nonato, Patrícia, Mércia, André, Samantha, Danilo, Andréia, Topa, Bixo, Ana Carolina, Rafael, Tasso, Magda, Zezé, Alexandre, Armando, Ângelo e Tarcísio, pelo companheirismo e bons momentos que compartilhamos em São Carlos.

Aos amigos e colegas de laboratório, Glória e Zé Américo, Zezé e Alexandre, Graça, Ana Cláudia, Naiza, Ivaneide, Zezinho, Paulo, Magno, Kátia, Fernando, Evandro e Andrréia Tucci, às secretárias do Departamento de Biologia Evolutiva (DEBE), Édina e a Mariana, pela amizade e incentivo que me deram nos meus momentos de angústia e pelos bons momentos que compartilhamos no laboratório.

Aos amigos, e mais que irmãos, Maria José Delamano Oliveira (Zezé) e Alexandre Oliveira, pelo incentivo de sempre, pela grande amizade e hospitalidade proporcionadas nestes últimos meses em que fiquei em São Carlos.

Às colegas e amigas, Maria Angélica, Fátima Marcomin, Ana Luiza, Fabiana e Lu Crossetti, pelo estímulo e amizade que mantemos durante muitos anos.

Ao colega Alessandro, pela valiosa ajuda na configuração do texto e na impressão final da tese.

Aos meus pais, Cláudio e Adelina, e ao meu irmão Tiago, pelo apoio, incentivo e compreensão de sempre.

A todos os meus tios e primos, pelo incentivo e companheirismo.

Ao meu tio Belmiro Antônio Salomoni, pelo apoio de sempre e por ter proporcionado os GCs da Varig, facilitando minhas idas e vindas a São Paulo.

Aos pais do Linei, Sra. Elília e o Sr. Mário, pelo estímulo, apoio e amizade.

Ao Linei, pelo amor, carinho, amizade, compreensão nos meus momentos de ausência e por compartilhar comigo os momentos difíceis, dando-me coragem para enfrentar este desafio.

Aos grandes amigos João Batista e Laura por me incentivar e estimular na realização deste trabalho.

Agradeço também, a muitas pessoas que acabei não citando o nome, mas que contribuíram ou foram importantes, dizendo-me palavras positivas, de estímulo e de incentivo, em algum momento deste trabalho.

<i>INTRODUÇÃO GERAL</i> .....	10
<i>MATERIAL E MÉTODOS</i> .....	15
<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	16
<b>PERÍODOS E ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM</b> .....	21
<b>AMOSTRAGEM QUANTITATIVA E PROCEDIMENTO DE CONTAGEM</b> .....	29
<b>DOMINÂNCIA E ABUNDÂNCIA DAS ESPÉCIES</b> .....	32
<b>ÍNDICES DE DIVERSIDADE ESPECÍFICA, RIQUEZA E UNIFORMIDADE DE ESPÉCIES</b> .....	32
<b>ÍNDICE DE SAPROBIDADE (IS)</b> .....	33
<b>VARIÁVEIS FÍSICAS, QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS</b> .....	33
<b>DADOS CLIMATOLÓGICOS</b> .....	34
<b>ANÁLISE DOS DADOS</b> .....	34
<i>CAPÍTULO 1</i> .....	36
<i>CARACTERIZAÇÃO LIMNOLÓGICA DO RIO GRAVATAÍ, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL</i> .....	37
<i>INTRODUÇÃO</i> .....	40
<i>MATERIAL E MÉTODOS</i> .....	41
<b>ANÁLISE DOS DADOS</b> .....	43
<i>RESULTADOS</i> .....	44
<b>VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS</b> .....	44
<i>DISCUSSÃO</i> .....	70
<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i> .....	78
<i>CAPÍTULO 2</i> .....	80
<i>COMPOSIÇÃO TAXONÔMICA E DIVERSIDADE DAS DIATOMÁCEAS EPILÍTICAS NO RIO GRAVATAÍ, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL</i> .....	81
<i>INTRODUÇÃO</i> .....	84
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	85
Área de Estudo .....	85
<i>Coleta das diatomáceas epilíticas</i> .....	86
Variáveis ambientais .....	88
Análises dos dados .....	88
<i>RESULTADOS</i> .....	89
<i>Diversidade de Espécies</i> .....	90
<i>DISCUSSÃO</i> .....	106
<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i> .....	108
<i>CAPÍTULO 3</i> .....	113
<i>VARIAÇÃO SAZONAL NA COMPOSIÇÃO E DENSIDADE DAS DIATOMÁCEAS EPILÍTICAS NO RIO GRAVATAÍ, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL</i> .....	114
<i>INTRODUÇÃO</i> .....	116
<i>MATERIAL E MÉTODOS</i> .....	117

Área de estudo .....	117
Coleta das Diatomáceas Epilíticas .....	118
Variáveis Ambientais .....	120
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>120</b>
<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>140</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:</b> .....	<b>143</b>
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>147</b>
<b>AS DIATOMÁCEAS EPILÍTICAS COMO INDICADORAS DA INTEGRIDADE BIOLÓGICA NO RIO GRAVATAÍ, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL</b> .....	<b>148</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>150</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>151</b>
Coleta das Diatomáceas Epilíticas .....	152
Variáveis Ambientais .....	155
Análises dos Dados .....	155
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>156</b>
<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>172</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>176</b>
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>185</b>
<b>AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO GRAVATAÍ, RS, BRASIL, PELA APLICAÇÃO DO SISTEMA DE SAPRÓBIOS UTILIZANDO DIATOMÁCEAS EPILÍTICAS COMO INDICADORAS.</b> .....	<b>186</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>188</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>190</b>
Coleta das Diatomáceas Epilíticas .....	191
Índice de Estado Trófico .....	193
Índices de Sapróbios.....	194
Índices Bióticos .....	194
Variáveis Ambientais .....	195
Análises Estatísticas .....	196
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>196</b>
<b>J</b> .....	<b>211</b>
<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>212</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>214</b>
<b>CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	<b>220</b>
<b>REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES</b> .....	<b>222</b>

## DIATOMÁCEAS EPILÍTICAS INDICADORAS DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO RIO GRAVATAÍ, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

RESUMO: As diatomáceas constituem um dos grupos de algas mais representativos na comunidade perifítica. Existem evidências de que as mesmas são boas indicadoras das condições ambientais por terem a composição de espécies e a abundância das populações afetadas, de forma mais ou menos previsível, pela poluição ou contaminação das águas em que se desenvolvem. No presente estudo foram investigadas as características limnológicas do rio Gravataí, RS, Brasil, analisando-se suas características físicas, químicas e biológicas ao longo de dois ciclos sazonais, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002. Foram estudadas, em detalhe, as variações espaciais e temporais na estrutura e diversidade das diatomáceas epilíticas, visando sua utilização como indicadores da qualidade da água. Amostragens trimestrais das diatomáceas epilíticas associadas a substratos artificiais rochosos foram realizadas em seis estações de amostragens ao longo do rio Gravataí e simultaneamente foram obtidas ou avaliadas as principais variáveis climatológicas e as características físicas e químicas da água. Houve uma marcante sazonalidade, com uma amplitude de variação de temperatura de 20°C, entre verão e inverno, e variação em uma ordem de magnitude na vazão do rio. O rio Gravataí tem dois trechos bastante distintos, o superior-médio, oligotrófico e oligomesosapróbico, com águas que podem ser enquadradas nas Classes 1 e 2, da resolução do CONAMA, nº 20 de 1986 e o trecho inferior, eutrófico, meso-polissapróbico, com águas nas Classes 2, 3 e 4. Existe uma descontinuidade no gradiente no curso médio do rio ocasionado pelo despejo de águas residuárias oriundas de Porto Alegre, resultando em incrementos de matéria orgânica lábil, com aumentos de até 3 e 50 vezes de DBO e coliformes fecais, respectivamente. Foram registrados um total de 169 taxons de diatomáceas epilíticas, ao longo do período de estudo. As espécies *Cocconeis placentula*, *Achnanthes sp.*, *Sellaphora seminulum* e *Eolimna minima* foram tipicamente abundantes no período de outono, enquanto *Gomphonema parvulum*, *Eunotia pectinalis* e *Navicula radiosa* atingiram maiores densidades no inverno. Evidenciou-se, também, que as espécies *Nitzschia palea* e *Sellaphora seminulum* tornaram-se gradativamente dominantes e permanentes no trecho inferior do rio, por serem mais tolerantes à poluição. A aplicação de um índice biótico que leva em consideração tanto as características abióticas quanto a abundância relativa das espécies, combinados em valores indicativos, representou adequadamente os gradientes e as variações temporais observadas. Uma comparação dos valores deste índice com aqueles derivados da aplicação de um índice regional revela



valores muito similares, evidenciando a adequação do modelo regional para representar a qualidade da água nos rios do Estado do Rio Grande do Sul.

### **EPILITHIC DIATOM AS INDICATORS OF WATER QUALITY IN GRAVATAÍ RIVER, RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL**

**ABSTRACT:** Diatoms are amongst the most representative groups of algae in periphytic communities. There is evidence that epilithic diatom assemblages are good indicators of environmental condition since species composition and population abundances change in a more or less predictable way due to pollution or contamination of surrounding waters. The present study investigated limnological characteristics of the Gravataí River, RS, Brazil, following, in the course of two seasons, variations of physical, chemical and biological variables, between September 2000 and August 2002. Spatial and temporal changes in the structure and diversity of epilithic diatom communities were studied in order to be applied as water quality indicators. Sampling of epilithic diatoms from stones used as artificial substrates were carried out every three months, in six sites along the river. Climatic, hydrological physical and chemical variables were simultaneously analyzed. A marked seasonal variability was observed regarding both climate and hydrology. Seasonal variation in temperature was wide, with a range of 20°C between summer and winter seasons and a one order of magnitude variation in river discharge. The results evidenced that Gravataí River has two distinct portions, the Upper-Middle stretch, oligotrophic, oligo-mesosaprobic, being placed in Class 1 or 2 regarding, water uses according to CONAMA classification and the Low Stretch, meso-eutrophic, meso-polisaprobic, Class 2, 3 and 4. There is a gradient discontinuity in the Middle course caused by the discharge of heavily polluted residual waters from Porto Alegre city, resulting on increments of labile organic matter and increase of 3 to 50 times on DBO and faecal coliforms, respectively. A total of 169 taxons were recorded in the epilithic diatom assemblages of Gravataí River during the studied period. The species *Cocconeis placentula*, *Achnanthes sp*, *Sellaphora seminulum* and *Eolimna minima* were particularly abundant in the autumn, whereas *Gomphonema parvulum*, *Eunotia pectinalis* and *Navicula radiosa* reached the highest densities in the winter. It was also observed that *Nitzschia palea* and *Sellaphora seminulum* became gradually dominant and constant species in the Low stretch of the river, for being more tolerant to pollution. The use of a biotic index considering both environmental variables and the relative abundances of species, combined as indicative values, well represented the gradient and temporam changes observed..Comparing these indices with those calculated using the Regional Water Quality Index available from literature gave very similar values evidenced that the model might adequately describe the water quality in the rivers of Rio Grande do Sul.

## **INTRODUÇÃO GERAL**

Tanto a quantidade quanto à qualidade dos recursos hídricos estão sujeitas a grandes variações em função de causas naturais e antrópicas. O conceito de desenvolvimento sustentável, bastante discutido desde o final do século passado, tem modificado as relações entre o homem e a natureza. A disponibilidade e o comprometimento da qualidade das águas doces destacam-se hoje como um dos principais problemas relacionados ao desenvolvimento sustentável, e um dos grandes desafios a serem enfrentados já neste século.

As múltiplas atividades humanas nas bacias hidrográficas têm como resultado as volumosas descargas de água poluída, com altas concentrações de matéria orgânica, que ao serem degradadas elevam as concentrações de nutrientes, provocando desequilíbrios nos ciclos biogeoquímicos naturais e uma série de efeitos colaterais indesejáveis. As avaliações qualitativas e quantitativas desses impactos são parte muito importante do esforço para a manutenção dos ecossistemas naturais e para atingir a meta do desenvolvimento sustentável. A alta concentração populacional e a rápida expansão das atividades econômicas, têm feito com que as bacias hidrográficas, que incluem grandes centros urbanos, sofram crescentes impactos ambientais, principalmente no que diz respeito aos resíduos domésticos e industriais.

O termo perífíton foi inicialmente utilizado por Behnhing (1928), para definir as comunidades de algas que crescem em substratos artificiais. Sládecková (1962) usou o mesmo termo para definir a comunidade de organismos que vivem aderidos ou associados a diferentes substratos aquáticos. O termo perífíton consagrou-se atualmente, sendo que a definição dada por Wetzel (1983), como sendo uma complexa comunidade de bactérias, fungos, algas, animais e detritos orgânicos e inorgânicos que vivem aderidos a substratos vivos ou mortos, é a mais aceita.

As comunidades perifíticas estão comumente relacionadas com a indicação da qualidade de água. As mudanças qualitativas e quantitativas na comunidade perifítica e sua relação com as mudanças nas características físicas e químicas do ambiente são usadas para descrever a qualidade da água num tempo específico (Nielsen *et al.*, 1984; Lobo *et al.*, 1985).

Do ponto de vista ecológico, Lange-Bertalot (1979) propôs um método para avaliação da qualidade de água de rios usando comunidade de diatomáceas e dividindo-as em três categorias, de acordo com a tolerância de espécies em relação à poluição orgânica, sendo a qualidade da água classificada de acordo com o percentual de ocorrência de cada grupo de diatomáceas na amostra. Kobayasi & Mayama (1982), trabalhando em vários rios poluídos no Japão, concluíram que o método de Lange-Bertalot é prático para uso de rotina em Hidrobiologia. Entretanto, uma revisão

cuidadosa na composição de espécies por grupos foi realizada visando a aplicação em águas japonesas. Assim, um método praticável para avaliar a qualidade de água dos rios do Japão foi proposto por Kobayasi & Mayama (1989). Por este método, as diatomáceas são classificadas em três diferentes grupos, de acordo com a distribuição ao longo do gradiente de poluição orgânica: A- grupo mais tolerante à poluição, B- grupo menos tolerante à poluição, C- grupo sensível à poluição.

Watanabe (1981, *apud* Sumita & Watanabe, 1983), desenvolveu um índice da comunidade de diatomáceas epilíticas baseado na relação da composição específica e o grau de poluição da água em rios. Tendo em vista a ocorrência de táxons de diatomáceas em águas oligossapróbicas a polissapróbicas, este autor dividiu estas algas em três grupos ecológicos: a) táxons tolerantes; b) táxons indiferentes; c) táxons intolerantes.

Diversos países da União Européia (EU), utilizam a análise das diatomáceas como parte da rotina em programas de monitoramento para avaliação da qualidade de água, bem como dos efeitos da acidificação e da eutrofização em rios (Whitton & Rott, 1996).

Índices com base nas diatomáceas são usados para uma variedade de propostas práticas em toda a Europa. A natureza dos processos biológicos faz com que eles sejam mais apropriados para refletirem variações espaciais e temporais durante um período relativamente longo, através das mudanças na estrutura da comunidade. Assim, mudanças de curto prazo na turbidez, variações na concentração de nutrientes ou de oxigênio, de curto prazo, podem ser consideradas como variáveis perturbadoras, enquanto que, mudanças nas comunidades de diatomáceas, causadas por tais efeitos, podem ser essenciais para o entendimento da qualidade da água no local.

Em muitas circunstâncias, onde o fluxo de água é muito intenso, o epilítton (comunidade de algas que crescem sobre pedras) é a comunidade que permite uma amostragem mais abundante e as preferências ecológicas das espécies comuns podem ser bem entendidas nestes substratos (Pipp & Rott, 1993 *apud* Kelly *et al.*, 1998).

Em ambientes lóticos, são comumente empregados substratos artificiais para os estudos do perifítton, como por exemplo, em estudos que visam o reconhecimento da carga poluidora, a qual promove mudanças na estrutura das comunidades destes organismos. O emprego de substratos artificiais pode ainda ser devido à dificuldade de se encontrarem plantas aquáticas na região litoral com estruturas permanentemente submersas (Lowe & Gale, 1980; Watanabe, 1985).

Segundo Watanabe (1990), os substratos artificiais podem ser utilizados de maneira adequada em várias pesquisas de impacto ambiental e de interações entre as comunidades perifíticas. A

utilização de substratos com superfícies rígidas, permite avaliar as alterações na comunidade de diatomáceas, a qual responde mais rapidamente às mudanças na qualidade da água do que as comunidades estabilizadas sobre o substrato natural (Iserentant & Blancke, 1986).

No Brasil a utilização da comunidade perifítica como indicadora da qualidade da água vêm sendo implementada nas duas últimas décadas. Na região sul do Brasil, destacam-se os trabalhos de Lobo *et al.* (1996, 1998, 2000, 2004), aplicando o sistema de sapróbio para avaliar a qualidade da água, utilizando principalmente as diatomáceas epilíticas. Podem ainda ser citados os trabalhos de Mourthé-Junior (2000) desenvolvidos na bacia do rio das Velhas, na região metropolitana de Belo Horizonte, e o trabalho de Souza (2002) realizado no rio Monjolinho, São Carlos, São Paulo, ambos utilizando diatomáceas epilíticas para avaliação da qualidade da água em rios e córregos destas regiões.

## **OBJETIVOS**

- Conhecer a estrutura e composição das diatomáceas epilíticas do rio Gravataí, avaliando as mudanças espaciais e temporais destes organismos ao longo de um gradiente de poluição e durante dois ciclos sazonais.
- Relacionar as variáveis ambientais abióticas com a estrutura da comunidade de diatomáceas epilíticas na busca de relações de dependência ao longo do tempo e do espaço, nas seis estações de amostragem estabelecidas na bacia do rio Gravataí, para fins de avaliação da qualidade da água.
- Contribuir para a avaliação da qualidade da água do rio Gravataí, através da análise das características físicas, químicas e biológicas deste rio.
- Utilizar o sistema de sapróbios, proposto para os rios do sul do Brasil, visando contribuir com o sistema regional para avaliação da qualidade da água desses rios.

## HIPÓTESES

- O rio Gravataí, por ser um rio de planície, com moderada extensão, e por ter parte de seu curso dentro de uma área urbana, com densa aglomeração populacional, apresenta alterações no contínuo fluvial, em relação às características físicas, químicas e microbiológicas, ocasionando mudanças na estrutura e na densidade das diatomáceas epilíticas devendo refletir no gradiente espacial.
- Devido à localização latitudinal da bacia hidrográfica do rio Gravataí as diatomáceas epilíticas deve sofrer alterações na composição e na abundância das espécies, determinadas pelas variações sazonais, climáticas e hidrológicas.
- Entre as diatomáceas epilíticas do rio Gravataí existem espécies consideradas indicadoras cuja presença e abundância pode ser utilizada na avaliação da qualidade da água.
- O índice biológico de qualidade da água, baseado no valor indicativo das diatomáceas epilíticas, desenvolvido para os rios da região Sul, é uma ferramenta adequada para a avaliação da qualidade da água do rio Gravataí.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região hidrográfica do lago Guaíba é a mais importante das bacias hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul. Abrange uma área de 84.763,5km<sup>2</sup>, sendo a região mais densamente habitada do Estado, concentrando a maior parte das atividades econômicas.

Está dividida em nove sub-bacias: Alto Jacuí, Taquari-Antas, Pardo Baixo Jacuí, Vacacaí, Vacacaí-Mirim, Caí, Sinos, Gravataí e Guaíba, equivalendo a 30% da área total do Estado.

Os rios Caí, Sinos e Gravataí desembocam diretamente no lago Guaíba e, junto com o Jacuí, contribuem com uma vazão média de 38000 m<sup>3</sup>/s, formando o Delta do Jacuí, com uma área de 47,18 km<sup>2</sup> (Atlas Ambiental de Porto Alegre, 1998).

A Bacia Hidrográfica do rio Gravataí (Figura 1) está localizada na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Estende-se entre Porto Alegre e o delta do rio Jacuí a oeste, e a zona de lagoas da costa do Atlântico a leste, entre as longitudes 50°27' e 51°12' W. Ao norte faz limite com a bacia hidrográfica do rio dos Sinos, e ao sul com os banhados e arroios que escoam para a laguna dos Patos, entre as latitudes de 29°45' e 30°12' S (DNOS, 1985).

A bacia hidrográfica do rio Gravataí tem cerca de 2020 km<sup>2</sup> de área, estendendo-se de Porto Alegre até à zona das lagoas, na costa do oceano Atlântico. Incluindo total ou parcialmente os municípios de Santo Antônio da Patrulha, Taquara, Glorinha, Gravataí, Alvorada, Viamão, Cachoeirinha, Canoas e Porto Alegre. Cerca de dois terços desta bacia drena para o Banhado Grande e o restante para o rio propriamente dito. As nascentes são constituídas por vertentes íngremes no divisor de águas com o rio dos Sinos, em altitude de até 400 m, recolhendo as precipitações e despejando no Banhado Grande. O Banhado Grande, que atua como regulador de vazão, originalmente ocupava uma área de 450 km<sup>2</sup>, tendo sido reduzido de 50 km<sup>2</sup>, em função do uso da água para irrigação das culturas de arroz (FEPAM, 1992/94).

A Bacia Hidrográfica do rio Gravataí, situada na região metropolitana de Porto Alegre, RS, é responsável pelo abastecimento público de água para cerca de quinhentos mil habitantes, localizados em cinco municípios. Em sua porção central, existe uma área úmida constituída por um conjunto de ecossistemas de banhados, matas paludosas e campos inundáveis conhecido por Banhado Grande, que desempenha importante função na hidrodinâmica desse manancial e apresenta grande diversidade biológica (FZB, 1976).

Os ecossistemas deste local têm sido, ao longo do tempo, afetados por diversas ações negativas. A drenagem de grande parte de sua área, iniciada na década de 1960, resultou na sua



diminuição de 45000 ha para cerca de 6000 ha (METROPLAN, 1985). Paralelamente, os desmatamentos nas nascentes e ao longo dos rios formadores, o uso de agroquímicos na agricultura, o avanço da urbanização nas várzeas, a caça e pesca predatória e as queimadas, entre outros fatores, têm contribuído para a degradação de sua qualidade.

O rio Gravataí tem um comprimento aproximado de 39 km, desde o Passo dos Negros até o Delta do Jacuí. Este rio apresenta baixa velocidade, é sinuoso e com muitos meandros, sendo a profundidade, a largura e a velocidade da corrente variáveis, mesmo considerando curtas distâncias. No seu trecho inferior ocorre o fenômeno de inversão de correntes, em função da influência do Delta do Jacuí. O escoamento do rio é determinado pelas vazões oriundas do Banhado Grande e arroio Demétrio, e pelas variações dos níveis d' água do Delta do Jacuí.

No sistema de Köppen, o clima predominante é o mesotérmico superúmido, sem estação seca, classificado como Cfa: subtropical, com chuvas em todos os meses e temperaturas médias do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio entre 3°C e 18°C. Localizada na zona temperada, a região apresenta uma importante oscilação térmica ao longo do ano, sendo seu inverno frio e o verão quente, embora essa variabilidade térmica não seja tão acentuada quanto aquela registrada em altas latitudes dessa zona (FEPAM, 1992/94).

Levando-se em conta apenas a pluviosidade e a umidade, entretanto, considera-se que a região está sujeita a condições climáticas muito distintas, pois os sistemas circulatórios apresentam grandes flutuações anuais, gerando notáveis desvios pluviométricos, tanto no verão como no inverno. Os efeitos do regime de pluviosidade da região sul refletem-se na vazão do rio Gravataí, determinando um período de cheia no inverno e de estiagem no verão. Baseado nos dados das vazões medidos pelo DNAEE no período de 1939 a 1980, foi definido o período de estiagem de novembro a maio e o período de chuvas de junho a outubro, segundo FEPAM (1992/94).

A bacia hidrográfica do rio Gravataí apresenta duas regiões com características de ocupação distintas: uma com intensa atividade agropecuária, predominante no curso superior do rio, e outra no trecho inferior do rio, com uso urbano e industrial.

Segundo Rodrigues & Leitão Filho (2000), as zonas ripárias possuem importante função hidrológica na manutenção da integridade da micro-bacia hidrográfica, representada por sua ação direta numa série de processos importantes para a estabilidade da micro-bacia, para a manutenção da qualidade e da quantidade de água, assim como para a manutenção do próprio ecossistema aquático. A bacia do rio Gravataí tem sofrido ao longo de muitos anos sérios problemas de

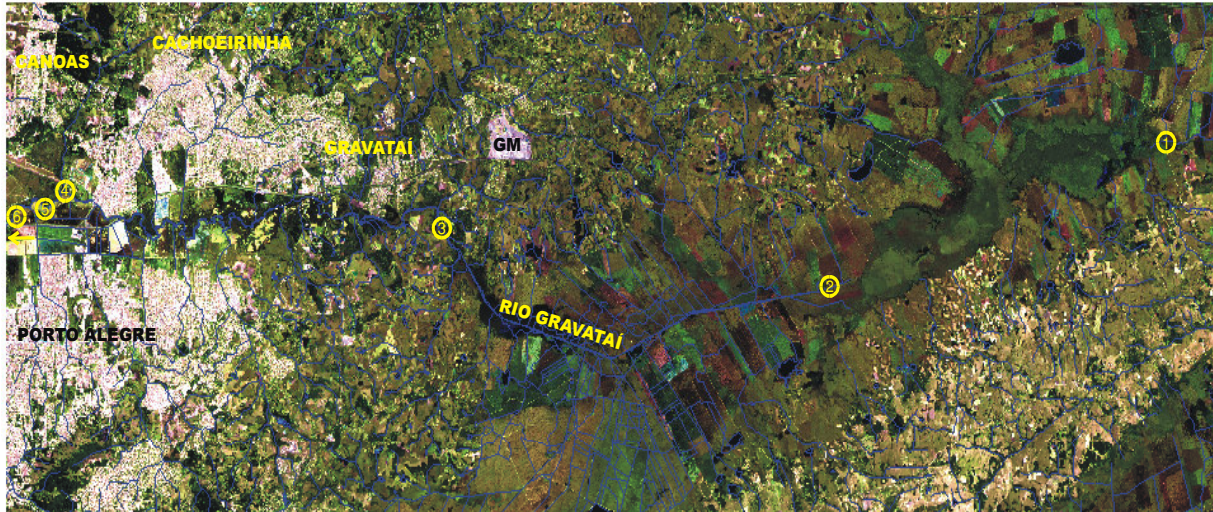
inundações periódicas, tanto nas zonas rurais como nas zonas urbanas. Provavelmente, os baixos índices de cobertura vegetal das matas ripárias dos arroios contribuintes constituem um fator importante para estas inundações, demonstrando a urgência de ações de recuperação destes ecossistemas (FZB, 2002).

Os arroios existentes na unidade da paisagem Planície lagunar foram desaparecendo com o aumento das áreas de cultivo de arroz, dando lugar a uma rede de canais de drenagem que na maioria não apresentam mata ripária, e quando esta ocorre, é constituída por uma linha de maricás.

As margens do rio Gravataí também apresentam uma situação crítica, pois em muitos trechos do leito não existe nenhuma cobertura de mata, e onde existe já houve corte seletivo.

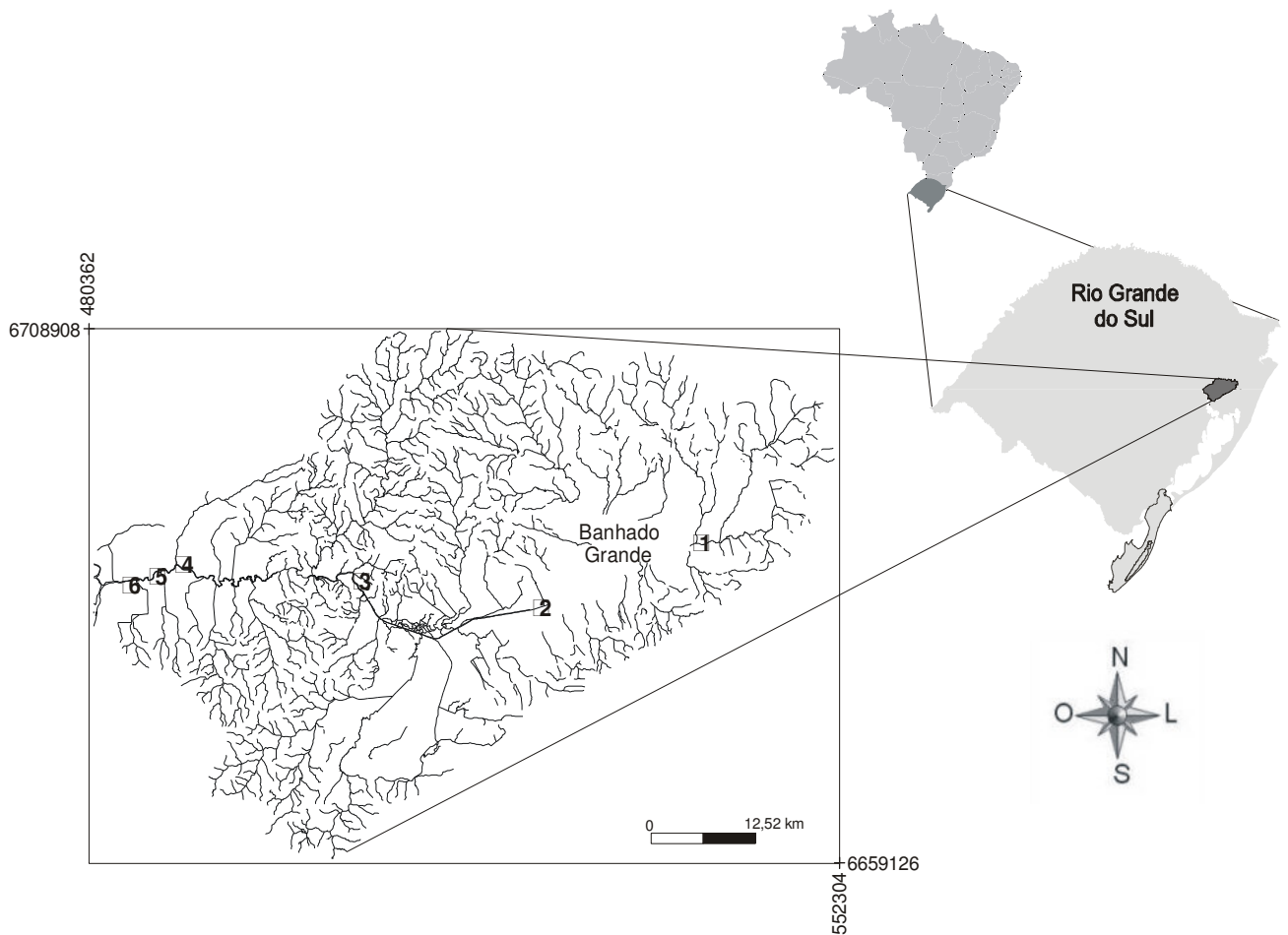
Esta bacia apresenta relevante importância social, econômica e cultural. O parque industrial tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, bem como a população urbana. O crescimento acelerado provocou um incremento na carga poluidora, gerada devido à irrigação de culturas, dessedentação de animais, lançamento de efluentes domésticos e industriais, lixívia de resíduos sólidos, drenagem urbana, fontes difusas rurais e a precipitação de poluentes atmosféricos, potencializados pelas baixas vazões e inversões de fluxos.

LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE COLETA DE ALGAS DIATOMÁCEAS EPILÍTICAS NA BACIA DO RIO GRAVATAÍ, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.



LEGENDA :

- 1 - ESTAÇÃO 1 : Arroio Chico Lomã - Município de Santo Antônio da Patrulha
- 2 - ESTAÇÃO 2 : Ponte - Fazenda de Arroz - Município de Glorinha
- 3 - ESTAÇÃO 3 : Passo dos Negros - Município de Gravataí
- 4 - ESTAÇÃO 4 : Antiga captação da Base Aérea - Município de Canoas
- 5 - ESTAÇÃO 5 : Arroio da Areia - Município de Porto Alegre
- 6 - ESTAÇÃO 6 : Foz do rio Gravataí - Município de Porto Alegre



**Figura 1:** Localização da Bacia Hidrográfica do rio Gravataí, no estado do Rio Grande do Sul, e das seis estações de amostragem ao longo do rio Gravataí. E1=arroio Chico Lomã, município de Santo Antônio da Patrulha; E2= Fazenda Juca Barcelos, município de Glorinha; E3= Balneário Passo dos Negros, município de Gravataí; E4=Captação da base aérea, município de Porto Alegre/Canoas; E5=Arroio da Areia, município de Porto Alegre/Canoas; E6= Foz do rio Gravataí, município de Porto Alegre.

## PERÍODOS E ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM

As amostragens das algas diatomáceas epilíticas foram realizadas no período de setembro de 2000 à agosto de 2002, com periodicidade trimestral, abrangendo dois ciclos sazonais completos, em seis estações de amostragem estabelecidas a montante e a jusante das principais fontes poluidoras na bacia do rio Gravataí (figuras 2 a 7).

As coletas das algas diatomáceas foram realizadas no mesmo período em que foram obtidas amostras de água para análises físicas, químicas e microbiológicas: temperatura da água e do ar, condutividade, turbidez, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio após 5 dias (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, ortofosfato, fosfato total, cloretos e coliformes fecais.

A obtenção e as análises das amostras de água foram realizadas pela Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM) e pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE), sendo os resultados disponibilizados para a realização desta pesquisa.

Os locais estabelecidos como estações de amostragem foram os seguintes:

**Estação 1:** arroio Chico Lomã - Banhado Grande, nascente do rio Gravataí, município de Santo Antônio da Patrulha; RS. latitude 29°56'05"S e longitude 50°36'05"W

Esta estação apresenta um corpo hídrico de 15 metros de largura em um trecho retilíneo, o tipo de leito é arenoso e, a vegetação de margens formada por gramíneas e macrófitos aquáticos: *Eichhornia azurea*, *E. crassipes*, *Scirpus californicus* e *Salvinia herzogii*.

**Estação 2:** ponte de concreto localizada sob o trecho dragado do rio Gravataí, na fazenda Juca Barcelos, município de Glorinha, RS. latitude 29°59'21"S e longitude 50°45'37" W.

Esta estação apresenta um corpo hídrico de 15 metros em um trecho retilíneo o tipo de leito é arenoso e, a vegetação de margens formada por grama, campo e lavoura de arroz.

**Estação 3:** Passo dos Negros- balneário (saída do banhado Grande), município de Gravataí; RS. latitude 29°57'55"S e longitude 50°57'52"W.

Apresenta um corpo hídrico de 30 metros em um trecho curvilíneo, o tipo de leito é arenoso e a vegetação das margens é de grama e mata ciliar.

**Estação 4:** Antiga captação da base aérea, próximo ao IRGA, município de Porto Alegre/ Canoas; RS. Latitude 29°57'16''S e longitude 51°07'36''W.

Apresenta um corpo hídrico de 20 metros em um trecho curvilíneo, o tipo de leito é arenoso apresentando uma vegetação de margens com talude de grama e mata ciliar.

**Estação 5:** foz do arroio da Areia, município de Porto Alegre/Canoas; RS.

Latitude 29°57'37'' S e longitude 51°08'34'' W.

Apresenta um corpo hídrico de 100 metros em um trecho curvilíneo, o tipo de leito é arenoso e lodoso apresentando uma vegetação de margens com taludes com grama e mata ciliar.

**Estação 6:** foz do rio Gravataí, município de Porto Alegre, RS.

Latitude 29°58'06'' S e longitude 51°11'42'' W.

Apresenta um corpo hídrico de 100 metros em um trecho retilíneo, o tipo de leito é arenoso e lodoso apresentando uma vegetação das margens escassa, com taludes e áreas de atracadouros.

A seguir são apresentadas as fotos das seis estações de amostragem, com os respectivos locais onde foram instalados os amostradores (figura 14) com as rochas para a colonização das diatomáceas epilíticas (indicados pela flecha nas figuras 2 a 7).

As figuras 8 a 13 caracterizam os locais de entorno do rio Gravataí, nas proximidades da foz.



**Figura 2:** Estação 1, arroio Chico Lomã - Banhado Grande, nascente do rio Gravataí, município de Santo Antônio da Patrulha, RS.



**Figura 3:** Estação 2, ponte de concreto localizada sobre o trecho dragado do rio Gravataí, na fazenda Juca Barcelos, município de Glorinha, RS.





**Figura 4:** Estação 3, Passo dos Negros- balneário (saída do banhado Grande), município de Gravataí, RS.



**Figura 5:** Estação 4, antiga captação da Base aérea, próximo ao IRGA, município de Porto Alegre/ Canoas, RS.





**Figura 6:** Estação 5, foz do arroio da Areia, município de Porto Alegre / Canoas, RS.



**Figura 7:** Estação 6, foz do rio Gravataí, município de Porto Alegre, RS.



**Figura 8:** Vila de papeleiros localizada à direita da Br 290 (Free-Way), onde suas águas são lançadas por um canal localizado próximo a estação 5 de amostragem no rio Gravataí, RS.



**Figura 9:** Canal de entrada de águas residuárias domésticas e lixo, da vila de papeleiros localizada do outro lado da Br 290 (Free-Way), no rio Gravataí, RS.





**Figura 10:** Canal de entrada de águas residuárias domésticas e industriais oriundas da zona norte da cidade de Porto Alegre, no rio Gravataí, RS.



**Figura 11:** Atividades de pesca são realizadas às margens do rio Gravataí, RS, próximas à foz..



**Figura 12:** Despejos de águas residuárias domésticas lançadas “in natura” do rio Gravataí, RS, proveniente das vilas localizadas nas proximidades da foz do rio.



**Figura 13:** Atividades de pesca são realizadas às margens do rio Gravataí, RS, próximas à foz. No entorno a grande quantidade de lixo que se deposita nas margens.



## AMOSTRAGEM QUANTITATIVA E PROCEDIMENTO DE CONTAGEM

Para a análise das algas diatomáceas epilíticas, (em cada estação de amostragem) foram instalados substratos artificiais constituídos de substrato rochoso (seixo rolado), que foram colocados na sub-superfície da coluna d'água, na profundidade de 20 cm, com flutuadores de isopor, em seis estações de amostragem localizadas ao longo do rio, conforme ilustrado na Figura 8. Na colocação dos amostradores os locais sombreados foram evitados, mesmo que eles estivessem próximos à margem. Como o rio Gravataí não possui rochas, principalmente na foz, estas foram introduzidas. Ao longo de todas as amostragens realizadas utilizou-se sempre o mesmo tipo de rocha (seixo rolado), sendo selecionada a rocha mais comum para os rios da região, embora de acordo com Round (1991b) o efeito de diferentes tipos de rocha na composição de diatomáceas parece não afetar as espécies indicadoras.



**Figura 14:** Amostradores contendo rochas os quais foram instalados nas seis estações de amostragem, para fixação de algas diatomáceas epilíticas, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, ao longo do rio Gravataí, RS.

O tempo de exposição das rochas no rio foi de quatro a cinco semanas (Lobo & Buselato-Tonioli, 1985) e as amostragens foram realizadas de três em três meses, correspondendo às quatro estações do ano, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002.

As coletas para a análise quantitativa das diatomáceas foram realizadas através da raspagem de pedras, cobrindo uma superfície de 5x5 cm, abrangendo uma área de 25 cm<sup>2</sup> (figura 15). Em cada estação de amostragem, foram raspadas com auxílio de uma escova de dentes, três pedras (75 cm<sup>2</sup>), das quais foi retirada uma amostra final, correspondendo a 25 cm<sup>2</sup>, a qual foi fixada com 4 ml de formaldeído.

Para estudos qualitativos foram obtidas amostras raspando-se o restante da superfície da rocha, em volta do quadrante, sendo o material lavado com água destilada e fixado com formaldeído.



**Figura15:** Raspagem da rocha em uma área de 25 cm<sup>2</sup>, para obtenção das amostras quantitativas de diatomáceas epilíticas no rio Gravataí, RS.

Após cada coleta, as rochas foram transportadas para o laboratório, escovadas e deixadas de molho em água sanitária, por 24 horas; depois foram escovadas novamente, lavadas com água destilada e reutilizadas nas demais expedições de coleta.

Após este procedimento, a amostra composta foi homogeneizada, sendo dela retirada uma alíquota de 40mL. O material foi oxidado com permanganato de potássio e ácido clorídrico concentrado, e montado em lâminas permanentes utilizando Naphrax® como resina. Em cada lâmina foi colocado o volume de 1mL de amostra oxidada, para posterior observação em microscópio óptico binocular.

A metodologia de contagem das diatomáceas seguiu aquela descrita por Kobayasi & Mayama (1982) e Lobo (1995).

Para cada amostra foram realizadas contagens em transectos, tendo sido contadas no mínimo 400 valvas, conforme metodologia estabelecida por Bate & Newall (1998). Mesmo já atingindo o número de valvas estipulado, a contagem foi realizada até o final do transecto. Valvas quebradas foram contadas desde que os fragmentos tivessem mais da metade do comprimento total da alga. Valvas em vista pleural foram contadas quando apareciam em grande quantidade, tendo sido realizada a confirmação da espécie com o material fixado, onde era possível observar as diferentes posições da espécie.

A expressão matemática aplicada para estimar o fator de conversão utilizado, segundo Lobo (1995a) foi a seguinte:

$$FC = \frac{No. Vo. Vamostra}{N_1. V_1. Ao}$$

FC = Fator de conversão

No = total do número de transectos sobre a lâminula (110);

Vo = volume da subamostra (40mL) utilizada para a oxidação;

Vamostra = volume da amostra original, proveniente da raspagem de rocha;

N<sub>1</sub> = Número de transectos contados na lamínula;

V<sub>1</sub> = volume da amostra oxidado utilizado para cobrir a lamínula (1 mL);

Ao = área da rocha a partir da qual a amostra foi tomada (2500 mm<sup>2</sup>);

Após calculado o fator de conversão este foi multiplicado pelo número de indivíduos de cada espécie, sendo os resultados expressos em número de valvas por cm<sup>2</sup>.

## IDENTIFICAÇÃO DAS DIATOMÁCEAS EPILÍTICAS

Para a identificação dos táxons, em nível específico e infra-específico, as diatomáceas epilíticas foram observadas em microscópio ótico binocular, modelo Leica DMLB com contraste de fase e ocular de medição.

As fotomicrografias foram obtidas em microscópio Zeiss, modelo Axioplan, com contraste de fase, no Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul.

As amostras do material quantitativo e qualitativo foram registradas com números de HAS de 103699 a 103813 e, junto com as lâminas permanentes, estão depositadas no Herbário Prof. Dr. Alarich R. H. Schultz (HAS), do Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (MCN/FZB).

Na identificação das diatomáceas foram utilizadas as seguintes obras taxonômicas: Patrick & Reimer (1966, 1975), Germain (1981), Krammer (1992), Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, 1991b), Lange-Bertalot (1979, 2001), Lobo *et. al.* (2002).

## **DOMINÂNCIA E ABUNDÂNCIA DAS ESPÉCIES**

Para a determinação das espécies dominantes e abundantes foram seguidos os critérios de Lobo & Leighton (1986), que consideram abundantes aquelas cuja ocorrência numérica supera a média de ocorrência dos indivíduos por espécie e dominantes, as que apresentam uma ocorrência superior a 50% do total de indivíduos contados na amostra. Foram consideradas espécies raras aquelas que foram registradas em uma única amostra, quando considerados cada ambiente e cada período estudado.

## **ÍNDICES DE DIVERSIDADE ESPECÍFICA, RIQUEZA E UNIFORMIDADE DE ESPÉCIES**

Foram calculados os índices de diversidade específica, a riqueza de espécies (expressa em termos de número total de espécies presentes) e a uniformidade da distribuição das abundâncias relativas dos indivíduos de cada espécie (Pielou, 1966).

Os índices de diversidade específica ( $H'$ ) e equitabilidade ( $J$ ), adotados para este estudo, estão baseados na função de Shannon-Wiener. Os índices foram calculados utilizando-se o programa Divers (Smith, 1993).



## ÍNDICE DE SAPROBIDADE (IS)

Visando comparar os índices de sapróbios obtidos no rio Gravataí, com os índices já existentes para outros sistemas de rios e arroios da Região Hidrográfica do Guaíba, foram utilizados os trabalhos de Lobo *et al.* (2002) e Lobo *et al.* (2004) com referência aos valores indicativos estabelecidos para as espécies indicadoras de diatomáceas.

## VARIÁVEIS FÍSICAS, QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS

Dois órgãos do Estado do Rio Grande do Sul, a Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM) e o Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE), através do projeto Pró-Guaíba vêm realizando monitoramento mensal da qualidade da água deste rio. Através de acordo com estas instituições, os resultados das análises químicas, físicas e microbiológicas usados no monitoramento foram fornecidos para a realização desta pesquisa, sendo as coletas das algas epilíticas realizadas no mesmo dia e local das coletas de água.

Foram obtidas amostras de água para medição das seguintes variáveis ambientais físicas, químicas e microbiológicas: temperatura da água e do ar, condutividade, turbidez, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio após 5 dias (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, ortofosfato, fosfato total, cloretos, e coliformes fecais.

A temperatura da água e do ar, transparência, profundidade, pH, condutividade e oxigênio dissolvido (OD), foram medidos no campo. Para outras variáveis, as amostras foram acondicionadas em frascos de vidro e polietileno, em caixas de isopor contendo gelo, sendo processadas logo após as coletas. As técnicas utilizadas, tanto na coleta de amostras como nas analíticas, encontram-se descritas em APHA (1992).

As coletas foram realizadas com frequência mensal, abrangendo assim as variações climáticas, as variações de produtividade industrial, bem como a sazonalidade agrícola. Cada campanha de coleta foi realizada num único dia.

## **DADOS CLIMATOLÓGICOS**

Os dados climatológicos foram obtidos no Instituto de Pesquisas Agronômicas do Rio Grande do Sul (IPAGRO), da estação meteorológica localizada próximo a estação 4 (latitude 29°57'16''S e longitude 51°07'36'' W), no rio Gravataí.

## **ANÁLISE DOS DADOS**

A análise de agrupamento (cluster) foi realizada utilizando-se os valores médios correspondentes das variáveis abióticas a cada estação do ano para o período de setembro de 2000 a agosto de 2002. Esta análise foi realizada com as seguintes variáveis ambientais: temperatura da água e do ar, condutividade, turbidez, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio após 5 dias (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, ortofosfato, fosfato total, cloretos e coliformes fecais.

Os dados foram transformados em log natural + 1 utilizando-se o programa Fitopac, sendo a análise de agrupamento realizada no programa Pcord 4.0., e a matriz de dissimilaridade obtida através do cálculo da distância euclidiana.

Segundo Digby & Kepton (1987), a distância euclidiana é uma medida sensível a dados bastante discrepantes como os de abundância, e esse efeito pode ser reduzido com a aplicação de uma transformação logarítmica dos dados antes do cálculo das distâncias, sendo este procedimento utilizado para esta análise.

Para a representação gráfica da sazonalidade das variáveis, foram utilizados agrupamentos de dados, definidos com base nos resultados obtidos na análise de agrupamento, respeitando-se a homogeneidade dentro destes grupos.

Para evidenciar possíveis diferenças entre as estações de amostragem foi utilizado o programa Instat versão 3.0, através do teste ANOVA para distribuição normal, onde o teste Tukey, como complemento agrupa as médias significativamente semelhantes dos dados de todas as colunas (tratamentos). Quando a distribuição não era normal, aplicou-se o teste de Dunn.

Para verificar a relação entre a variação dos fatores ambientais e a densidade das diatomáceas epilíticas, nas diferentes estações do ano, foi realizada uma análise de componentes principais (ACP), com as variáveis ambientais: temperatura da água, turbidez, condutividade,

DQO, DBO<sub>5</sub>, amônio, nitrogênio orgânico, ortofosfato e coliformes fecais. Algumas variáveis foram excluídas desta análise, visando-se obter o máximo de explicabilidade dos eixos. Foi utilizada uma transformação logarítmica dos dados. Realizou-se ainda uma análise de correspondência na expectativa de relacionar as ocorrências das espécies abundantes com as estações do ano.

Uma análise de discriminante foi realizada relacionando-se as variáveis ambientais: temperatura da água, turbidez, cloretos, condutividade, pH, DQO, DBO<sub>5</sub>, OD, amônio, nitrogênio orgânico, nitrogênio total, ortofosfato, fósforo total e os coliformes fecais com os períodos e os locais amostrados. A mesma análise foi similarmente realizada para as espécies mais abundantes em relação ao tempo e estações de amostragem. Os dados foram estandardizados através das distâncias dos quadrados de Mahalanobis entre grupos.

Com o objetivo de identificar as possíveis espécies indicadoras utilizou-se o programa TWINSpan (análise de dupla entrada para espécies indicadoras), que consiste em uma técnica hierárquica que classifica simultaneamente espécies e amostras, conforme descrito por Hill (1979). A análise seguiu a configuração das pseudoespécies com os níveis de dicotomia de 0,0; 0,02; 0,05; 0,10; 0,20, a fim de preservar a informação quantitativa dos dados. Através da matriz da abundância relativa para as espécies abundantes e dominantes, e de uma matriz de categorias classificadas conforme o resultado da análise de TWINSpan (grupos A, B e C), foi realizada uma análise para identificar espécies indicadoras. Utilizou-se o teste de Monte Carlo e o valor indicador calculado com o método de Dufrene & Legendre (1997).

A análise de correspondência canônica (ACC) é uma técnica direta de gradiente que representa simultaneamente as variáveis ambientais e os dados biológicos em um espaço bidimensional (Hall & Smol, 1992), tendo como método de estimativa a média ponderada e o modelo de resposta unimodal (Ter Braak & Prentice, 1988). Este tipo de ordenação foi realizado com a finalidade de determinar as principais variáveis ambientais responsáveis pela modificação da comunidade periférica.

Os primeiros eixos canônicos foram testados em nível de significância através do teste de Monte Carlo (999 permutações;  $p \leq 0,05$ ), que determina a probabilidade dos autovalores calculados terem ou não distribuição ao acaso (Ter Braak, 1986).

## CAPÍTULO I

## **CARACTERIZAÇÃO LIMNOLÓGICA DO RIO GRAVATAÍ, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.**

**RESUMO:** Os rios são considerados ecossistemas abertos, fortemente influenciados pelas entradas e saídas de materiais e energia oriundos dos sistemas terrestres adjacentes, e por isso vulneráveis às alterações atualmente aceleradas em suas bacias hidrográficas. O presente trabalho teve por objetivo analisar as variações espacial e temporal das variáveis físicas, químicas e microbiológicas no rio Gravataí, RS (29° 45'a 30° 12'S e 150° 27'a 51° 12'W), visando entender seu funcionamento, considerando-se as alterações ocorrentes em sua bacia. Variáveis climática e hídricas e características físicas e químicas da água foram avaliadas mensalmente, em seis estações de amostragem selecionadas ao longo do rio, da nascente à foz, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002. As variáveis avaliadas foram: temperatura da água, pH, transparência, condutividade, OD, DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrogênio total, nitrogênio orgânico, ortofosfato, fósforo total, cloretos e coliformes fecais, através dos procedimentos descritos por APHA (1992), além da temperatura do ar, precipitação e vazão. Os resultados evidenciaram que da nascente até o trecho médio do rio há um contínuo, caracterizado pelas diminuições graduais nas concentrações de OD, e aumento da turbidez, da condutividade, dos cloretos e da DBO. Evidencia-se no entanto uma descontinuidade no gradiente, ocasionada por elevada entrada de material orgânico, em que os valores das diversas variáveis aumentam ou decrescem bruscamente com variações de uma de várias ordem de magnitude. Foram caracterizadas duas porções distintas do rio Gravataí. A primeira, formada pelo trecho superior-médio do rio, mais preservada e que segue o modelo do contínuo fluvial e a outra, no trecho inferior do rio, formada por uma descontinuidade imposta pela entrada de despejos orgânicos de origem antropogênica. O estudo evidenciou ainda a existência de variações sazonais nas características físicas, químicas e microbiológicas determinadas pelas variações climatológicas (regime de precipitação) e hidrológicas (vazões), resultando em alterações na turbidez, na concentração iônica e de nutrientes. A magnitude das variações espaciais foi superior à das variações temporais. A comparação das características limnológicas atuais do rio Gravataí, com informações existentes de anos anteriores, revela a ocorrência de grandes mudanças na última década que caracterizam um acelerado processo de eutrofização. As diferenças encontradas entre o trecho superior-médio e o inferior do rio caracterizam uma descontinuidade serial, resultante das atividades antropogênicas na bacia .

**Palavras-chave:** rio Gravataí, ecologia de rios, poluição de rios, eutrofização

## **LIMNOLOGICAL CHARACTERIZATION OF GRAVATAÍ RIVER, STATE OF RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL.**

**ABSTRACT:** Rivers are considered open ecosystems, strongly influenced by inputs and outputs of materials and energy from adjacent terrestrial systems, and therefore highly vulnerable to the nowadays accelerated changes in hydrographical basins. The present study aimed to analyse spatial and temporal variations in physical, chemical and microbiological variables in Gravataí River, RS (29° 45' - 30° 12'S and 150° 27' - 51° 12'W), aiming to understand its functioning considering the observable changes occurring in its basin. A set of climatological, hydrological, physical and chemical variables were monitored at three months intervals, in six selected localities along Gravataí River, during the period of September 2000 to August 2002. The variables analysed were: water temperature, pH, transparency, conductivity, OD, BOD-5, COD, total nitrogen, organic nitrogen, ortho-phosphate, total phosphorus, chloride and faecal coliforms. Also, air temperature, rainfall and river discharge data were obtained. Results have evidenced that from the headstream to the middle river course there is a continuum, characterized by gradual decrease in dissolved oxygen concentration, increases in turbidity, nutrients, conductivity, chlorides and biochemical oxygen demand. It was also evidenced a discontinuity in the gradient, caused by the input of large amounts of organic materials where the parameters of many variables increased or decreased abruptly with changes of one order of magnitude or more. Two distinct portions of Gravataí River were characterized. The first corresponded to the upper-middle reach, more preserved, following the river continuum model, and the other in the lower reach, created by the discontinuity imposed by the input of organic waste. This study has also shown the existence of seasonal variations in the physical, chemical and microbiological characteristics, mainly influenced by climate (precipitation regime) and hydrology (water discharge) which determined changes in turbidity, ionic and nutrient concentrations. Spatial variation was much greater than seasonal variation. The comparison of present limnological characteristics of Gravataí River with information from previous years showed that significant changes have occurred in the last decade, characterizing an accelerated process of eutrophication. The differences found between the upper-

middle and the lower reaches of Gravataí River characterized a serial discontinuity as a consequence of human activities in the hydrographical basin.

**Key- words:** Gravataí River, river ecology; river pollution; eutrophication.

## INTRODUÇÃO

As águas doces têm sido alteradas em suas características físicas, químicas e biológicas em todo o mundo, em virtude de mudanças aceleradas nas bacias hidrográficas. Algumas dessas alterações têm sido provocadas diretamente pela construção de represas, canais e regularização de cursos. Contudo, as maiores alterações advêm do uso inadequado do solo, o qual provoca o aumento das cargas, seja de elementos químicos ou de material particulado, via contribuição difusa da bacia ou por meio de fontes pontuais, como a descarga de efluentes orgânicos e inorgânicos, nas regiões mais populosas e industrializadas.

Os rios são sistemas abertos, fortemente influenciados pelas características naturais ou pelos usos dos solos por eles drenados (Sioli, 1990), que se integra aos ecossistemas terrestres adjacentes, formando uma unidade funcional mais equilibrada (Margalef, 1983). Contudo, de modo semelhante a outros sistemas aquáticos, eles são formados por elementos bióticos e abióticos interatuantes, tendo fluxo energético e de materiais espacialmente multi-direcional, embora direcionado mais marcadamente no sentido do escoamento do fluxo.

Os limites dos sistemas lóticos usualmente são determinados pela própria bacia hidrográfica, com fronteiras de entradas e saídas. As modificações espaciais e temporais nas características abióticas e bióticas se produzem geralmente como um processo contínuo (Schwarzbald, 2000).

Segundo Neiff (1990), os rios se comportam como sistemas em permanente desequilíbrio, onde a variabilidade espacial e temporal é uma complexa função dependente das entradas e saídas de energia e materiais, em distintas localidades da bacia hidrográfica, e das oportunidades combinatórias das populações, as quais determinam sua distribuição e abundância. Após a proposição da teoria do “Contínuo Fluvial” (River Continuum Concept –RCC) por Vannote *et al.* (1980), houve um renovado interesse por estudos em rios, iniciando-se uma nova etapa nos estudos dos ecossistemas lóticos, caracterizada principalmente por trabalhos de caráter preditivo, em substituição aos predominantemente descritivos. De acordo com o conceito de contínuo fluvial, os rios são sistemas que apresentam uma série de gradientes físicos e químicos formando um contínuo, ao longo de seus cursos, aos quais a comunidade biológica responderia e estaria associada existindo desta forma, uma forte dependência dos processos “rio abaixo” pelos processos “rio acima”. Ao longo do curso do rio haveria a passagem de um sistema



predominantemente heterotrófico no trecho superior para um sistema autotrófico na parte intermediária, voltando algumas vezes à heterotrofia na porção final, próximo à foz.

Muitos rios e arroios são sistemas ligados longitudinalmente, verificando-se que os processos que se estendem até a foz são influenciados por processos que acontecem nas cabeceiras. Outros sistemas lóticos, principalmente os tropicais são, no entanto, muito mais dependentes dos pulsos de inundação como evidenciado por Junk (1989), o qual formulou a teoria dos pulsos de inundação (flood pulse concept), ou por eventos localizados em pontos distintos da bacia, caracterizando uma descontinuidade serial.

A avaliação da dinâmica longitudinal dos parâmetros físicos e químicos pode fornecer subsídios para o melhor entendimento da estrutura e do funcionamento dos sistemas de rios e, também das funções ecológicas de diversos grupos de organismos, visto que as condições abióticas freqüentemente determinam como os organismos podem colonizar, viver ou persistir em habitats lóticos, ou deles derivados (Power, *et al.* 1988).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar a variação longitudinal e sazonal de variáveis físicas e químicas e as microbiológicas, e algumas interações entre elas, ao longo do rio Gravataí, visando caracterizá-lo limnologicamente. Além disso, procurou-se determinar a existência ou não de gradientes e como estes se enquadram em relação às teorias atuais sobre o funcionamento dos sistemas lóticos (RCC, pulsos de inundação ou descontinuidade serial), considerando-se as alterações observáveis na sua bacia hidrográfica.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados climatológicos foram obtidos junto ao Instituto de Pesquisas Agronômicas do Rio Grande do Sul (IPAGRO), oriundos da estação meteorológica localizada próximo à estação 4 (29°57'16" S e 51°07'36" W), no rio Gravataí.

Os dados físicos e químicos e microbiológicos foram obtidos na Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM) e no Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE), os quais, através do projeto Pró-Guaíba, vêm realizando o monitoramento mensal da qualidade da água deste rio. As coletas foram realizadas com freqüência mensal, abrangendo assim as variações climáticas, as variações de produtividade industrial, bem como a sazonalidade agrícola. Cada campanha de coleta foi realizada num único dia, no período

de setembro de 2000 a agosto de 2002, em seis estações de amostragem ao longo do rio Gravataí, conforme mostra a figura 1.

A temperatura da água e do ar, profundidade do local de coleta, pH, transparência, condutividade e oxigênio dissolvido (OD), foram medidos no campo. Para variáveis como: turbidez, demanda bioquímica de oxigênio após 5 dias (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxigênio (DQO), concentrações de nitrogênio total, nitrogênio orgânico, ortofosfato, fosfato total, cloretos, e coliformes fecais, foram feitas coletas de água segundo procedimentos específicos. As amostras foram acondicionadas em frascos de vidro e polietileno, em caixas de isopor contendo gelo, e analisadas em laboratório logo após as coletas. As técnicas utilizadas, tanto na coleta de amostras como as analíticas, seguiram os procedimentos descritos em APHA (1992), conforme sumarizado na Tabela I.

**Tabela I:** Coleta, preservação das amostras e variáveis analisadas ao longo das seis estações de amostragem no rio Gravataí, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002.

Variáveis	Medição	Análise
pH	Em campo	Método eletrométrico
Transparência	Em campo	Disco de Secchi
Condutividade	Em campo	Condutivímetro
Turbidez	Refrigerado, medição em laboratório	Método nefelométrico
Oxigênio Dissolvido	Em campo	Oxímetro
Demanda Bioquímica Oxigênio	Refrigerado, medição em laboratório	Método de Winkler com modificação da azida, diluição e incubação por 5 dias a 20°C
Demanda Química Oxigênio	Refrigerado, fixado com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> medição em laboratório	Refluxo aberto, digestão com dicromato de potássio
Nitrogênio Total	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> refrigerado, medição em laboratório	Método Kjeldahl

Continuação da Tabela 1...

<b>Variáveis</b>	<b>Medição</b>	<b>Análise</b>
Fosfato Total	Refrigerado	Digestão com persulfato de potássio e ácido ascórbico
Coliformes Fecais	Refrigerado, medição em laboratório	Técnica de tubos múltiplos

Fonte: FEPAM-DMAE (1992/94)

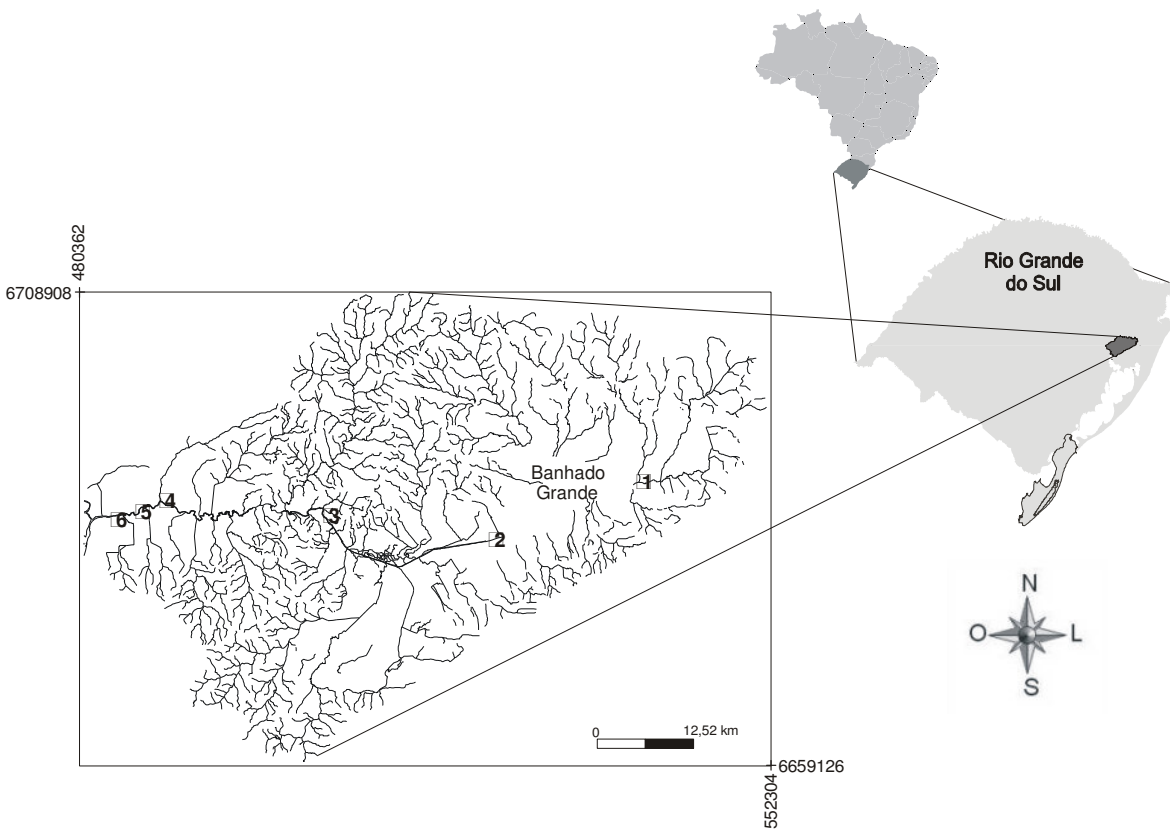
## **ANÁLISE DOS DADOS**

Foram realizadas duas análises de agrupamento (cluster); uma utilizando-se os valores médios correspondentes a cada estação do ano, e a outra com os valores mensais no período de setembro de 2000 a agosto de 2002. Estas análises foram realizadas com as seguintes variáveis ambientais: temperatura da água e do ar, condutividade, turbidez, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio após 5 dias (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, ortofosfato, fosfato total, cloretos e coliformes fecais.

Os dados foram transformados em log natural + 1 utilizando-se o programa Fitopac, sendo a análise de agrupamento realizada no programa Pcord 4.0., e a matriz foi obtida através do cálculo da distância euclidiana.

Segundo Digby & Kepton (1987), a distância euclidiana é uma medida sensível a dados bastante discrepantes como os de abundância, e esse efeito pode ser reduzido com a aplicação de uma transformação logarítmica dos dados antes do cálculo das distâncias, sendo este procedimento utilizado para esta análise.

Para a representação gráfica da sazonalidade das variáveis, foram utilizados agrupamentos dos dados com base nos resultados obtidos na análise de agrupamento na tentativa de evidenciar grupos intrinsecamente com maior homogeneidade.



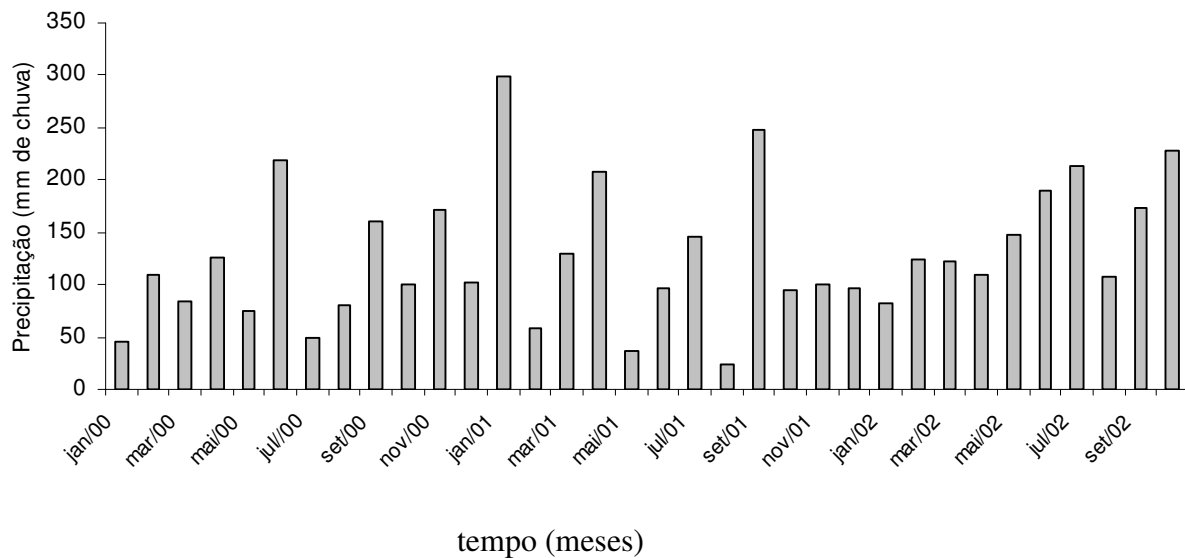
**Figura 1:** Localização da Bacia Hidrográfica do rio Gravataí, no Estado do Rio Grande do Sul, evidenciando as seis estações de amostragem ao longo do rio Gravataí. E1=arroio Chico Lomã, município de Santo Antônio da Patrulha. E2= Fazenda Juca Barcelos, município de Glorinha E3= Balneário Passo dos Negros, município de Gravataí E4=Captação da base aérea, município de Porto Alegre/Canoas. E5=Arroio da Areia, município de Porto Alegre/Canoas E6= Foz do rio Gravataí, município de Porto Alegre.

## RESULTADOS

### VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS

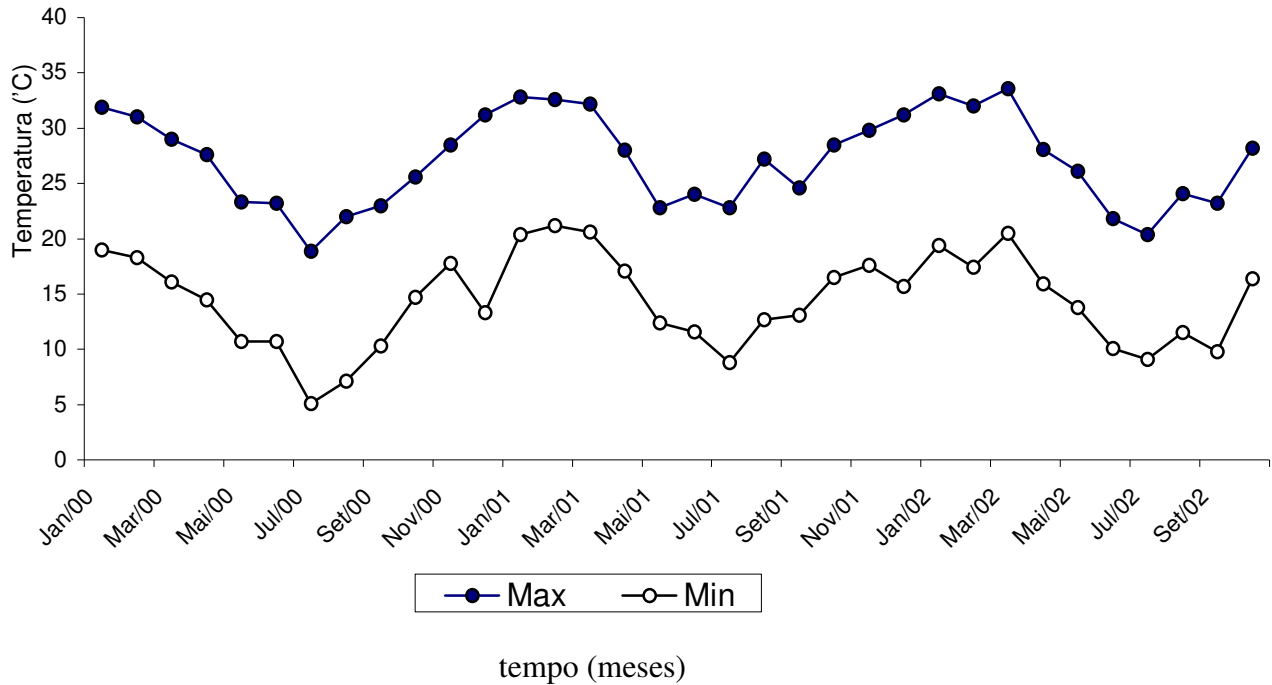
Na figura 2 são apresentados os valores mensais da precipitação pluviométrica no período de janeiro de 2000 a outubro de 2002. Os resultados evidenciaram que o ano de 2001 foi um ano atípico considerando-se o padrão de precipitações que prevalece na região, bem representado no ano 2000. Só no mês de janeiro de 2001 foi registrado um total de 298,9 mm. No inverno deste mesmo ano, a precipitação foi baixa, com média de 88,5 mm, sendo a precipitação mais elevada

registrada no mês de julho, com 146,2 mm. A precipitação anual foi de 1323,2 mm para o ano de 2000; 1536,3 mm para o ano de 2001 e 1496,8 mm para o ano 2002.



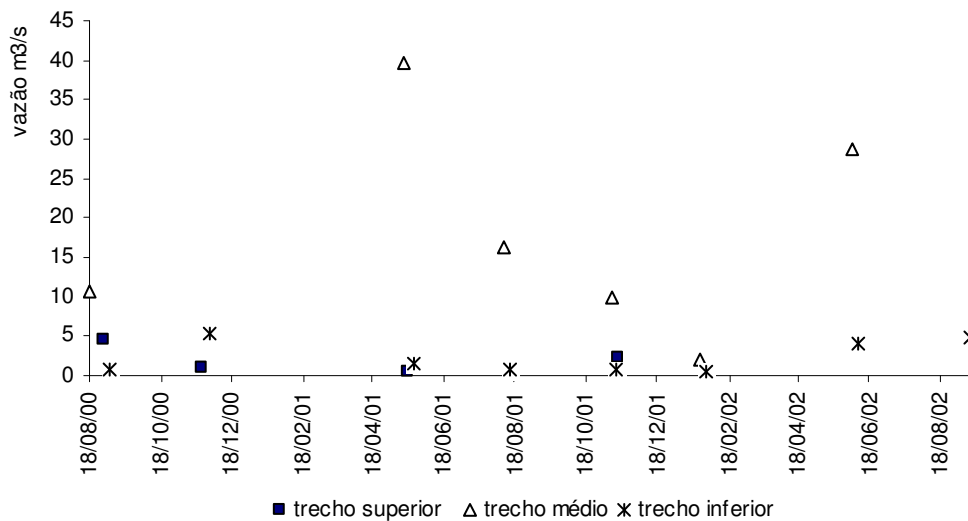
**Figura 2:** Variação mensal da precipitação (mm) no período de janeiro de 2000 a outubro de 2002, na bacia do rio Gravataí, RS. Fonte: Instituto de Pesquisas Agronômicas do Rio Grande do Sul (IPAGRO), estação meteorológica no rio Gravataí (29°57'16" S e 51°07'36" W).

Na figura 3 são apresentadas as variações de temperatura máxima e mínima (°C) no período de janeiro de 2000 a outubro de 2002, ocorridas próximo ao rio Gravataí. As médias mais altas das temperaturas máximas foram registradas em março de 2002 com 33,6 °C e a média mais baixa foi registrada em julho de 2000 com 18,9 °C. Enquanto que, as médias mais altas, das temperaturas mínimas foram registrada em fevereiro de 2001 com 21,2 °C e a média mais baixa em julho de 2000 com 5,1°C.



**Figura 3:** Variação mensal dos valores de temperatura (°C) no período de janeiro de 2000 a outubro de 2002. Fonte: Instituto de Pesquisas Agronômicas do Rio Grande do Sul (IPAGRO), localizada na bacia do rio Gravataí, Porto Alegre, RS.

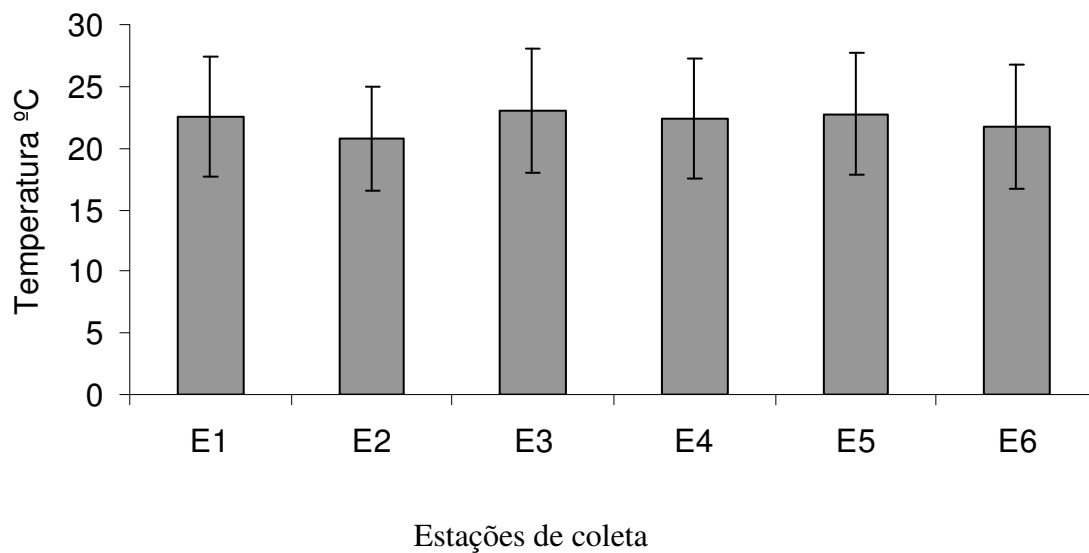
A figura 4 representa alguns valores de vazão registrados ao longo do período de estudo. A medida mais alta de vazão foi registrada no trecho médio do rio com 39,7 m<sup>3</sup>/s e a mais baixa foi registrada no trecho superior do rio com 0,55 m<sup>3</sup>/s em maio de 2001.



**Figura 4:** Valores obtidos de vazão ( $m^3/s$ ), em alguns meses durante o período de estudo. agosto de 2000 a agosto de 2002. (Fonte: CPRM, 2002).

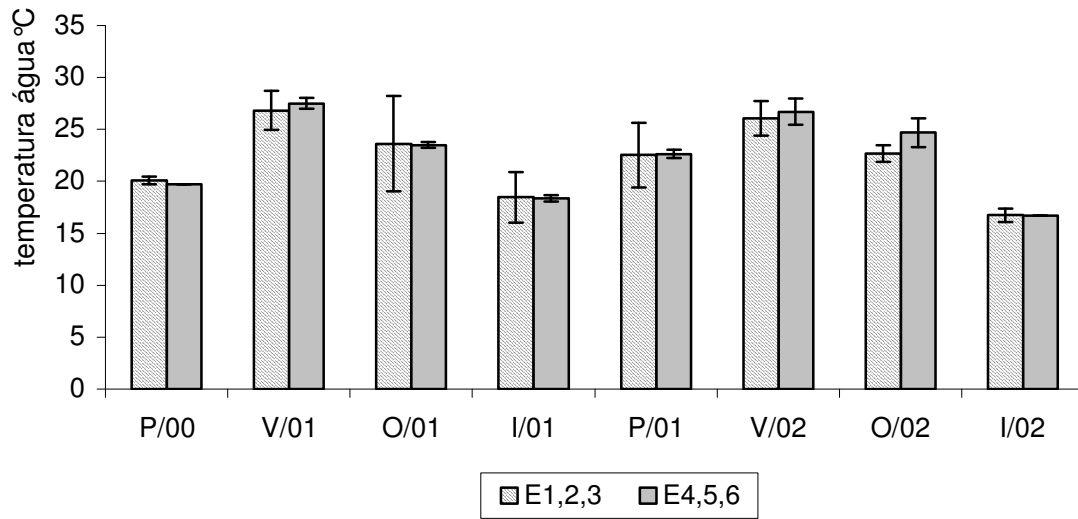
A variação espacial da temperatura média da água nas estações amostradas é apresentada na figura 5. Os valores médios mais elevados de temperatura da água foram registrados na estação 3 com  $23 \pm 5,05^\circ C$ , enquanto os valores médios mais baixos ocorreram na estação 2, com  $20,8 \pm 4,22^\circ C$ .

Observa-se que as diferenças de temperaturas médias entre as estações foram pequenas e não significativas.



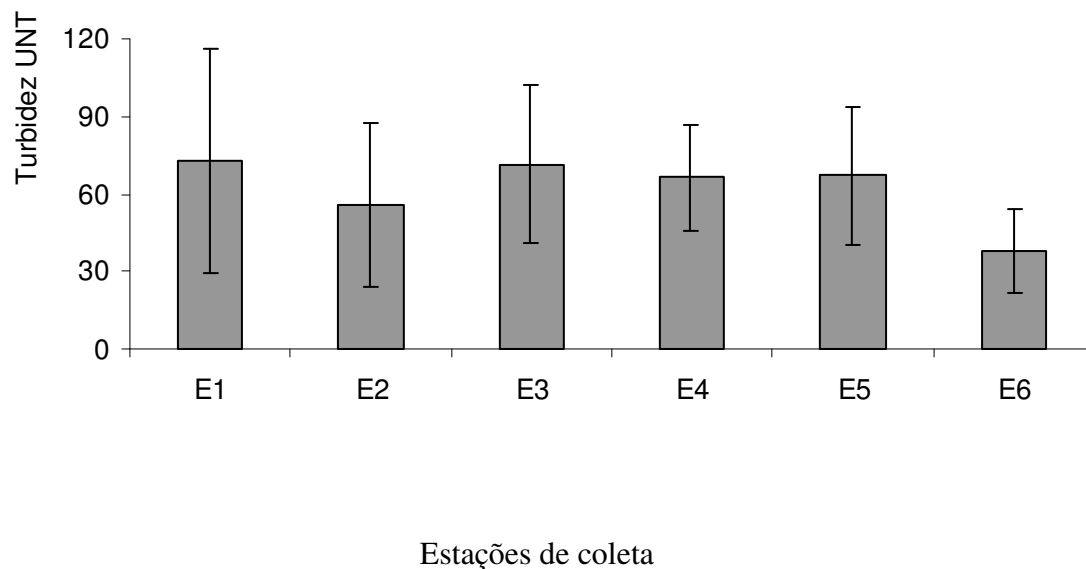
**Figura 5:** Variação dos valores médios e desvio padrão da temperatura da água ( $^\circ C$ ), no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, entre as seis estações de amostragem no rio Gravataí, RS.

Em relação à variação sazonal da temperatura, observa-se uma variação anual de cerca de  $20^\circ C$ , conforme mostra a figura 6. Os valores médios mais elevados de temperatura foram registrados no verão de 2001 com  $27,5 \pm 0,52^\circ C$  e, no verão de 2002 com  $26,7 \pm 1,24^\circ C$ , enquanto que as médias mais baixas foram registradas no inverno de 2001 com  $18,3 \pm 0,32^\circ C$  e no inverno de 2002 com  $16,7 \pm 0,65^\circ C$ , no trecho inferior do rio.



**Figura 6:** Variação sazonal dos valores médios e desvio padrão da temperatura da água (°C), nas diferentes estações do ano, amostradas no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS (P= primavera; V=verão; O= outono; I=inverno).

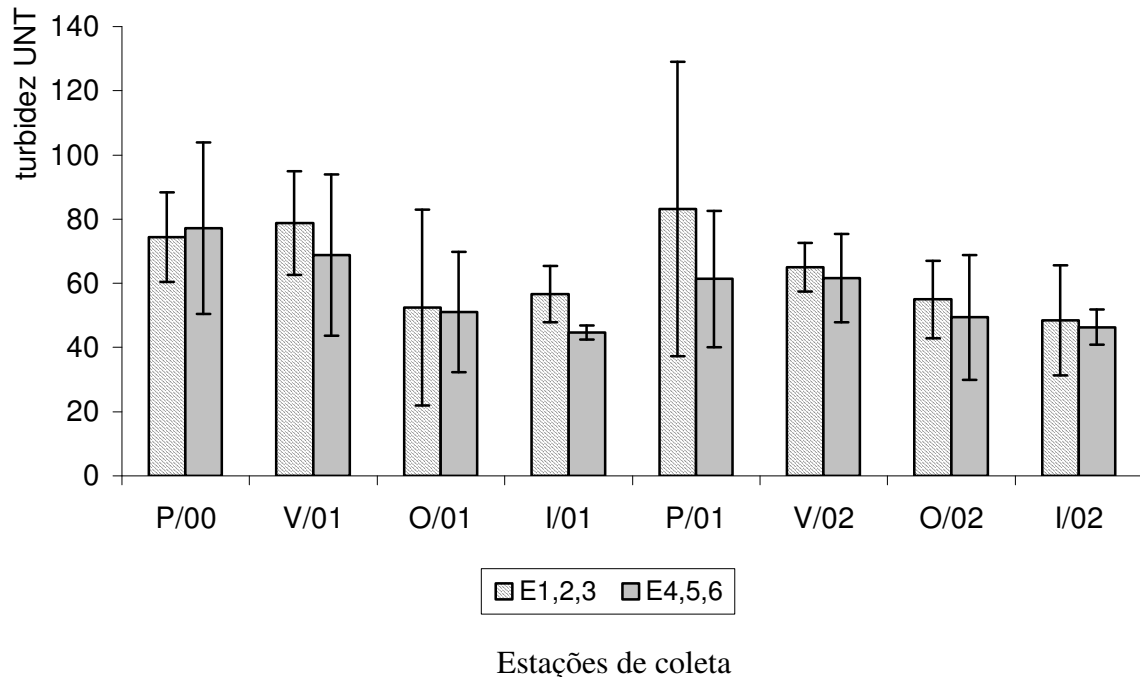
A variação espacial da turbidez da água é apresentada na figura 7. Os valores médios mais elevados de turbidez (UNT) foram registrados na estação 1, com  $72,70 \pm 43,6$  UNT, e os valores médios mais baixos foram registrados na estação 6, com  $37,76 \pm 16,28$  UNT. Não foram verificadas diferenças significativas de turbidez entre os valores registrados para as estações 2,3,4 e 5. Contudo, houve diferença significativa entre a turbidez da água das estações 1 e 6 ( $P<0,001$ ); 3 e 6 ( $P<0,01$ ); 4 e 6 ( $P<0,05$ ) e 5 e 6 ( $P<0,01$ ).





**Figura 7:** Variação dos valores médios e desvio padrão da turbidez (UNT), no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, entre as seis estações de amostragem no rio Gravataí, RS.

Em relação à variação sazonal da turbidez verificou-se que os valores médios mais elevados de turbidez ocorreram na primavera de 2001, com  $83,1 \pm 45,7$  UNT e no verão/01, com  $78,7 \pm 16,2$  UNT, no trecho superior do rio, enquanto os valores mais baixos foram de  $44,7 \pm 2,25$  UNT e  $46,3 \pm 5,43$  UNT, registrados no inverno de 2001 e 2002, no trecho inferior do rio, observando-se também na figura 8 a comparação da variação sazonal da turbidez da água entre os trechos superior (estação 1,2 e 3) e inferior (estações 4,5 e 6) do rio Gravataí. Assim, observa-se um nítido padrão sazonal, que repete em ambos os anos analisados, caracterizado por uma turbidez mais elevada na primavera e verão e menor no outono e inverno.

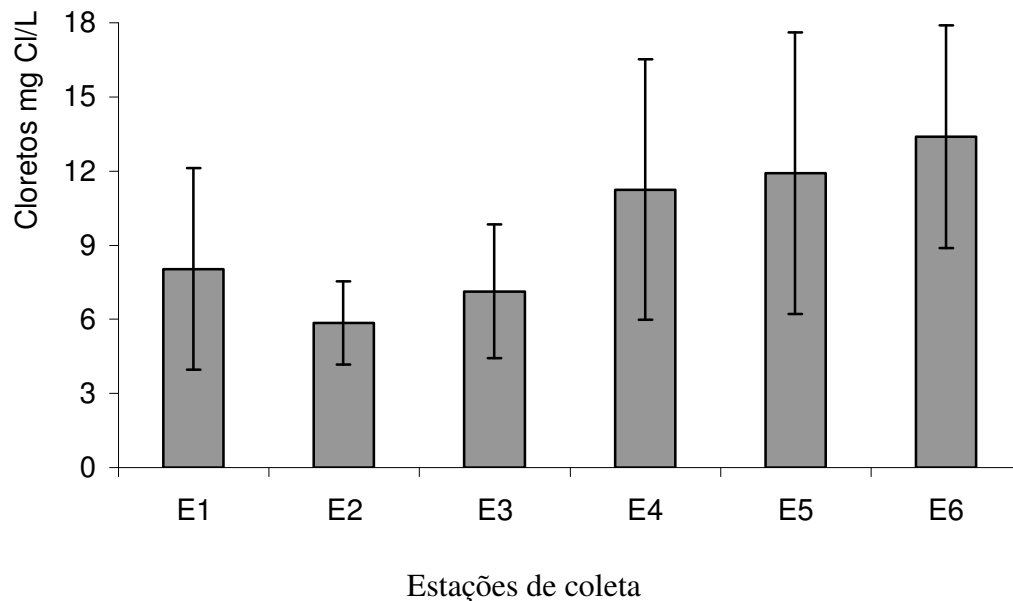


**Figura 8:** Variação dos valores médios e desvio padrão da turbidez (UNT), nos diferentes períodos sazonais amostrados entre setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS (P= primavera; V=verão; O= outono; I=inverno).

A região da nascente, representada pela estação 1 (banhado), tem concentração de cloretos mais elevada que o trecho mediano-superior (estações 2 e 3). Esta característica decorre provavelmente do caráter semi-lêntico da estação 1. Ambientes lênticos favorecem a concentração de íons, devido ao fluxo reduzido de água.

A Figura 9 mostra a variação espacial do íon cloreto, no rio Gravataí. Os valores médios mais elevados foram registrados na estação 6, com  $13,38 \pm 4,51 \text{ mg Cl L}^{-1}$ , e os valores médios mais baixos na estação 2, com  $5,85 \pm 1,68 \text{ mg Cl L}^{-1}$ .

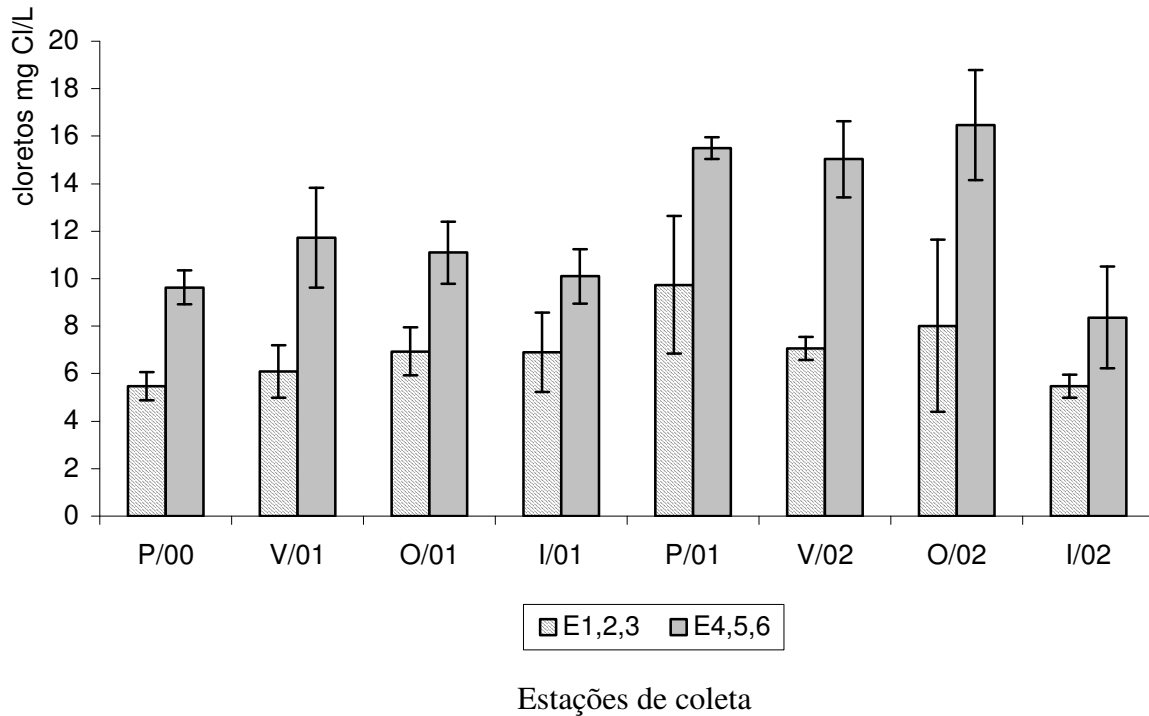
Observa-se um gradiente, com aumento na concentração de cloretos, da estação 2 (porção mediana do rio), até próximo à foz (estação 6). Na estação 1, localizada na região do banhado observa-se uma concentração média mais elevada do que aquela obtida nas estações 2 e 3. Não houve diferença significativa na concentração de cloretos entre as estações do trecho superior do rio (estações 1, e 3) ou entre as estações do trecho médio-inferior (estações 4, 5 e 6). Existem diferenças significativas entre a concentração de cloretos das estações do trecho superior e aquelas do trecho médio-inferior ( $P < 0,001$ ).



**Figura 9:** Variação dos valores médios e desvio padrão das concentrações de cloretos ( $\text{mg Cl L}^{-1}$ ), no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, entre as seis estações de amostragem no rio Gravataí, RS.

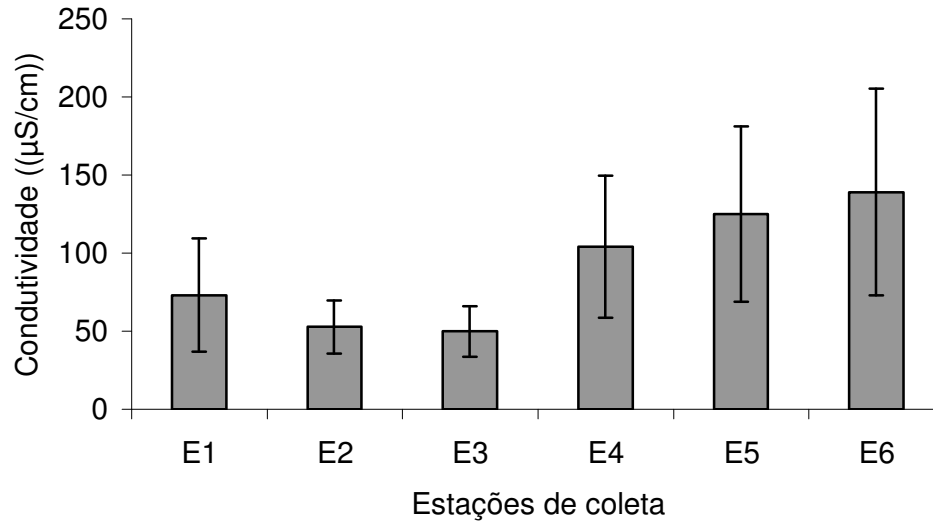
A variação sazonal nas concentrações de cloretos no rio Gravataí está representada na Figura 10. As concentrações médias mais elevadas de cloretos foram registradas no período de outono/02, com  $16,4 \pm 2,31 \text{ mg Cl L}^{-1}$  e na primavera/02 com  $15,5 \pm 0,46 \text{ mg Cl L}^{-1}$ . Os valores mais baixos foram registrados na primavera/00 com  $9,63 \pm 0,72 \text{ mg Cl L}^{-1}$  e no inverno/02 com  $8,37 \pm 2,14 \text{ mg Cl L}^{-1}$ , no trecho inferior do rio.

Comparando-se as concentrações obtidas observa-se que estas foram ligeiramente mais elevadas no ano de 2002 do que em 2001.



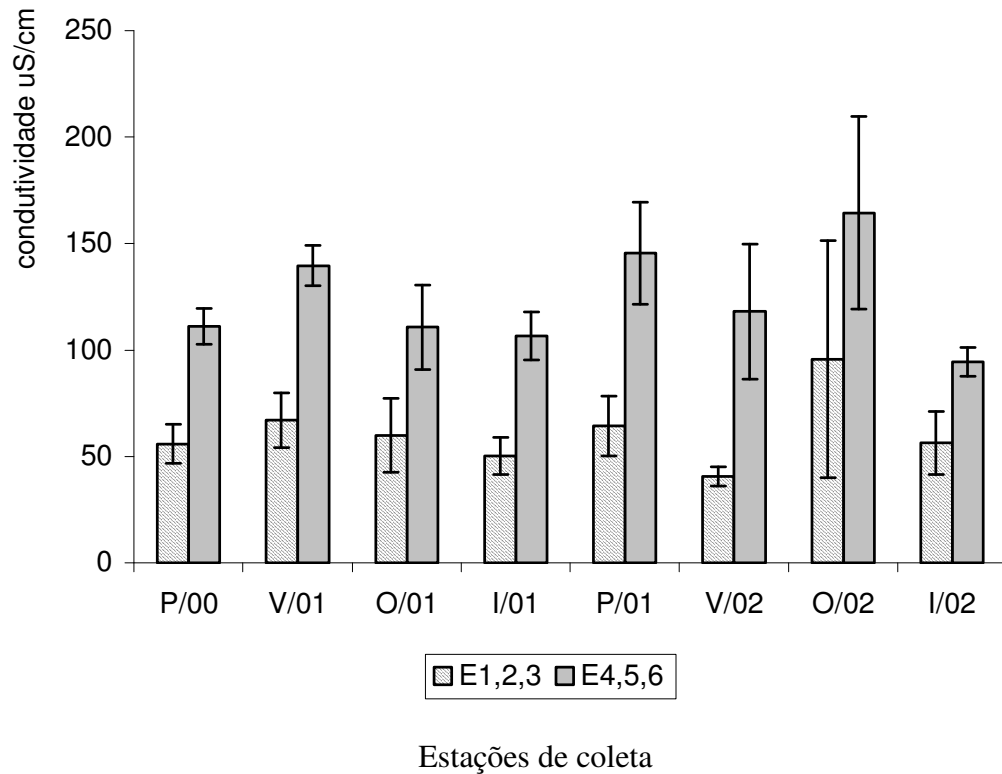
**Figura 10:** Variação dos valores médios e desvio padrão da concentração de cloretos ( $\text{mg Cl L}^{-1}$ ), nos diferentes períodos sazonais amostrados entre setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS (P= primavera; V=verão; O= outono; I=inverno).

A figura 11, mostra a variação espacial da condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), onde os valores médios mais baixos foram registrados na estação 3, com  $49,81 \pm 16,20 \mu\text{S cm}^{-1}$  e os valores médios mais elevados foram registrados na estação 6, com  $139,09 \pm 66,21 \mu\text{S cm}^{-1}$ .



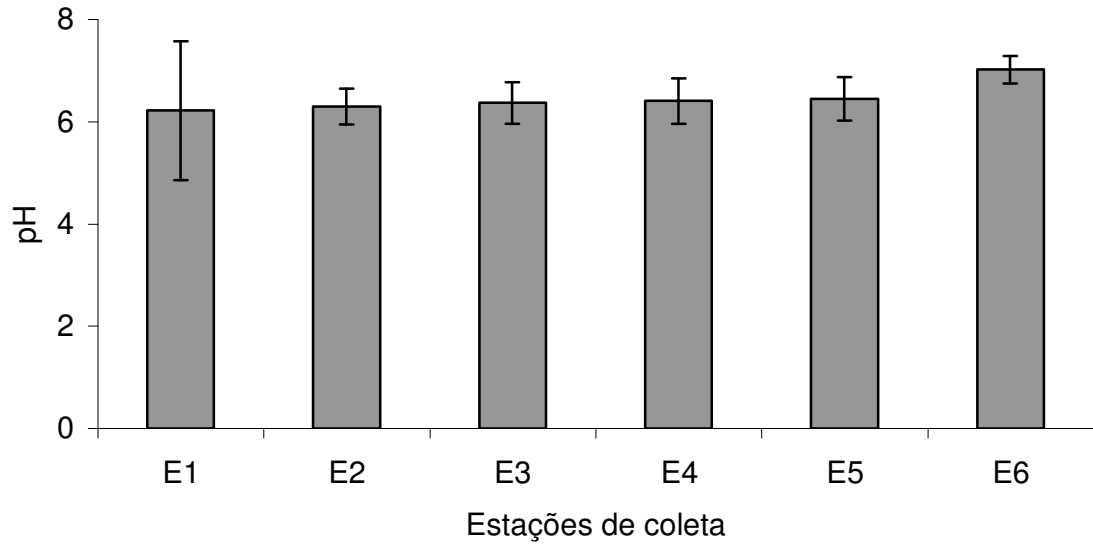
**Figura 11:** Variação dos valores médios e desvio padrão das concentrações de condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, entre as seis estações de amostragem no rio Gravataí, RS.

A variação sazonal das variações de condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) no rio Gravataí, estão representadas na figura 12. O menor valor registrado foi na estação 2 no inverno de 2001 com  $29,37 \mu\text{S cm}^{-1}$  e o valor máximo registrado foi de  $214,57 \mu\text{S cm}^{-1}$  na estação 6 no outono de 2002.



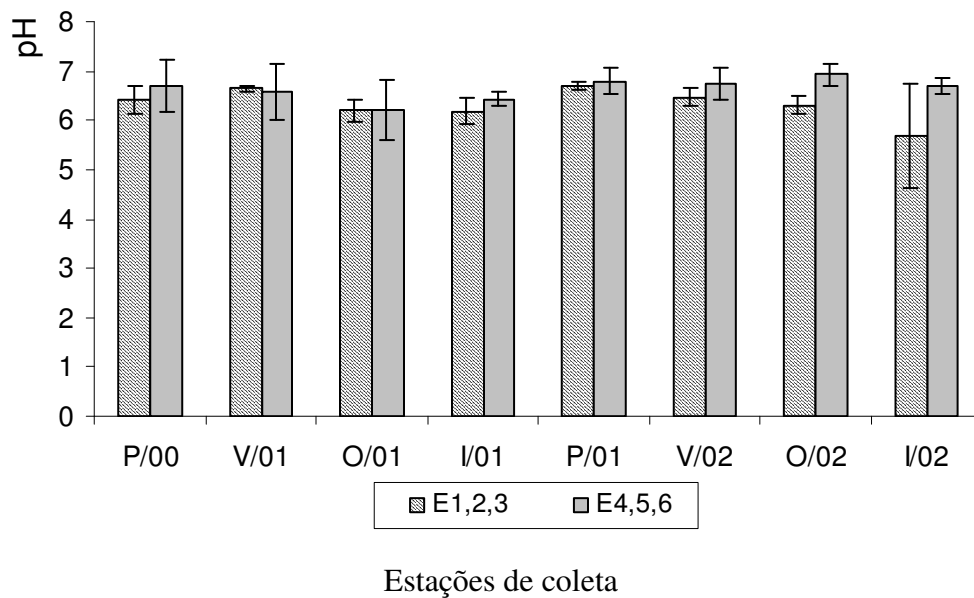
**Figura 12:** Variação dos valores médios e desvio padrão da concentração de condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), nos diferentes períodos sazonais amostrados entre setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS (P=primavera; V=verão; O=outono; I=inverno).

Os valores médios de pH representados na figura 13 foram bastante similares comparando-se as diferentes localidades amostradas, com exceção da nascente e da foz que tiveram valores de pH diferentes. Os valores mais elevados de pH foram registrados na estação 6, com  $7,02 \pm 0,27$  e os valores médios mais baixos foram registrados na estação 1, com  $6,22 \pm 1,36$ . Não houve diferença estatisticamente significativa entre o pH das estações 2 a 5, contudo o pH da estação 1 (nascente) foi significativamente diferente do pH da estação 6, próximo à foz ( $P < 0,01$ ).



**Figura 13:** Variação dos valores médios e desvio padrão do pH, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, entre as seis estações de amostragem no rio Gravataí, RS.

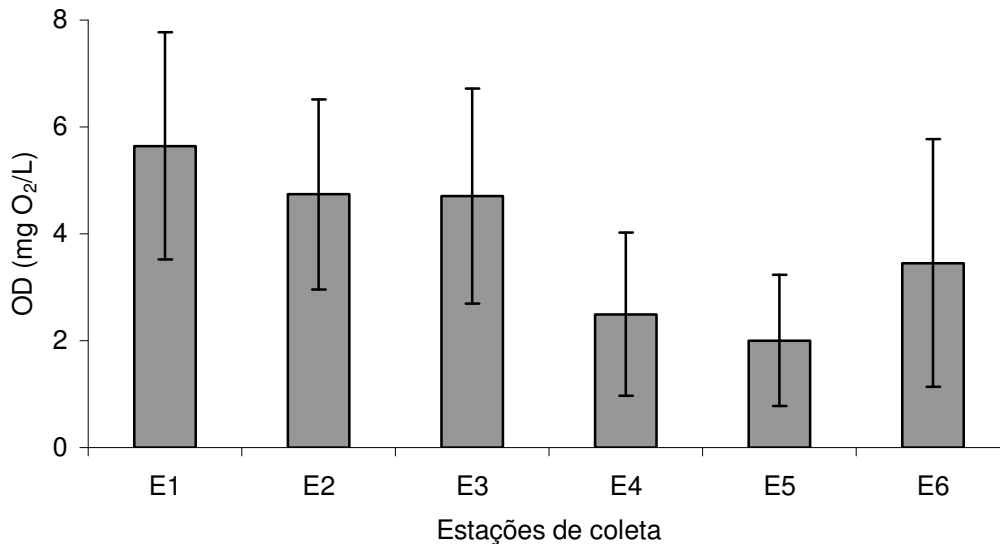
O valor médio de pH mais elevado ocorreu no outono de 2002, sendo 6,9, registrado no trecho inferior do rio, enquanto o valor mais baixo ocorreu no trecho superior do rio, com 5,6 (figura 14).



**Figura 14:** Variação dos valores médios e desvio padrão do pH, nos diferentes períodos sazonais amostrados entre setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS (P= primavera; V=verão; O= outono; I=inverno).

Com relação à concentração de oxigênio dissolvido (OD) nas águas do rio Gravataí, observa-se na Figura 13 que o valor médio mais elevado foi registrado na estação 1, com  $5,65 \pm 2,13 \text{ mg L}^{-1} (\text{O}_2)$ , e o valor mais baixo foi  $2,0 \pm 1,23 \text{ mg L}^{-1} (\text{O}_2)$  registrado na estação 5.

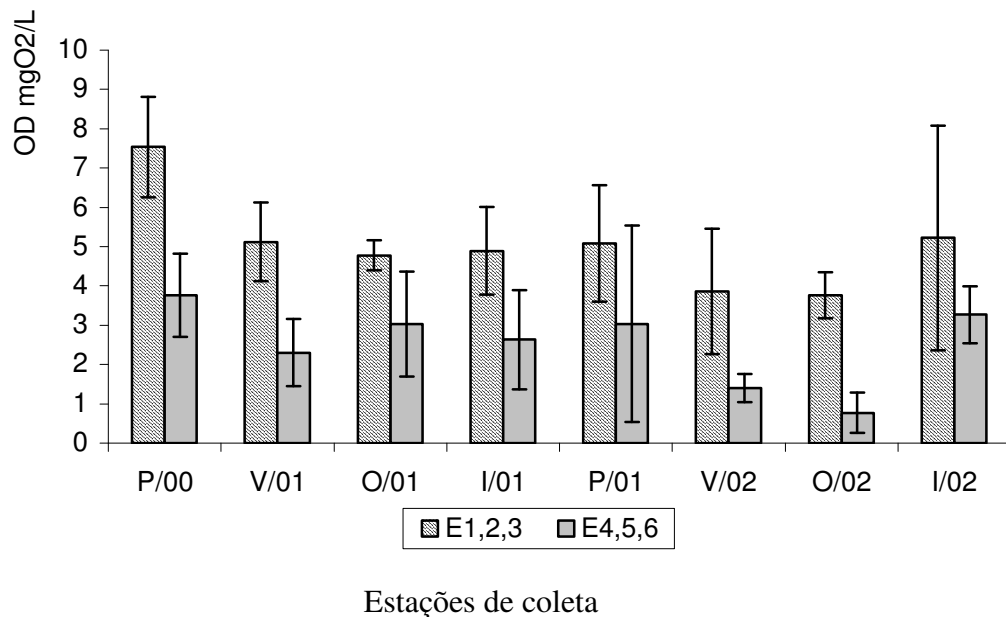
Houve um declínio acentuado na concentração de oxigênio, entre a estação 3 e a estação 4, de cerca de 50%. A concentração decresce ainda na estação 5, voltando a aumentar apenas na estação 6, próximo a foz. Diferenças significativas foram obtidas entre as concentrações de oxigênio dissolvido registradas nas estações localizadas no trecho superior-médio do rio Gravataí (estações 1, 2 e 3) e as concentrações registradas para as estações localizadas no trecho inferior (estações 4 e 5) ( $P < 0,001$ ), não diferindo no entanto das concentrações registradas na estação 6, próximo à foz.



**Figura 15:** Variação dos valores médios e desvio padrão das concentrações de oxigênio dissolvido ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ), no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, entre as seis estações de amostragem no rio Gravataí, RS.

Quanto à variação temporal (figura 16), os valores médios mais elevados de oxigênio dissolvido foram registrados na primavera de 2000, com  $7,53 \pm 1,28 \text{ mg L}^{-1} (\text{O}_2)$  no curso superior do rio, enquanto os valores mais baixos ocorreram no outono de 2002, com  $0,77 \pm 0,51 \text{ mg L}^{-1} (\text{O}_2)$ , no trecho inferior do rio.

Em todos os períodos amostrados as concentrações de oxigênio dissolvido registradas no trecho superior-médio do rio Gravataí foram mais elevadas do que aquelas registradas no trecho inferior.

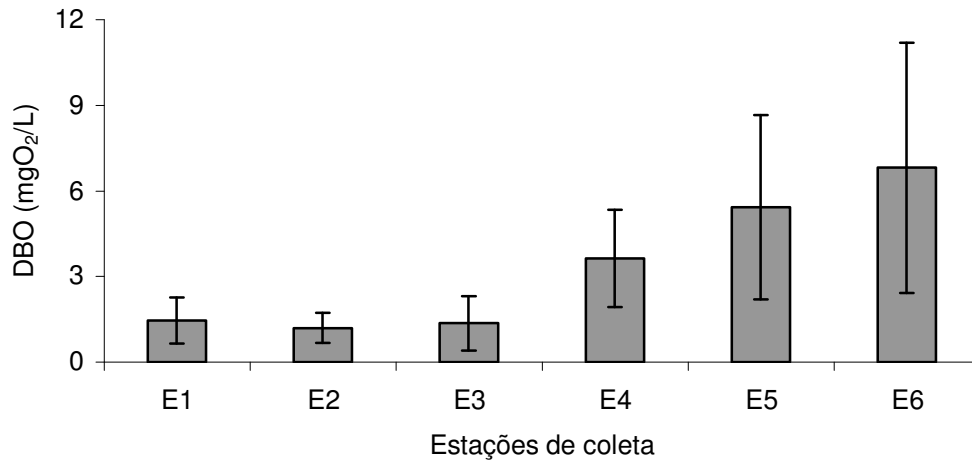


**Figura 16:** Variação dos valores médios e desvio padrão das concentrações de oxigênio dissolvido mg L<sup>-1</sup> (O<sub>2</sub>), nos diferentes períodos sazonais amostrados entre setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS (P= primavera; V=verão; O= outono; I=inverno).

Os resultados relativos à demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>) evidenciaram um gradiente crescente da nascente à foz do rio Gravataí (Figura 17).

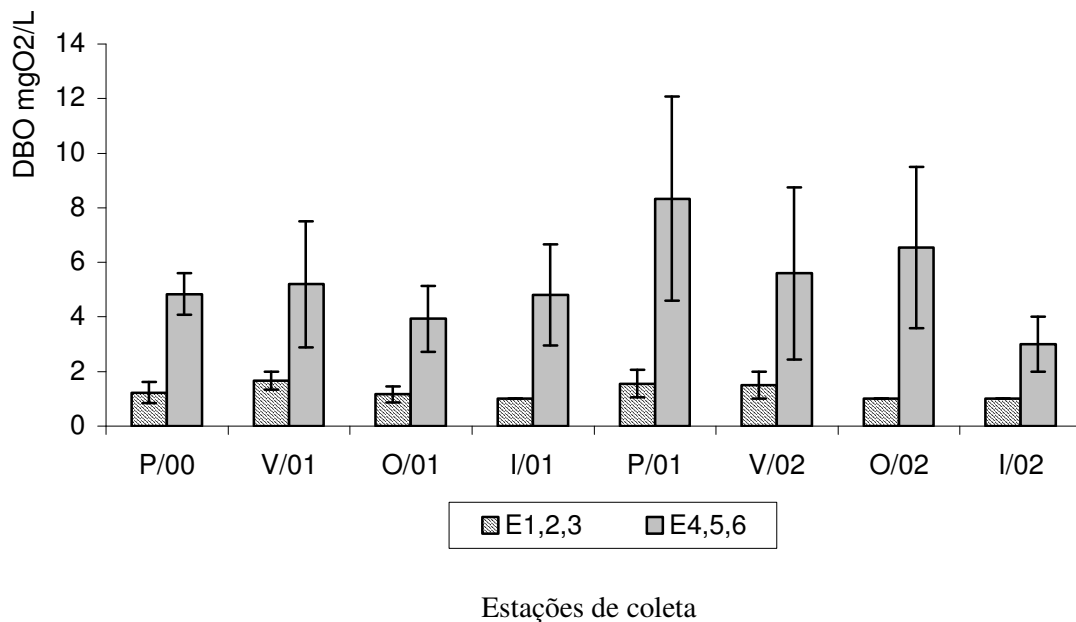
Os valores médios mais elevados da demanda bioquímica de oxigênio foram registrados na estação 6, com  $6,81 \pm 4,38$  mg L<sup>-1</sup> (O<sub>2</sub>), e os mais baixos foram registrados na estação 2, com  $1,20 \pm 0,52$  mg L<sup>-1</sup> (O<sub>2</sub>). Houve diferenças significativas entre as demandas bioquímicas de oxigênio registradas para as estações 1, 2, e 3 e aquelas registradas para as estações 4, 5 e 6. (P<0,01).





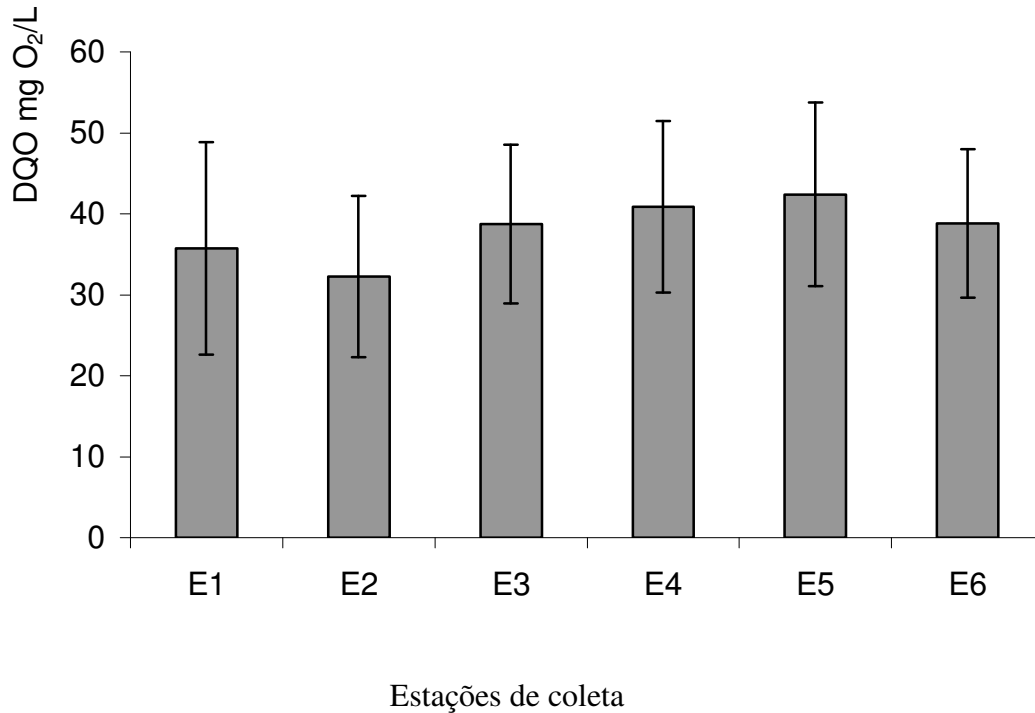
**Figura 17:** Variação dos valores médios e desvio padrão da demanda bioquímica de oxigênio  $\text{mg L}^{-1} (\text{O}_2)$ , no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, entre as seis estações de amostragem no rio Gravataí, RS.

Em relação à variação sazonal, cujos resultados são apresentados na Figura 18, observaram-se valores médios mais elevados da demanda bioquímica de oxigênio após cinco dias ( $\text{DBO}_5$ ) na primavera de 2001, com  $8,33 \pm 3,74 \text{ mg L}^{-1} (\text{O}_2)$ , e no outono de 2002, com  $6,53 \pm 2,96 \text{ mg L}^{-1} (\text{O}_2)$ , nas estações localizadas no trecho inferior do rio, enquanto que, os valores mais baixos foram registrados no inverno 2001 e outono e inverno 2002, com  $1,0 \text{ mg L}^{-1} (\text{O}_2)$  no trecho superior do rio.



**Figura 18:** Valores médios e desvio padrão da demanda bioquímica de oxigênio ( $\text{mg L}^{-1} (\text{O}_2)$ ), nos diferentes períodos sazonais amostrados de setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS (P= primavera; V=verão; O= outono; I=inverno).

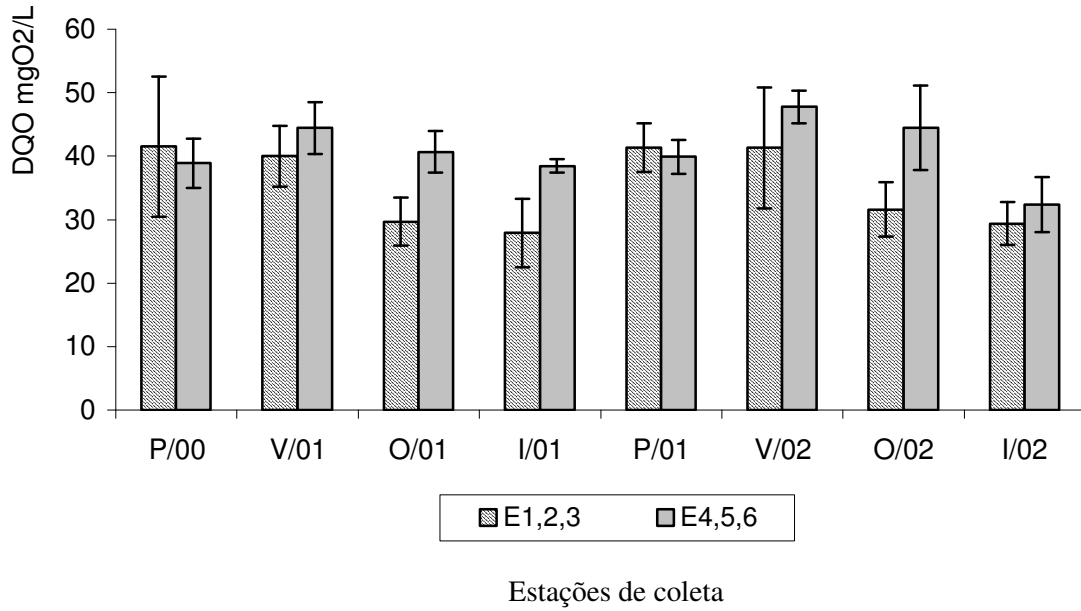
Quanto à demanda química de oxigênio (DQO) observa-se uma maior homogeneidade ao longo do rio Gravataí (figura 19). Os valores médios mais elevados foram registrados na estação 5, com  $42,39 \pm 11,34 \text{ mg L}^{-1} (\text{O}_2)$  e os valores médios mais baixos foram registrados na estação 2, com  $32,28 \pm 9,95 \text{ mg L}^{-1} (\text{O}_2)$ .



**Figura 19:** Variação dos valores médios e desvio padrão da demanda química de oxigênio  $\text{mg L}^{-1} (\text{O}_2)$ , no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, entre as seis estações de amostragem no rio Gravataí, RS.

Com relação à variação sazonal da demanda química de oxigênio (DQO) observa-se que ocorreram valores mais elevados na primavera e verão, e valores mais baixos no outono e inverno, repetindo-se o mesmo padrão nos dois anos avaliados. As variações sazonais são mais marcantes no trecho superior do rio.

Os valores mais elevados foram registrados no verão de 2001 e 2002, com  $44,43 \pm 4,07$  e  $47,77 \pm 2,54 \text{ mg L}^{-1} (\text{O}_2)$  no trecho inferior do rio Gravataí. Os valores mais baixos foram registrados no inverno/01 e 2002, com  $27,89 \pm 5,36$  e  $29,39 \pm 3,39 \text{ mg L}^{-1} (\text{O}_2)$ , no trecho superior do rio. Não houve diferenças estatisticamente significativas entre as localidades amostradas, em relação à demanda química de oxigênio (figura 20).



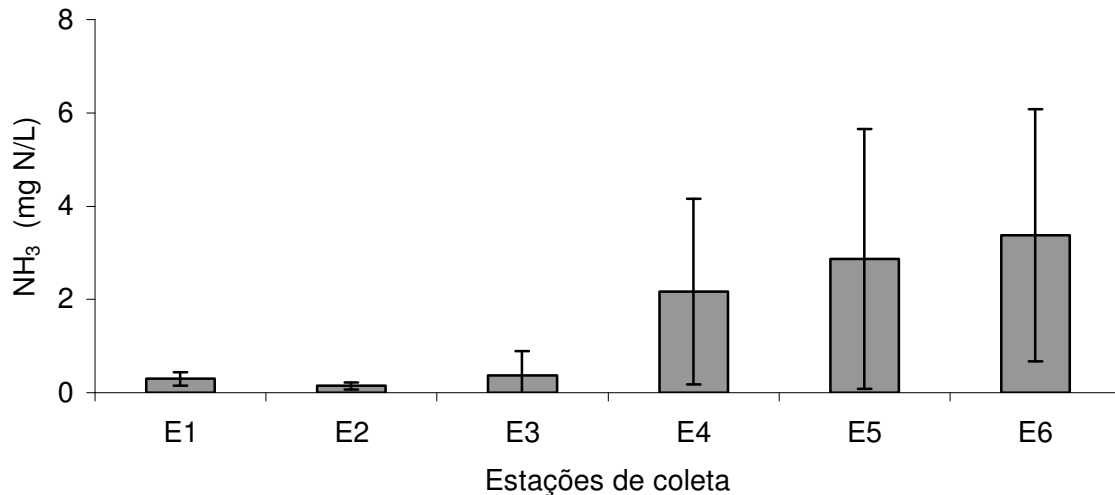
**Figura 20:** Valores médios e desvio padrão da Demanda Química de Oxigênio  $\text{mg L}^{-1}$  ( $\text{O}_2$ ), nos diferentes períodos sazonais amostrados entre setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS, (P= primavera; V=verão; O= outono; I=inverno).

Os resultados referentes às variações espaciais e sazonais nas concentrações de nutrientes são apresentados nas Figuras 21 a 31.

Especialmente houve um padrão bem marcante de variação na concentração de todos os nutrientes medidos ao longo do rio Gravataí, que foi caracterizado por um gradiente crescente da estação 2, no trecho superior, até a estação 6, próximo a foz do rio. Na estação 1, embora as concentrações de nutrientes tenham sido baixas, estas foram um pouco mais elevadas do que na estação 2, à jusante.

Para todos os nutrientes quantificados as concentrações na porção inferior do rio foram de três a cinco vezes mais elevadas do que aquelas registradas na porção superior-média do rio. Diferenças significativas foram obtidas entre as concentrações de nitrogênio amoniacal e das formas de fósforo avaliadas, comparando-se as estações do trecho superior e aquelas do trecho inferior.

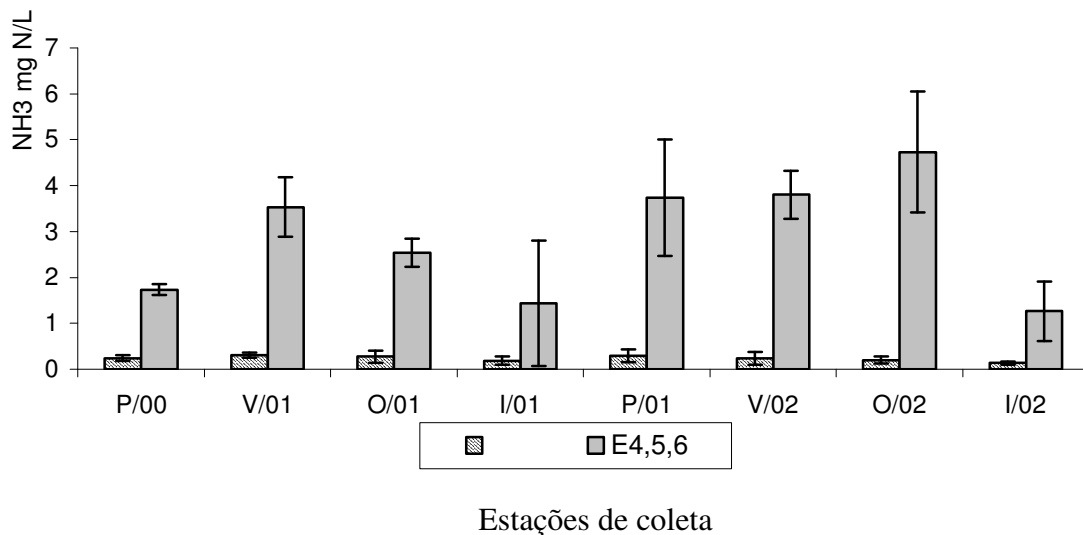
Conforme a figura 21, os valores médios mais elevados de amônia foram registrados na estação 6, com  $3,37 \pm 2,70 \text{ mg L}^{-1}$  ( $\text{NH}_3$ ) e os valores médios mais baixos foram registrados na estação 2, com  $0,15 \pm 0,07 \text{ mg L}^{-1}$  ( $\text{NH}_3$ ).



**Figura 21:** Variação dos valores médios e desvio padrão das concentrações de amônio  $\text{mg L}^{-1}$  ( $\text{NH}_3$ ), no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, entre as seis estações de amostragem no rio Gravataí, RS.

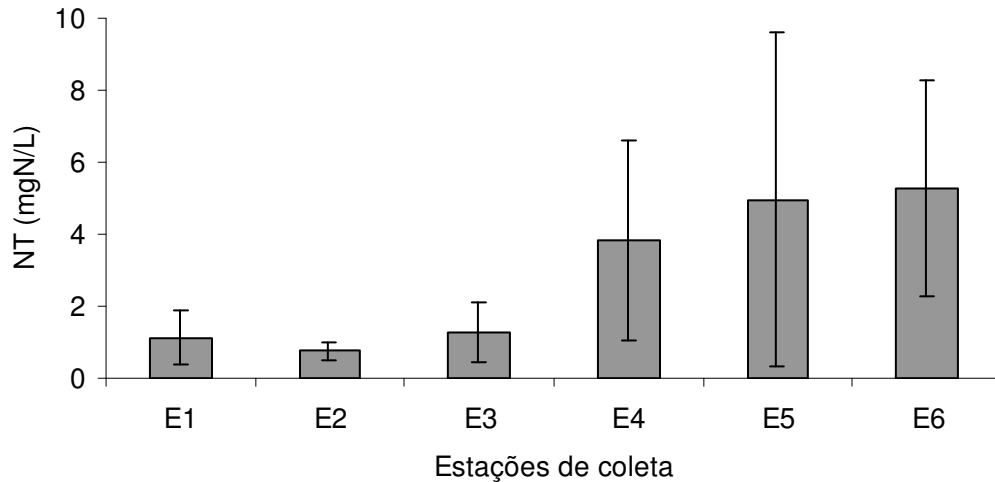
Quanto à variação sazonal, em geral, as concentrações de todos os nutrientes na primavera e no inverno foram menores do que aquelas observadas no verão e no outono.

Os valores mais elevados de amônio ( $\text{NH}_3$ ) foram registrados no verão e outono de 2002, com  $3,80 \pm 0,53$  e  $4,73 \pm 1,32 \text{ mg L}^{-1}$  ( $\text{NH}_3$ ), respectivamente, enquanto os valores mais baixos foram registrados nos períodos de inverno de 2001 e de 2002, com  $1,43 \pm 1,37 \text{ mg L}^{-1}$  ( $\text{NH}_3$ ) e  $1,27 \pm 0,65 \text{ mg L}^{-1}$  ( $\text{NH}_3$ ), conforme a figura 22.



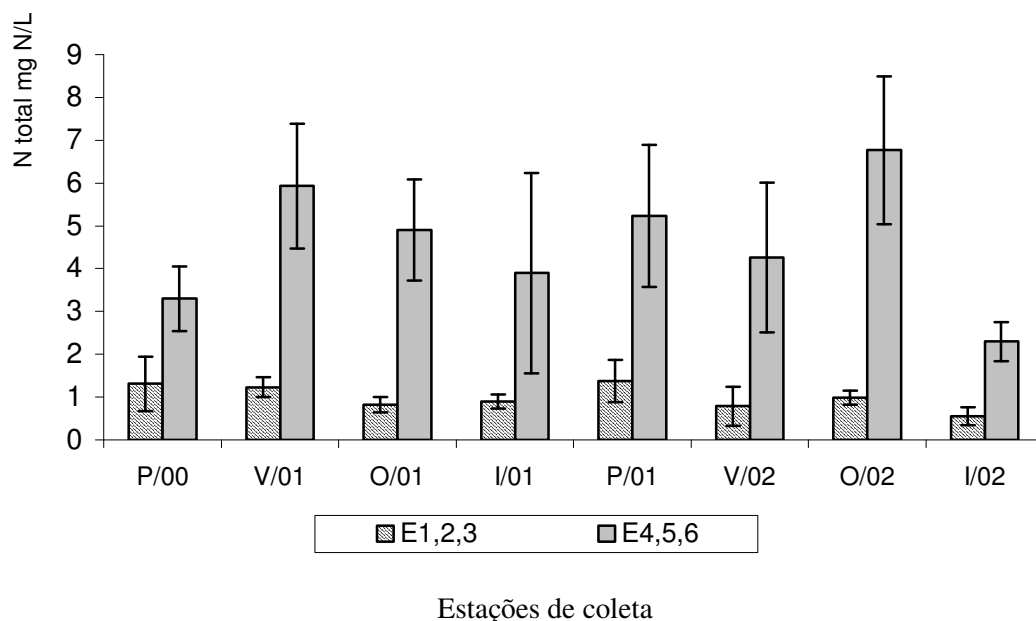
**Figura 22:** Variação dos valores médios e desvio padrão das concentrações de amônio  $\text{mg L}^{-1}$  ( $\text{NH}_3$ ), para os diferentes períodos sazonais amostrados entre setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS (P= primavera; V=verão; O= outono; I=inverno).

Espacialmente, os valores médios de nitrogênio total, mais elevados foram registrados na estação 6, com  $5,27 \pm 3,01 \text{ mg L}^{-1}$  (Nt), e os valores médios mais baixos foram registrados na estação 2, com  $0,77 \pm 0,26 \text{ mg L}^{-1}$  (Nt), figura 23.



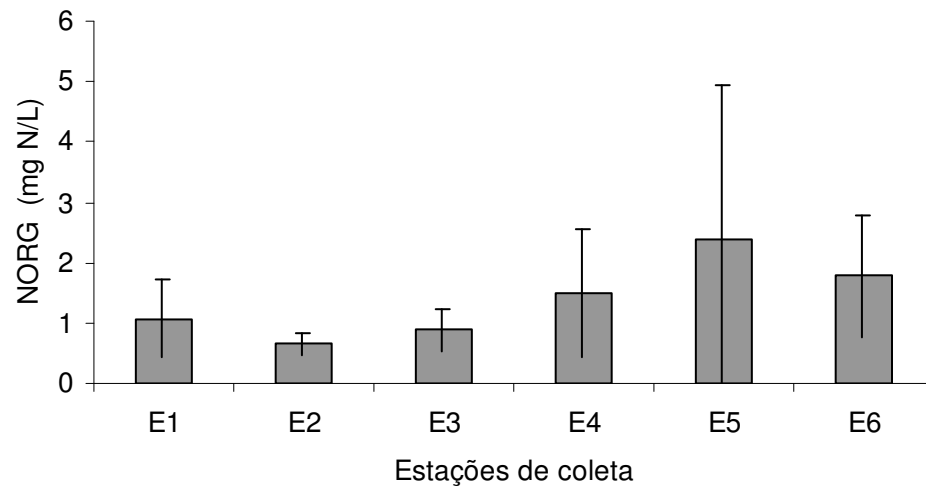
**Figura 23:** Variação dos valores médios e desvio padrão das concentrações de nitrogênio total  $\text{mg L}^{-1}$  (Nt), no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, entre as seis estações de amostragem no rio Gravataí, RS.

Sazonalmente, os valores médios mais elevados foram registrados no verão de 2001, com  $5,93 \pm 1,46 \text{ mg L}^{-1}$  (Nt), e no outono de 2002, com  $6,77 \pm 1,72 \text{ mg L}^{-1}$  (Nt), no trecho inferior do rio (figura 24).



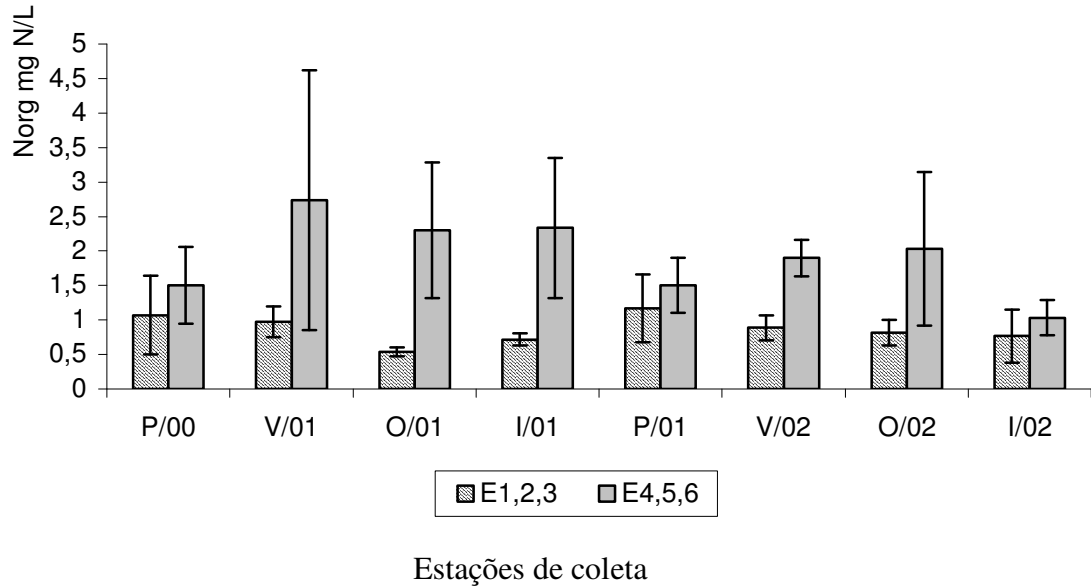
**Figura 24:** Valores médios e desvio padrão das concentrações de nitrogênio total  $\text{mg L}^{-1}$  (Nt), nos diferentes períodos sazonais amostrados entre setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS, (P= primavera; V=verão; O= outono; I=inverno).

Ao longo do rio Gravataí, observou-se na figura 25, que os valores médios mais elevados de nitrogênio orgânico foram registrados na estação 5, com  $2,40 \pm 2,53 \text{ mg L}^{-1}$  (Norg) e, os valores médios mais baixos foram registrados na estação 2, com  $0,65 \pm 0,19 \text{ mg L}^{-1}$  (Norg).



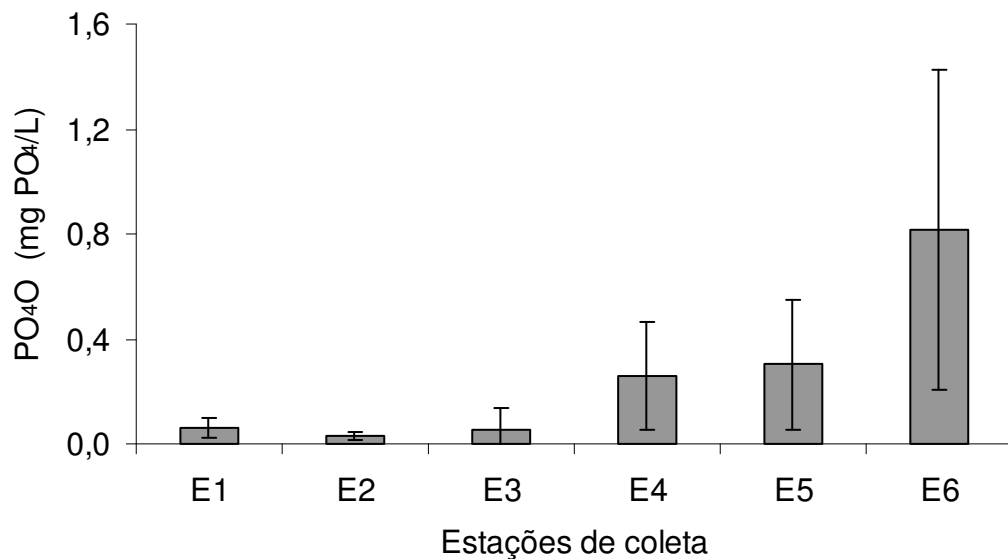
**Figura 25:** Variação dos valores médios e desvio padrão de nitrogênio orgânico  $\text{mg L}^{-1}$  (Norg) no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, entre as seis estações de amostragem no rio Gravataí, RS.

Os valores médios mais elevados de nitrogênio orgânico ocorreram no verão de 2001 com  $2,73 \pm 1,88 \text{ mg L}^{-1}$  (Norg), e no inverno de 2001, com  $2,33 \pm 1,01 \text{ mg L}^{-1}$  (Norg), nas estações do trecho inferior do rio (Figura 26).



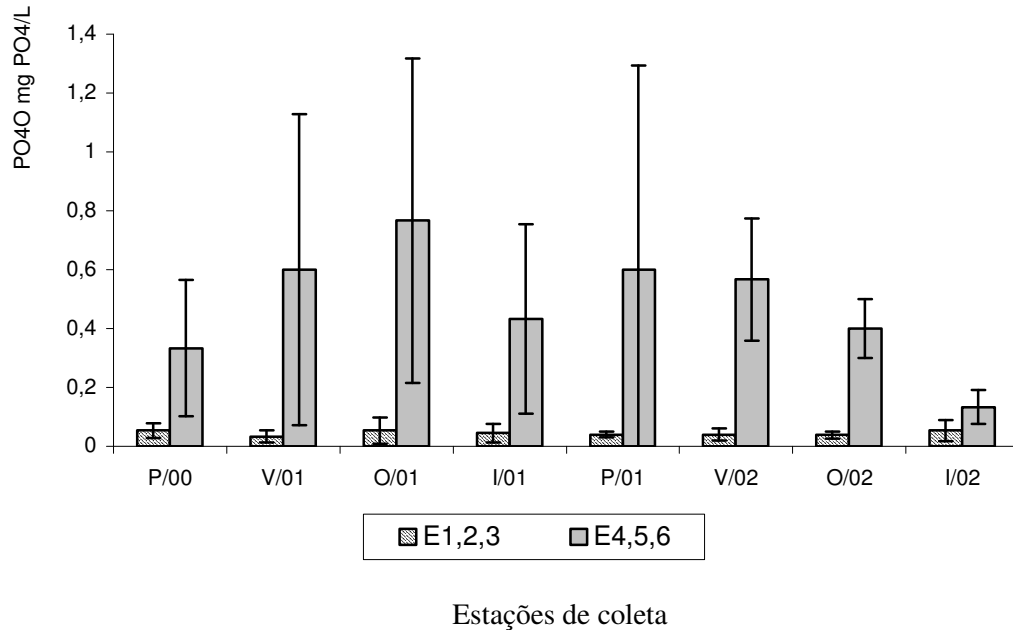
**Figura 26:** Variação dos valores médios e desvio padrão de nitrogênio orgânico  $\text{mg L}^{-1}$  (Norg) nos diferentes anos amostrados no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS, (P= primavera; V=verão; O= outono; I=inverno).

Em relação à variação espacial das formas de fósforo, conforme a figura 27, observou-se que os valores médios mais elevados de ortofosfato foram registrados na estação 6, com  $0,82 \pm 0,61 \text{ mg L}^{-1}$  ( $\text{PO}_4$ ) e, os valores médios mais baixos foram registrados na estação 2, com  $0,03 \pm 0,02 \text{ mg L}^{-1}$  ( $\text{PO}_4$ ).



**Figura 27:** Variação dos valores médios e desvio padrão de ortofosfato  $\text{mg L}^{-1}$  ( $\text{PO}_4$ ), no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, entre as seis estações de amostragem no rio Gravataí, RS.

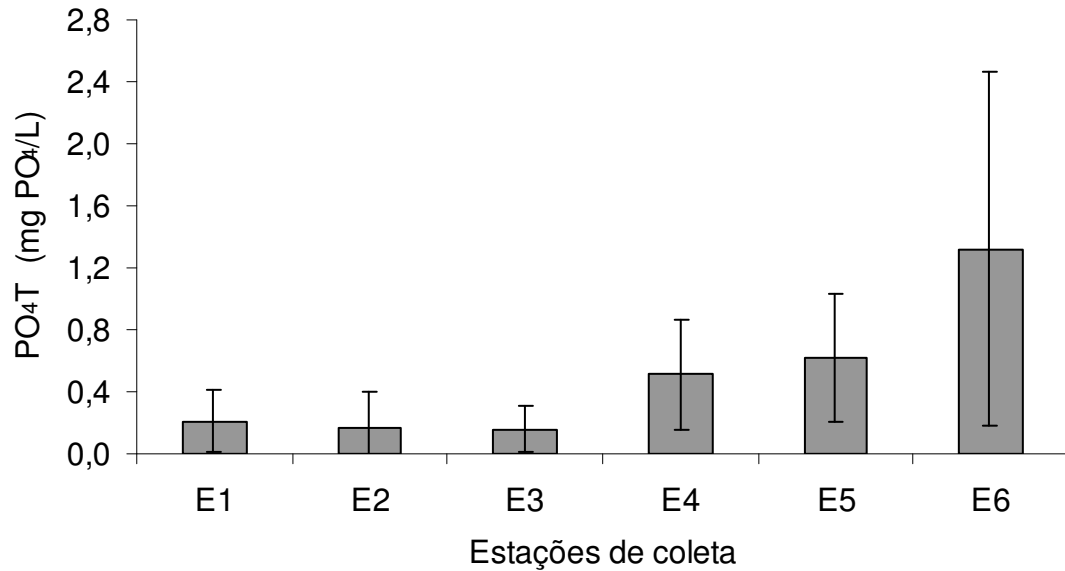
Na figura 28, O valor médio mais elevado para a concentração de ortofosfato foi registrado no outono de 2001, com  $0,77 \pm 0,55 \text{ mg L}^{-1} (\text{PO}_4)$ , enquanto o valor médio mais baixo foi registrado no verão de 2001, com  $0,03 \pm 0,02 \text{ mg L}^{-1} (\text{PO}_4)$ .



**Figura 28:** Variação dos valores médios e desvio padrão das concentrações de ortofosfato  $\text{mg L}^{-1} (\text{PO}_4)$ , nos diferentes períodos sazonais amostrados entre setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS, (P= primavera; V=verão; O= outono; I=inverno).

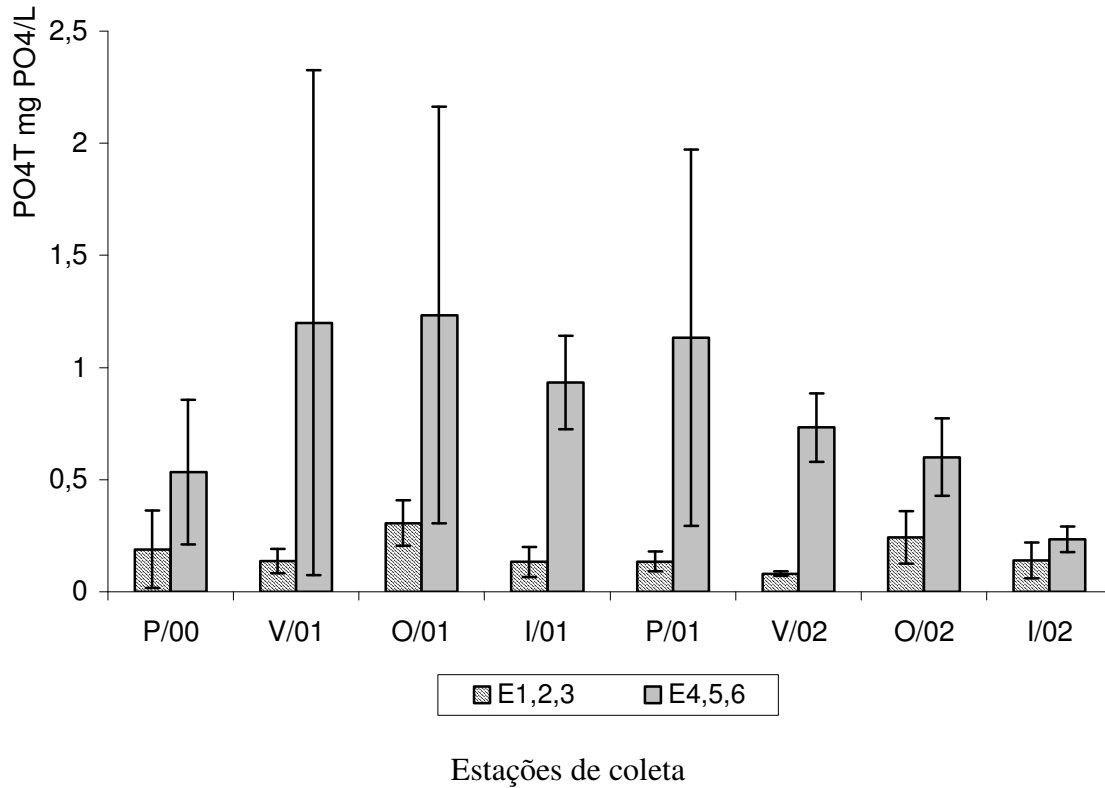
Quanto ao fósforo total, as concentrações ao longo do rio Gravataí evidenciaram grandes alterações. O valor médio mais elevado foi registrado na estação 6, com  $1,32 \pm 1,14 \text{ mg L}^{-1} (\text{Pt})$  e o valor médio mais baixo foi registrado na estação 3, com  $0,16 \pm 0,14 \text{ mg L}^{-1} (\text{Pt})$ , observado na figura 29.





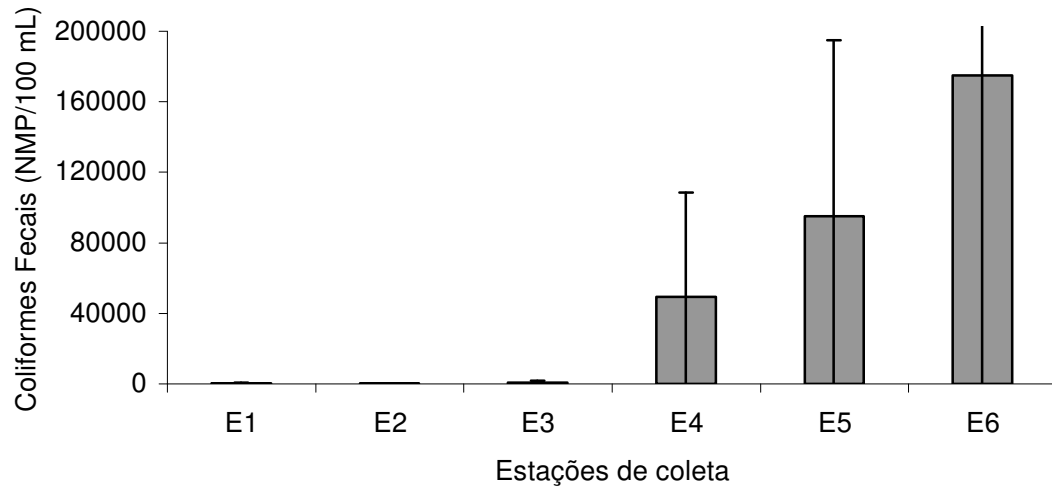
**Figura 29:** Variação dos valores médios e desvio padrão das concentrações de fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$  (Pt) no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, entre as seis estações de amostragem no rio Gravataí, RS.

Em relação à variação temporal os valores mais elevados foram registrados no verão de 2001, com  $1,20 \pm 1,12 \text{ mg L}^{-1}$  (Pt), e no outono de 2001 com  $1,23 \pm 0,92 \text{ mg L}^{-1}$  (Pt), no trecho inferior do rio. Os valores mais baixos registrados foram no inverno 2001, com  $0,13 \pm 0,067 \text{ mg L}^{-1}$  (Pt), no trecho superior do rio, e no verão 2002, com  $0,080 \pm 0,010 \text{ mg L}^{-1}$  (Pt) (Figura 30).



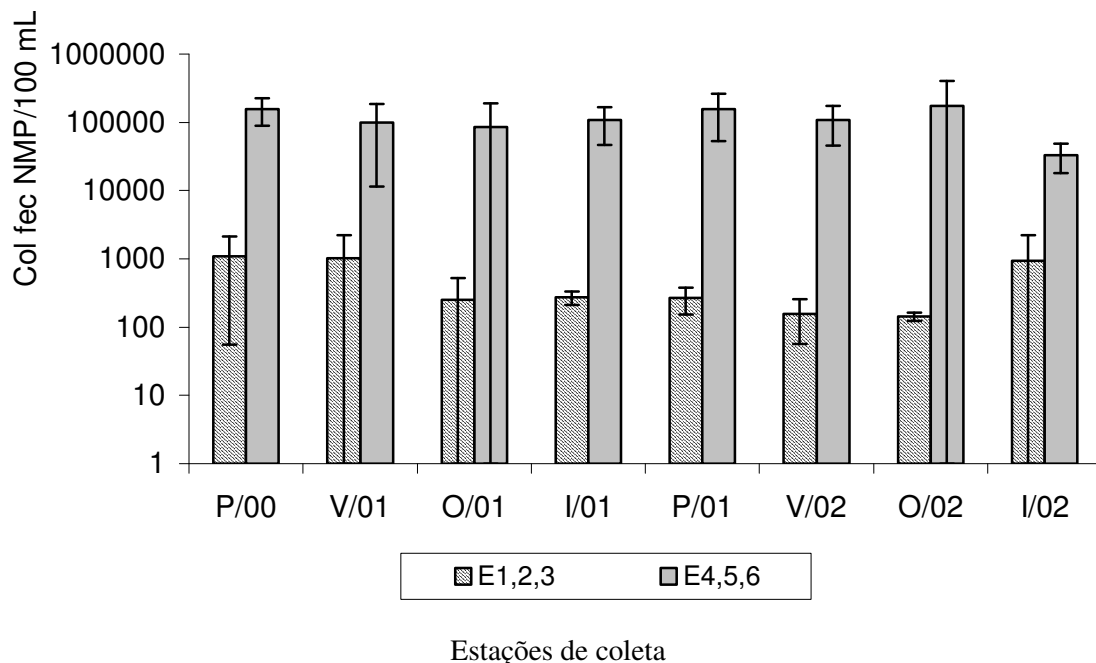
**Figura 30:** Variação dos valores médios e desvio padrão de fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$  (Pt), nos diferentes períodos sazonais amostrados entre setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS, (P= primavera; V=verão; O= outono; I=inverno).

Como variável biológica indicadora da qualidade da água do ponto de vista sanitário foram quantificadas as densidades de coliformes fecais. A análise espacial revela que os valores médios mais elevados de coliformes fecais foram registrados na estação 6, com  $175120 \pm 186047,5$  NMP/100 mL, enquanto os valores médios mais baixos foram registrados na estação 2, com  $270 \pm 206,9$  NMP/100 mL (Figura 31).



**Figura 31:** Variação dos valores médios e desvio padrão de coliformes fecais (NMP/100 mL) no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, entre as seis estações de amostragem no rio Gravataí, RS.

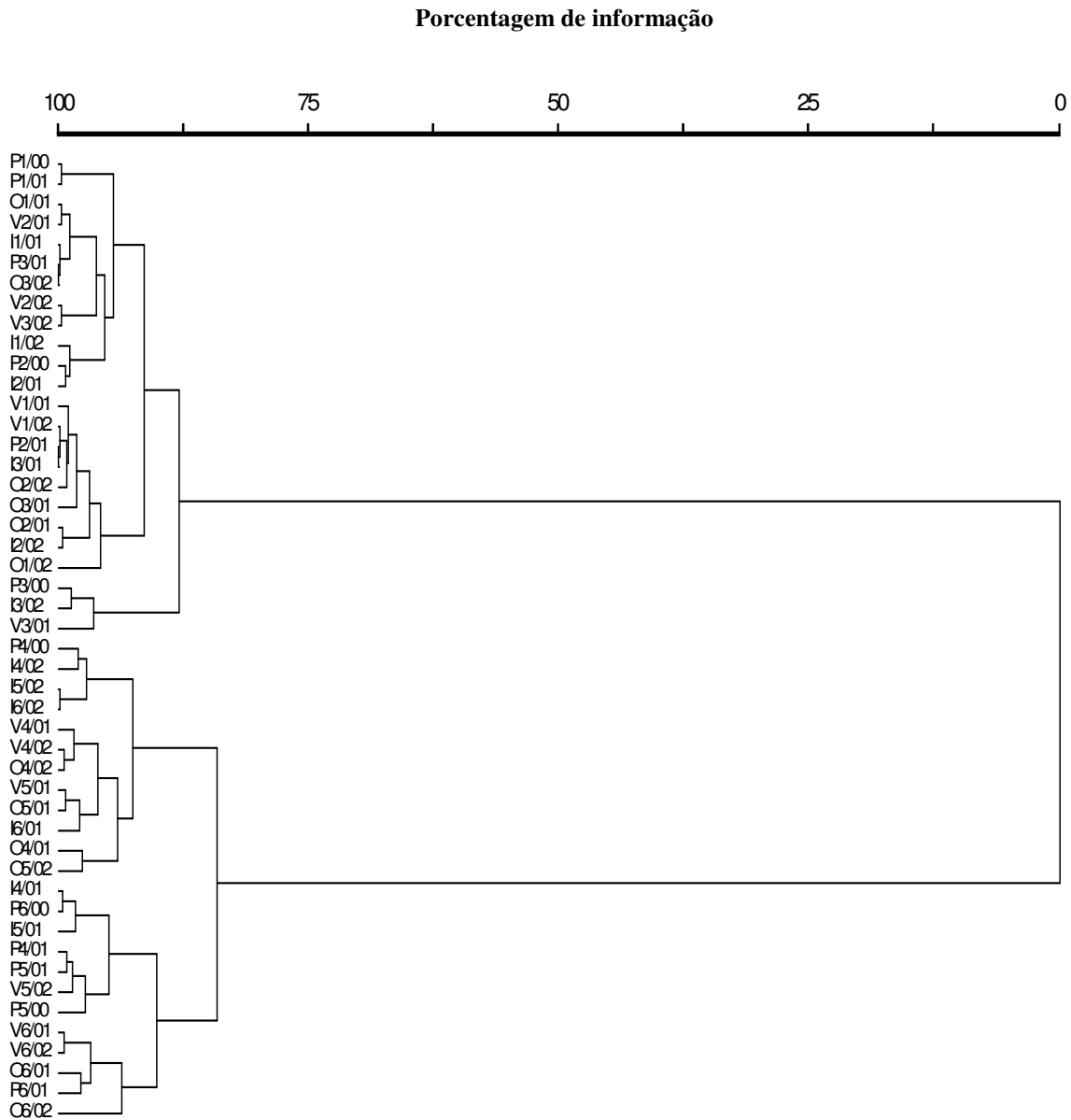
Ao longo dos dois anos amostrados, observa-se que os valores médios mais elevados de coliformes fecais foram registrados no período da primavera de 2001, com  $157.666 \pm 104652$  NMP/100 mL e no outono de 2002, com  $172.800 \pm 232509,5$  NMP/100 mL e os valores médios mais baixos ocorreram no verão de 2002, com  $157 \pm 100,7$  NMP/100 mL, e no outono de 2002, com  $143 \pm 20,2$  NMP/100 mL (Figura 30). Existem diferenças significativas ( $P < 0,001$ ) entre as densidades de coliformes registradas no trecho superior- médio do rio (estações 1, 2 e 3) e aquelas registradas no trecho inferior (estações 4, 5 e 6).



**Figura 32:** Variação dos valores médios e desvio padrão da densidade de coliformes fecais (NMP/100 mL), nos diferentes períodos sazonais amostrados entre setembro de 2000 e agosto de 2002, no rio Gravataí, RS, (P= primavera; V=verão; O= outono; I=inverno).

A partir da aplicação de uma análise de agrupamento, utilizando-se todos os valores das variáveis analisadas, obteve-se a formação de dois grupos distintos, separados pelo gradiente espacial: o primeiro formado pelas estações 1, 2 e 3 que correspondem ao trecho superior-médio do rio e o outro pelas estações 4, 5 e 6 correspondente ao trecho inferior do rio Gravataí (figura 33).

Não houve um padrão de separação com base na variação sazonal, isto é, em relação à variabilidade temporal, sendo formados subgrupos com diferentes combinações, evidenciando assim uma maior similaridade temporal do que espacial.



**Figura 33:** Dendrograma (distâncias euclidianas) resultante da análise de agrupamento baseado na similaridade entre as características físicas, químicas e biológicas de seis localidades amostradas ao longo do rio Gravataí, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, amostradas em oito períodos sazonais (P=primavera, V=verão, O=outono e I= inverno). Os números 1 a 6 correspondem às estações de coleta ordenados da nascente à foz e 00, 01, 02 correspondem aos anos de 2000, 2001 e 2002.

A análise de agrupamento obtida a partir das medidas das variáveis ambientais, nos diferentes períodos sazonais, evidenciou na escala de zero a 100, um corte na distância de 72, revelando, portanto, uma elevada similaridade entre as condições ambientais ao longo do ciclo anual.

Como mostra a Figura 33, foram obtidos dois grupos, sendo o primeiro grupo correspondente à primavera, verão, outono e inverno, nas estações 1, 2 e 3, e o segundo grupo representado pelas estações 4, 5 e 6, reunindo também as diferentes estações do ano.

## DISCUSSÃO

Os rios são ecossistemas bastante individualizados, com características próprias e influenciados principalmente pelos fatores climáticos, geomorfológicos e hidrológicos que ocorrem e interagem dentro da bacia hidrográfica. Estas variáveis sofrem mudanças em escalas de tempo e espaço bastante diferenciadas, que variam também de bacia a bacia, de região para região e conforme o grau de interferência antrópica (Neves, 2002).

Rios, com bacias hidrográficas intocadas ou em alto grau de conservação, teriam um gradiente moderado de alterações físicas e químicas decorrentes do acúmulo gradual de elementos na forma molecular ou de partículas tanto orgânicas quanto inorgânicas. Segundo Margalef (1983) todos os rios são sistemas mais ou menos eutrófico. Alterações bruscas podem, no entanto, ocorrer em função de mudanças artificiais no fluxo de água do rio, como aquelas derivadas de represamento, canalizações ou devido a grandes alterações no fluxo de materiais, principalmente decorrentes de impactos antropogênicos, oriundos dos usos do solo da bacia, incluindo os processos erosivos, o lixiviamento de fertilizantes, o assoreamento dos riachos ou os despejos de efluentes (Margalef, 1983; Schäfer, 1985).

A análise do perfil longitudinal de um rio em relação às características físicas, químicas e microbiológicas permite o entendimento das condições naturais ou alteradas por ele apresentadas e que determinarão em grande parte as características de suas comunidades biológicas.

No rio Gravataí, esta análise evidenciou um sistema distinto do modelo preconizado pelo contínuo fluvial. O modelo prevê um aumento gradual do pH, da condutividade e da turbidez em

decorrência do acúmulo de material particulado fino e da carga cumulativa de íons oriunda dos aportes de efluentes e da lixiviação dos solos da bacia (Margalef, 1983).

A estação 1, difere das nascentes típicas de riachos. A nascente é formada por um banhado, um ambiente semi-lêntico, para o qual contribuem várias nascentes e pequenos riachos. Ambientes lênticos normalmente possuem uma maior saturação de oxigênio dissolvido, maior turbidez, maiores concentrações de íons e de nutrientes e maior condutividade da água, do que os sistemas lóticos em condições similares de trofia e características geológicas da bacia, por serem ambientes de acumulação e de sedimentação, além de favorecerem o desenvolvimento das comunidades planctônicas. Por esta razão, são justificados os valores ligeiramente mais elevados para a maior parte das variáveis abióticas medidas no arroio Chico Lomã, próximo à nascente do rio Gravataí, quando comparados àqueles obtidos na localidade subsequente do rio Gravataí, na Fazenda Juca Barcelos, Município de Glorinha. Desta localidade até o Balneário Passo dos Negros, no município de Gravataí, observa-se a tendência de aumento gradual nas concentrações iônicas, nutrientes, DBO e diminuição na concentração de oxigênio, normal ao longo do curso dos rios, da nascente à foz. Este trecho superior do rio Gravataí tem características limnológicas similares àquelas de rios oligotróficos, ainda bastante preservados, como pode ser observado na Tabela II, onde são comparadas algumas características limnológicas, de outros rios do estado do Rio Grande do Sul, considerando que o rio Gravataí em relação aos outros rios da região é o mais impactado por contaminação orgânica.

As análises estatísticas confirmaram a existência de duas porções distintas no rio Gravataí. A primeira, abrangendo os trechos superior e médio, da nascente até o Balneário Passo dos Negros, com características mais preservadas, com aumentos normais na mineralização e estabilização da composição química, aumentando gradualmente as concentrações iônicas (como evidenciado no presente estudo pelas concentrações de cloretos e pela condutividade) e moderadamente trófico, devido aos aportes de matéria orgânica dos ecossistemas terrestres, evidenciado pelas concentrações das formas de nitrogênio e fósforo. Os resultados permitem avaliar que a maior diferença ocorre no eixo longitudinal do rio (estação 1 a 6), indicando as modificações ambientais e os efeitos das atividades humanas desenvolvidas na bacia. Em relação às escalas temporal, não existem, estatisticamente, diferenças acentuadas, não se verificando um padrão nos dois anos de amostragem e nem entre os períodos de chuva, seca e intermediários. A segunda, abrangendo o trecho inferior do rio Gravataí, com três localidades no Município de Porto Alegre. A Captação da Base Aérea, a confluência com o Arroio da Areia e a foz do rio Gravataí, com características

hipereutróficas, comparáveis às observadas em rios altamente poluídos, como os rios Tietê e Piracicaba, no estado de São Paulo.

Existe uma descontinuidade no gradiente entre a localidade de Passo dos Negros (estação 3) e aquela da Captação da Base Aérea (estação 4). Este trecho do rio recebe despejos de águas residuárias e resíduos sólidos, oriundos da zona norte da cidade de Porto Alegre. O incremento exagerado de matéria orgânica lábil, característica de águas residuárias despejadas *in natura*, está refletida nos valores de DBO e de coliformes fecais, os quais aumentam em média de 3 e 50 vezes, respectivamente, de uma localidade a outra. Na localidade próxima à foz as concentrações de nutrientes e densidade de coliformes tornam-se ainda mais elevadas, cerca de 10 e 100 vezes, respectivamente. De acordo com os dados do IPH (2002), verifica-se que o rio Gravataí é um rio de planície, com curso sinuoso, baixo fluxo e vazão (em média 5,14 m<sup>3</sup>/s), tendo por isso reduzida capacidade de re-aeração e de diluição de poluentes. O impacto da poluição orgânica da cidade de Porto Alegre promove uma quebra do contínuo fluvial, caracterizando um processo de descontinuidade serial do sistema.

Em função das alterações sazonais na precipitação pluviométrica na bacia do rio Gravataí ocorrem alterações na vazão, ocasionando também alterações na velocidade da corrente e na altura da lâmina d'água, e conseqüentemente uma série de alterações nas características físicas e químicas da água, interferindo de alguma forma nas comunidades bióticas.

As variações sazonais das características físicas e químicas da água são marcantes para algumas variáveis como a temperatura, a condutividade e a concentração dos principais nutrientes.

A interpretação da influência das variações climáticas e hidrológicas nas características limnológicas é um tanto complexa, pelo fato de ocorrer uma superposição de variações espaciais e temporais de fatores. Adicionalmente, diferentes escalas de flutuações temporais se superpõem, tais como as flutuações sazonais e as variações interanuais, o que dificulta a identificação de padrões recorrentes, exceto em estudos de longa duração. O presente estudo abrangeu dois ciclos sazonais completos, inseridos nos anos de 2000 a 2002. Pode-se observar que no ano de 2001 a precipitação pluviométrica total foi mais elevada do que aquela registrada para os anos de 2000 e de 2002, havendo, também, alterações quanto ao padrão mensal de distribuição das chuvas. Alguns meses tiveram pluviosidade mais elevada, como os meses de janeiro, abril e setembro. Assim, as variações interanuais mascararam em parte as variações sazonais, fazendo com que as variações espaciais fossem mais pronunciadas do que as variações temporais.



**Tabela II:** Valores médios, desvio-padrão, mínima e máxima de outros rios do estado do Rio Grande do Sul, a montante e a jusante das fontes poluidoras. (OD (mg/L):oxigênio dissolvido; DBO-5 (mg/L): demanda bioquímica de oxigênio; P (mg/L): fósforo total e Col fecais (NMP/100 mL): coliformes fecais.

<b>Parâmetros</b>	<b>OD mg/L</b>	<b>DBO<sub>5</sub> mg/L</b>	<b>P mg/L</b>	<b>Col fecais NMP/100 mL</b>
Arroio Sampaio a montante do município de Mato Leitão, RS. dez/97 à nov/98	8,37 ± 0,85 7,2 – 10,2	1,23 ± 0,45 0,2 – 1,9	0,05 ± 0,04 0 – 0,134	643,3 ± 636,14 30 - > 1600
Arroio Sampaio a jusante do município de Mato Leitão, RS. dez/97 à nov/98	8,03 ± 0,82 6,6 – 9,2	1,12 ± 0,41 0,7 – 2,4	0,06 ± 0,05 0,0 0,173	982,5 ± 693,23 30 - > 1600
Arroio Bonito a montante do município de Mato Leitão, RS. dez/97 à nov/98	8,0 ± 1,35 6,5 – 11,7	1,34 ± 0,48 0,7 – 2,4	0,09 ± 0,08 0 – 0,248	995,83 ± 689,67 30 - > 1600
Arroio Bonito a jusante do município de Mato Leitão, RS. dez/97 à nov/98	7,98 ± 0,49 7,2 – 8,8	1,45 ± 0,39 0,8 - 2	0,11 ± 0,09 0 – 0,336	973,67 ± 706,84 11 - > 1600
Arroio Grande a montante do município de Mato Leitão, RS. dez/97 à nov/98	7,91 ± 0,68 6,6 – 8,9	1,60 ± 1,17 0,6 – 4,4	0,09 ± 0,10 0 – 0,385	856,5 ± 711,0 28 - > 1600
Arroio Grande a jusante do município de Mato Leitão, RS. dez/97 à nov/98	7,6 ± 0,88 6 – 8,8	1,16 ± 0,28 0,7 – 1,7	0,08 ± 0,06 0 – 0,215	806,92 ± 738,54 6 - > 1600
Rio Pardinho a montante do município de Sinimbu RS. jun/01 a maio/02	6,00 ± 3,42 2,5 – 9,5	1,28 ± 1,57 0,1 – 3,8	0,10 ± 0,0 0,1 – 0,1	542,5 ± 773,84 80 – 1700
Rio Pardinho a jusante do município de Sinimbu, RS jun/01 a maio/02	6,53 ± 1,24 4,9 – 7,8	2,18 ± 1,57 0,1 – 3,8	0,10 ± 0,0 0,1 – 0,1	27425 ± 29633,13 1700 - 70000

Continuação da tabela II...

<b>Parâmetros</b>	<b>OD mg/L</b>	<b>DBO<sub>5</sub> mg/L</b>	<b>P mg/L</b>	<b>Col fecais NMP/100 mL</b>
Rio Caí, São Francisco de Paula, RS – próximo a nascente. Set /00 a março/03	8,29 ± 1,95 4,90± 11,20	1,00 ± 0,0 1,00± 1,00	0,07 ± 0,09 0,01± 0,32	2537,56 ± 6929,83 29± 21000
Rio Caí, Moretes, Nova Santa Rita, RS. Fev/97 a jun/00	6,50±0,97 4,90±8,50	1,50±0,65 1,00±3,00	0,14±0,10 0,05±0,33	1520,43±2605,86 6± 9000
Rio Jacuí, RS. Nascente abril/02 a out/03	7,58±1,06 8,50±5,70	1,00±0,0 1,00±1,00	0,03±0,01 0,0464±0,022	536,80±391,44 11±1200
Rio Jacuí, RS, foz. Abr/02 a abril/03	7,06±0,63 6,60±8,10	1,40±0,89 1,0±3,0	0,12±0,02 0,09±0,12	1165,75±995,39 150± 1500
Rio Sinos, foz. Tabaí – Canoas Set/00 a dez/02	3,44±1,53 1,20±4,20	1,86±0,891 1,00±3,00	0,27±0,172 0,13±0,25	5291,48±5989,021 170±16000
Rio Sinos, RS, nascente Set/00 a dez/02	8,18±1,37 4,20±11	1,07±0,38 1,00±3,00	0,07±0,05 0±0,02	2538,74±5974,37 5,00±30000
Rio das Antas – nascente São José dos Ausentes Set/00 a dez/02	9,20±2,75 5,60±14,30	1,10±0,32 1,00±2,00	0,07±0,09 0,02±0,29	1423,50±3155,58 24±9200
Rio das Antas entre municípios de Nova Roma e Nova Pádua. Set/00 a dez/02	8,36±1,72 6,70±12,50	1,20±0,42 1,00±2,00	0,08±0,06 0,04±0,19	1893,25±2420,30 160±7200
Rio Taquari, Triunfo, RS. Set/00 a dez/02	6,02±1,91 2,30±8,60	1,00±0,0 1,00±1,00	0,09±0,024 0,06±0,13	1820,43±3203,29 60±9000

**Fonte:** Dados fornecidos pelo laboratório de Águas da UNISC (Universidade de Santa Cruz do Sul) e pela FEPAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente do estado do Rio Grande do Sul).

Em diversos países, os rios situados nas proximidades de densas aglomerações humanas ou em áreas sujeitas a processos acelerados de industrialização sofrem grandes alterações em suas características físicas e químicas.

A comparação dos parâmetros avaliados no presente estudo (2000-2002), com aqueles reportados para períodos anteriores (FEPAM 1992-1994), evidencia que na última década ocorreram alterações significativas destas variáveis, revelando uma eutrofização acelerada das águas do rio Gravataí em tempos recentes, como pode ser observado na Tabela III, na qual são comparados valores médios para três períodos distintos.

Houve um decréscimo acentuado nas concentrações de oxigênio dissolvido na água, particularmente no trecho superior e médio. O oxigênio dissolvido na água é de essencial importância para os organismos aeróbios. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução da sua concentração no meio. Caso o oxigênio seja totalmente consumido têm-se as condições anaeróbias, com geração de maus odores e mortandades de peixes e de outros organismos (Von Sperling, 1996). As espécies menos tolerantes à anoxia acabam sendo gradualmente eliminadas, podendo haver uma severa perda de biodiversidade.

Outra alteração bastante visível foi o aumento na concentração iônica (condutividade elétrica) e na concentração de fósforo, particularmente no trecho médio e inferior do rio, com exceção da foz.

A análise das características físicas, químicas e microbiológicas da água ao longo do rio Gravataí revelou a existência de um gradiente da nascente à foz, caracterizado pela diminuição nas concentrações de oxigênio dissolvido, aumento da demanda bioquímica de oxigênio, aumento da concentração iônica (condutividade elétrica e íons cloreto), aumento na concentração de nutrientes e na densidade de coliformes. Existe sazonalidade nas características físicas, químicas e microbiológicas do rio Gravataí controlada predominantemente pelos fatores climáticos regionais, sendo, contudo, a variabilidade espacial mais acentuada do que a variabilidade temporal.

Há uma marcante descontinuidade no gradiente determinada pelo impacto de despejos de origem orgânica no trecho inferior do rio, caracterizando a chamada descontinuidade serial.

Há evidências de que na última década tem ocorrido uma marcante alteração na qualidade da água do rio Gravataí em virtude da contaminação por águas residuárias domésticas e industriais.

**Tabela III** - Valores médios e desvio padrão, valores mínimos e máximos, registrados para variáveis físicas, químicas e biológicas monitoradas nas estações de amostragem ao longo do rio Gravataí, no período de 1992 a 2002 (Fonte: Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul. (FEPAM/RS)).

	Período	OD mgL <sup>-1</sup>	DBO mgL <sup>-1</sup>	NT mgL <sup>-1</sup>	PT mgL <sup>-1</sup>	Condutividade uScm <sup>-1</sup>	Col Fecais NPM L <sup>-1</sup>
E1	1992 -1994	7,22 ± 1,81	1,89 ± 0,84	0,95 ± 0,34	0,10±0,11	60.61±23.11	14,863±4398,85
		4-11	1-4	0,44-1,62	0,0097-0,55	34-150	50-5000
	1995 - 1998	5,13 ± 1,94	1,75 ± 0,92	1,18±0,58	0,11±0,08	74,99±39,35	1023,26±2506,3
		2-9	1-5	0,65-2,96	0,019-0,44	10-250	40-16000
	1999 - 2002	5,80 ± 2,53	1,74 ± 2,10	1.29±0,71	0,18±0,16	91,70±55,92	606,16±715,93
		1-10,9	1-6	0,18-3,0	0,025-0,86	21-340	74-2500
E3	1992 -1994	7,66 ± 1,43	1,78 ± 1,13	1,21 ± 1,07	0,06 ± 0,05	46,90 ± 15,0	401,81 ± 587,84
		5 - 11	1-5	0,49 - 4,86	0,0125 - 0,247	30 -100	23 - 2200
	1995 - 1998	6,30 ± 1,61	1,44 ± 0,91	1,02 ± 0,42	0,07 ± 0,04	57,91 ± 24,31	581,00 ± 1424,23
		2 - 10	1 - 6	0,22 - 2,71	0,0100 - 0,229	10 - 160	23 - 9000
	1999 - 2002	5,39 ± 2,14	1,33 ± 0,76	1,20 ± 0,64	0,13 ± 0,11	56,12 ± 17,71	6359,75 ± 36083,09
		1,90 -10	1 - 5	0,48 - 4,68	0,028 - 0,208	12,4 - 94,3	20 -9700
E4	1992 -1994	5,44 ± 2,49	3,78 ± 3,81	3,37 ± 4,55	0,25 ± 0,17	91,0 ± 52,23	27912,90 ± 37957,28
		0,60 - 13,07	1-21	0,51 - 17,8	0,017 - 0,69	34 - 200	1300 - 160000
	1995 - 1998	3,878 ± 3,544	6,24 ± 10,58	4,77 ± 4,167	0,377 ± 0,281	124,59 ± 92,59	171626,410 ± 374008,4
		0,10 - 19,9	1-19	0,93 - 17,8	0,077 - 0,916	25 - 311	1300 - 900000
	1999 - 2002	2,65 ± 2,30	5,19 ± 4,26	5,59 ± 5,39	0,65 ± 0,52	158,24 ± 124,8	151809,76 ± 203507,85
		0,10 - 10,3	2 - 18	1,07 - 21,6	0,160 - 2,32	32,2 - 560	1600 - 860000

Continuação da Tabela 3...

E6	1992 -1994	4,59 ± 2,91	5,59 ± 4,00	4,78 ± 5,76	0,43 ± 0,32	119,06 ± 74,68	66233,33 ± 60856,92
		0,38 – 11,10	2,0 -17	0,50 – 19,6	0,11 – 1,53	45 - 400	3000 - 170000
	1995 - 1998	2,42 ± 2,285	8,38 ± 7,40	5,34 ± 3,26	0,538 ± 0,356	149,88 ± 87,49	176290,323 ± 220520,021
		0,0 – 6,90	2,00 – 31,0	1,32 – 14,8	0,14 – 1,42	29 - 460	5000 - 900000
	1999 - 2002	3,33 ± 2,32	6,94 ± 4,42	5,42 ± 2,98	1,36 ± 1,14	141,28 ± 66,70	1880000 ± 188407,51
		0,2 – 8,8	1,9 - 19	1,68 – 11,72	0,18 – 4,69	94 -297	1900 - 660000

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18.ed. Washington, DC. 1992.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n°. 20, 18 de junho de 1986. Diário Oficial da União, Brasília, 30 de julho 1986.

DIGBY, P.G.N. & KEPTON, R.A. *Multivariate analysis of ecological communities*. London e New York, Chapman and Hall, 1987. 206p.

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. *Identificação das alternativas possíveis e prováveis para a regularização das vazões do rio Gravataí*. Capítulo 7. Porto Alegre., 2002.

JUNK, W.J.; BAYLET, P.B.; SPARKS, R.E. The flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. In: DODGE, D.P. (Ed.) Proceedings of the International Large River Symposium. *Can. Spec Publ. Fish. Aquat. Sci.*, v. 106, p. 110-127. 1989.

LEITE, E.H. *et al.*. *Qualidade das águas do rio Gravataí*. FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Porto Alegre, 1992/1994 , Relatório Final. 65p.

MARGALEF, R. *Limnologia*. Barcelona: Omega, 1983. 1010p.

NEIFF, J.J. Ideas para la interpretación del río Paraná. *Interciencia*: 15, n.6, p. 424-441. 1990.

NEVES, I.F. *Diversidade da comunidade zooplanctônica em trechos do rio Cuibá impactado por atividades antropogênicas*. 146p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Departamento de Ecologia e Recursos Naturais Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 146p. 2002.

POWER, M.E. *et al.* Biotic and abiotic controls in river and stream communities. *J.N. Am. Benthol. Soc.* V.7, p. 456-479, 1988.

SCHÄFER, A. 1985. *Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais*. Porto Alegre: Ed. da Universidade. 1985. 532p.

SCHWARZBOLD, A. O que é um rio? *Ciência e Ambiente*, n. 21, p. 57-68, 2000.

SIOLI, H. Introdução ao Simpósio internacional sobre grandes rios latino-americanos. *Interciência*, v.15, n. 6, p.331-333. (Volume especial sobre grandes rios sul-americanos). 1990.

VANNOTE, R.L. *et al.* The River Continuum Concept. *Can. J. Fish. Aquatic. Sci.* v. 27 p. 130-137, 1980.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. 1986. 243p.

## **CAPÍTULO 2**



## COMPOSIÇÃO TAXONÔMICA E DIVERSIDADE DAS DIATOMÁCEAS EPILÍTICAS NO RIO GRAVATAÍ, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.

RESUMO: As diatomáceas epilíticas são importantes componentes das comunidades perifíticas em ecossistemas de água doce tanto em relação à riqueza de espécies que em relação à densidade numérica das populações. O presente trabalho teve por objetivo analisar a composição taxonômica e as variações na diversidade de diatomáceas epilíticas no rio Gravataí, RS (29° 45'a 30° 12'S e 150° 27'a 51° 12'W). Amostragens de diatomáceas epilíticas associadas a substratos artificiais rochosos foram trimestralmente colocados em seis estações de amostragem ao longo do rio Gravataí, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002. Variáveis climatológicas e as principais variáveis e químicas da água foram simultaneamente avaliadas. Os resultados obtidos no presente estudo evidenciaram que as diatomáceas epilíticas associadas aos substratos rochosos no rio Gravataí constituem uma comunidade bastante rica em espécies, com 169 táxons, na maioria em nível de espécie, ocorrendo ao longo de dois ciclos sazonais. As famílias que mais contribuíram para a riqueza de espécies foram: Eunotiaceae, Naviculaceae, Bacillariaceae e Pinnulariaceae, todas pertencentes à ordem das Pennales, as quais possuem melhor adaptação morfológica para aderir ao substrato. A diversidade de espécies variou espacial e temporalmente, no período estudado. O índice de Shannon-Wiener variou entre o valor mínimo de 0,75, obtido para a estação 2, no inverno de 2002 e um valor máximo de 3,06, na estação 1, no verão de 2001. Não se observou a existência de um gradiente espacial em relação à diversidade de espécies, verificando-se a ocorrência casual tanto de valores altos e baixos, em todas as estações amostradas. Foram registradas variações na diversidade em função da sazonalidade. A diversidade de diatomáceas epilíticas foi mais elevada nos períodos de primavera e verão e mais baixa no outono e no inverno, no trecho superior-médio do rio Gravataí. Na porção inferior do rio, as variações na diversidade foram irregulares e aparentemente não associadas a sazonalidade. Este trecho inferior do rio é um ambiente seletivo, propiciando condições para a dominância, como evidenciado pela abundância relativa de algumas espécies e a diminuição do índice de uniformidade. Muitas das espécies numericamente dominantes no rio Gravataí são espécies de ampla distribuição geográfica, ocorrendo em elevada frequência em muitos corpos de água de regiões temperadas e tropicais. Dentre as espécies abundantes destacaram-se *Cocconeis placentula*,

*Nitzschia palea*, *Navicula cryptocephala*, *Gomphonema parvulum* e *Ulnaria ulna*, espécies freqüentes ou dominantes em corpos de água do mundo todo e consideradas potencialmente como espécies indicadoras.

**Palavras chave:** Diatomáceas epilíticas, comunidades perifíticas, Rio Gravataí.

### **TAXONOMIC COMPOSITION AND DIVERSITY OF EPIPELIC DIATOMS IN GRAVATAÍ RIVER, RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL.**

**ABSTRACT:** Epilithic diatoms are important components of periphytic communities in freshwater ecosystems, regarding both species richness and population densities. The present study aimed to analyse the taxonomical composition and changes in diversity of epilithic diatoms, both spatially and temporally. Sampling of epilithic diatoms attached to artificial substrates was carried out at three month intervals, on six selected sites along Gravataí River (29° 45'a 30° 12'S e 150° 27'a 51° 12'W), from September 2000 to August 2002. Main climatological and hydrological variables were simultaneously analysed. The results obtained indicated that epilithic diatoms associated to substrates in Gravataí River comprised a rich assemblage of species, with 169 taxa, most identified to species level, along two seasonal cycles. The families which most contributed regarding species richness were: Eunotiaceae, Naviculaceae, Bacillariaceae and Pinnulariaceae, all belonging to the Pennales order, with species that possess morphological adaptations for attachment to the substrate. Species diversity varied spatially and temporally, during the study period. Shannon-Wiener index varied from 0.75 in winter 2002 at station 1, to 3.06 in summer 2001, at station 2. No spatial gradient was found regarding the diversity index, with low and high values found for every sampling site. There were, however, seasonal changes in diversity, which was higher during spring and summer compared to autumn and winter, particularly in the upper and middle reaches of the Gravataí River. At the lower reach of the river, changes were not regular and apparently not associated to seasonality. This seemed to be a selective environment as suggested by the high abundance of some species and the decreases in evenness. Many species numerically dominant in Gravataí River are species of wide geographical distribution, with high abundances in many water bodies in both temperate and tropical regions. Amongst the most abundant species were: *Cocconeis placentula*,

*Nitzschia palea*, *Navicula cryptocephala*, *Gomphonema parvulum* and *Ulnaria ulna*, frequently dominant in water bodies throughout the world and considered potential indicator species.

**Key-words:** Epilithic diatoms, periphytic communities, Gravataí River.

## INTRODUÇÃO

Estimativas atuais indicam que as diatomáceas estão representadas por cerca de 250 gêneros e 100.000 espécies. As diatomáceas constituem um grupo de algas bastante diversificado, ocorrendo ao longo de rios, estuários, lagos e oceanos, além de diversos substratos em ambientes terrestres, sendo observadas em uma variedade de locais úmidos, incluindo ainda ambientes extremos, como o gelo e as águas termais (Hoek *et al.*, 1995). As diatomáceas são de ampla distribuição geográfica, algumas espécies são cosmopolitas, porém outras são de distribuição regional

As diatomáceas são bastante representativas entre as algas do fitoplâncton, crescendo abundantemente em diversos corpos de água doce. Muitas são, no entanto, de hábito não planctônico, crescendo sobre outras plantas (epifíton), sobre rochas (epilíton), sobre grãos de areia (episamon) ou sobre o sedimento (epipelon).

A composição de diatomáceas é influenciada por diversos fatores, destacando-se o fluxo da água, a composição química do rio e a herbivoria. Por outro lado, a composição química da água é bastante influenciada pelos processos de eutrofização e de poluição (Round, 1993).

Muitas espécies têm ampla tolerância a vários fatores e por isso, quando as condições são favoráveis, desenvolvem densas populações em rios, lagos e lagoas.

Algumas espécies de diatomáceas são consideradas como bons indicadores da qualidade da água, o que torna importante a identificação taxonômica acurada sobre as espécies. Dentre os diferentes tipos de substratos que podem ser colonizados pelas diatomáceas o rochoso é bastante conspícuo e em quase todos os ambientes eles podem ser encontrados.

O presente trabalho visa contribuir para o conhecimento da estrutura e da diversidade de espécies das diatomáceas epilíticas do rio Gravataí, no Estado do Rio Grande do Sul, um rio alterado pelo impacto de intensa poluição orgânica e industrial de centros urbanos.

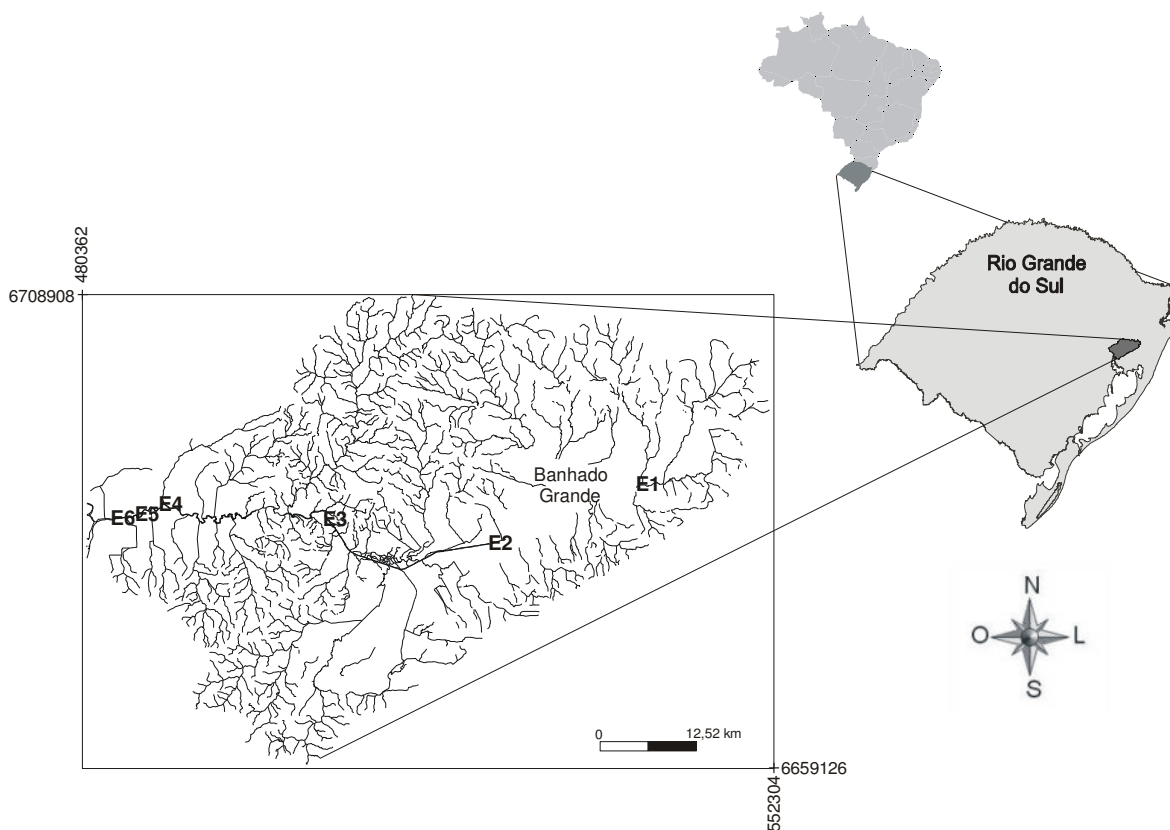
## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de Estudo

O rio Gravataí localiza-se na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Tem uma extensão aproximada de 100 Km e uma largura média de 2,0m. É essencialmente um rio de planície, com baixa velocidade, que varia entre 0,003 e 0,160 m/s sendo sinuoso, com muitos meandros (Fig.1). Sua bacia hidrográfica abrange uma área de 2020 km<sup>2</sup>, estendendo-se entre Porto Alegre e o delta do rio Jacuí, a oeste, e a zona de lagunas na costa do Atlântico a leste, entre as longitudes 50°27' e 51°12' W. Ao Norte faz limite com a bacia hidrográfica do rio dos Sinos e ao Sul com os banhados e arroios que escoam para a laguna dos Patos, entre as latitudes de 29°45' e 30°12' S (DNOS, 1985).

O clima é predominantemente mesotérmico e superúmido (cfa: subtropical, de acordo com a classificação de Köppen), caracterizado pela temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio entre 3°C e 18°C. A precipitação pluviométrica anual média é de aproximadamente 1400 mm, com chuvas distribuídas ao longo de todos os meses. As chuvas encontram-se mais concentradas no outono e inverno, sendo menos freqüentes e intensas no verão e primavera. Este regime pluviométrico, característico da região sul, influencia a vazão do rio Gravataí, determinando um período de cheia com altas vazões no inverno e níveis mais baixos no verão (DMAE 1992).

A bacia do rio Gravataí apresenta duas regiões com características de ocupação distintas: o trecho superior do rio, com intensa atividade agropecuária, e o trecho inferior do rio, com uso predominantemente urbano e industrial.



**Figura 1:** Localização da Bacia Hidrográfica do rio Gravataí, no estado do Rio Grande do Sul, e das seis estações de amostragem ao longo do rio Gravataí. E1=arroio Chico Lomã, município de Santo Antônio da Patrulha; E2= Fazenda Juca Barcelos, município de Glorinha; E3= Balneário Passo dos Negros, município de Gravataí; E4=Captação da base aérea, município de Porto Alegre/Canoas; E5=Arroio da Areia, município de Porto Alegre/Canoas; E6= Foz do rio Gravataí, município de Porto Alegre.

### Coleta das diatomáceas epilíticas

As diatomáceas epilíticas foram amostradas ao longo de dois ciclos sazonais, abrangendo o período de setembro de 2000 a agosto de 2002. As coletas foram realizadas com periodicidade trimestral, nos seguintes períodos e datas: primavera (08/11/2000); verão (15/02/01); outono (16/05/01); inverno (08/08/01); primavera (12/11/01); verão (07/02/02); outono (08/05/02); inverno (06/08/02). Foram realizadas amostragens em seis estações de amostragens ao longo do eixo longitudinal do rio, estabelecidas com base na facilidade de acesso e também na representatividade do gradiente de poluição. São localidades coincidentes com as estações de monitoramento previamente estabelecidas pelo

DMAEE, nas quais este órgão realiza medidas sistemáticas de variáveis físicas, químicas e biológicas. As amostragens de diatomáceas epilíticas foram realizadas simultaneamente ao monitoramento, compartilhando-se desta forma as informações sobre as variáveis ambientais. As diatomáceas epilíticas foram amostradas em substratos de pedras (seixo rolado) previamente colocados na sub-superfície do rio (profundidade de 20 cm), utilizando, como suporte, flutuadores de isopor, instalados em seis estações de amostragem localizadas ao longo do rio. Na colocação dos suportes e substratos, embora colocados próximo às margens foram evitados os locais sombreados. O tempo de exposição das pedras no rio foi de aproximadamente quatro semanas, conforme os procedimentos recomendados por Lobo & Buselato-Toniolli (1985) e as amostragens foram realizadas a cada três meses. As amostragens das diatomáceas epilíticas na estação 2 foram acidentalmente reduzidas pelo desaparecimento dos suportes contendo os substratos.

As coletas para análise quantitativa foram feitas por meio de raspagem das pedras, com uma escova de dente, correspondendo a uma área de 25 cm<sup>2</sup>. Em cada estação de amostragem, três pedras foram raspadas (75 cm<sup>2</sup>) e lavadas com água destilada formando uma amostra composta fixada com formaldeído 4%. Após este procedimento, a amostra composta foi homogeneizada, retirando-se uma alíquota de 40mL. O material foi oxidado com permanganato de potássio e ácido clorídrico concentrado. Uma alíquota (1mL) da amostra oxidada foi depositada e montada em lâmina permanente para posterior observação, utilizando-se a resina Naphrax®. Para a contagem das algas foram utilizados os procedimentos descritos por Kobayasi & Mayama (1982) e Lobo (1995a). Para cada amostra foram realizadas contagens em transecções, sendo contadas no mínimo 400 valvas, conforme a metodologia estabelecida por Bate & Newall (1998). Os resultados foram expressos em número de ind/cm<sup>2</sup>.

Para a identificação dos táxons ao nível específico e infra-específico, as diatomáceas epilíticas foram observadas e fotografadas em microscópio ótico binocular, com aumento de 1000 vezes. As amostras do material quantitativo e qualitativo foram registradas sob os números de HAS de 103699 a 103813 e estão depositadas no Herbário Prof. Dr. Alarich R. H. Schultz (HAS), do Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (MCN/FZB). Na identificação das diatomáceas foram utilizadas as seguintes obras taxonômicas: Patrick & Reimer (1966, 1975), Germain (1981), Krammer (1992),

Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, 1991b), Lange-Bertalot (1979, 2001) e Lobo *et. al.* (2002).

Para a determinação das espécies dominantes e abundantes foi seguido o critério de Lobo & Leighton (1986), sendo consideradas dominantes as espécies cujas densidades atingiram valores acima de 50% da densidade total da amostra e espécies abundantes aquelas cujas densidades superaram a densidade média das diferentes espécies em cada amostra.

### **Variáveis ambientais**

Os dados climatológicos foram obtidos junto ao Instituto de Pesquisas Agronômicas do Rio Grande do Sul (IPAGRO), oriundos da estação meteorológica localizada próximo à estação 4 (29°57'16" S e 51°07'36" W), no rio Gravataí.

Os dados físicos e químicos e microbiológicos foram obtidos na Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM) e no Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE), os quais, através do projeto Pró-Guaíba, vêm realizando o monitoramento mensal da qualidade da água deste rio. Simultaneamente às coletas de algas foram realizadas medições das variáveis temperatura da água e do ar, condutividade, turbidez, pH, concentração de oxigênio dissolvido (OD), e coletadas amostras de água para medidas laboratoriais das variáveis demanda bioquímica de oxigênio após 5 dias (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxigênio (DQO), concentrações de amônio, nitrogênio orgânico total, ortofosfato dissolvido, fosfato total e cloretos e o número de coliformes.

### **Análises dos dados**

A diversidade da taxocenose de diatomáceas epilíticas foi avaliada utilizando-se o índice de diversidade específica de Shannon-Wiener (H'), expressos em nat/ind (Smith,1993), índice de uniformidade (Pielou,1966) e pela análise de curvas de abundância e dominância das espécies.

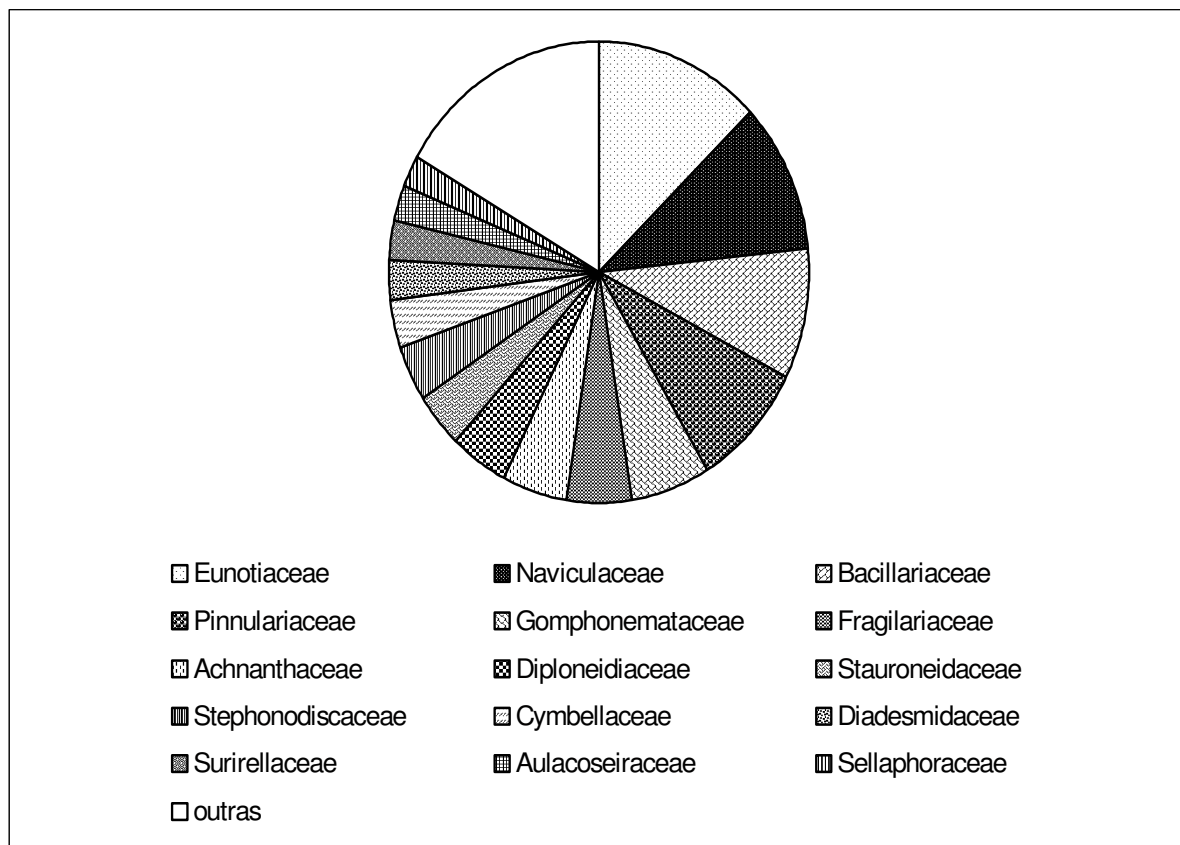


## RESULTADOS

A diatomáceas epilíticas que se desenvolveu sobre substratos artificiais flutuantes no rio Gravataí foi representada, durante o período de estudo, por um total de 169 táxons em nível específico e infra-específico distribuídos em 25 famílias e 43 gêneros, os quais são relacionados na Tabela 4, juntamente com os dados quantitativos de ocorrência nas seis estações de amostragem ao longo do rio.

As famílias com maior riqueza de espécies foram, Eunotiaceae e Naviculaceae, com 22 e 20 táxons, respectivamente, seguidas de Bacillariaceae, com 18, e Pinnulariaceae, com 16 táxons.

A representatividade das famílias (Figura 2) em riqueza de táxons, foi a seguinte: Eunotiaceae (13,6%); Naviculaceae (11,24%); Bacillariaceae (10%); Pinnulariaceae (9,46%); Gomphonemataceae (6,50%); Fragilariaceae e Achnanthaceae (5,32%); Diploneidaceae (4,73%); Stauroneidaceae e Stephanodiscaceae (4,14%); Cymbellaceae (3,55%); Diadesmidaceae, Surirellaceae e Aulacoseiraceae (2,95%); Sellaphoraceae (2,36%); Amphipleuraceae e Rhopalodiaceae (1,77%); Cocconeidaceae, Neidiaceae, Pleurosigmaaceae e Catenulaceae (1,18%) e Brachysiraceae, Mastogloiaaceae, Thalassiosirophyceae e Coscinodiscaceae com 0,59%.



**Figura 2:** Percentual de ocorrência das famílias de diatomáceas mais representativas no período de setembro de 2000 a agosto de 2002 ao longo das seis estações de amostragem no rio Gravataí, RS.

### Diversidade de Espécies

A diversidade de espécies de diatomáceas epilíticas no rio Gravataí variou espacial e temporalmente no período estudado, como evidenciam os valores contidos na Tabela 1.

Os valores do índice variaram de um mínimo de 0,75, obtido para a estação 2, no inverno de 2002, a um valor máximo de 3,06, na estação 1, no verão de 2001.

Não se observou a existência de um gradiente espacial em relação à diversidade de espécies, verificando-se a ocorrência de valores altos e baixos em todas as localidades amostradas.

Observou-se no entanto, variações na diversidade em função da sazonalidade. Os índices de diversidade foram mais elevados nos períodos de primavera e verão e mais baixos no outono e no inverno, no trecho superior-médio do rio Gravataí, onde estão

localizadas as estações 1, 2 e 3. Os aumentos ou decréscimos nos valores dos índices de diversidade estiveram, respectivamente, associados a aumentos ou decréscimos em ambos componentes da diversidade, a uniformidade e a riqueza, como se observa nas Tabelas 1 a 3.

A variação sazonal na diversidade foi mais nítida na porção superior-média do rio (estações 1, 2 e 3), enquanto na porção inferior do rio, representado pelas estações 4, 5 e 6, as variações na diversidade foram irregulares e aparentemente não associadas à sazonalidade.

Nos períodos em que uma menor diversidade foi registrada, como por exemplo na estação 1, no outono (1,62 nat/ind) e no inverno (1,11 nat/ind) de 2002, observou-se uma queda na uniformidade devido à dominância das espécies *Sellaphora seminulum* (44,1%) e *Cocconeis placentula* (28,3%) e da espécie *Gomphonema parvulum* (62,8%) no inverno. Da mesma forma, na estação 2, a mais baixa diversidade foi constatada no inverno de 2002 (0,75 nat/ind) quando houve forte dominância de *Gomphonema parvulum* (79,7%), sendo que *Eunotia pectinalis* com 13,3%, foi também relativamente abundante.

Na estação 3, as diversidades mais baixas foram identificadas no outono (1,37 nat/ind) e inverno (1,37 nat/ind) de 2001 e no inverno (1,59 nat/ind) de 2002. No outono de 2001 houve dominância da espécie *Sellaphora seminulum* (59,7%) e no inverno deste mesmo ano predominaram *Eunotia pectinalis* (25,9%) e *Gomphonema parvulum* (31,61%). Por outro lado, no inverno de 2002, *Gomphonema parvulum* foi a espécie predominante, com 63,3%.

Na estação 4, a diversidade mais baixa ocorreu no verão (1,45 nat/ind) e outono (2,01 nat/ind) de 2002 pode ser atribuída à dominância das espécies *Sellaphora seminulum* (40,5%) e *Nitzschia palea* (57,1%), respectivamente.

Na estação 5, a diversidade mais baixa no verão e no outono de 2002 foi decorrente da dominância das espécies *Nitzschia palea* (73,9% e 68,3%, respectivamente), enquanto na estação 6 a diversidade foi mais baixa no outono de 2001 e 2002, em virtude da forte dominância das espécies *Sellaphora seminulum*, com 61,5%, e *Nitzschia palea*, com 70,7%, naqueles períodos.

**Tabela 1:** Valores do Índice de diversidade de Shannon-Wiener nas seis estações de amostragem do rio Gravataí, RS, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002.

	Estação 1	Estação 2	Estação 3	Estação 4	Estação 5	Estação 6
Primavera/2000			2,76	2,22	1,77	2,14
Verão/2001	3,06		2,75	2,63	2,12	2,18
Outono/2001	2,09	1,62	1,37	2,94	2,83	1,72
Inverno/2001	2,01		1,37	2,61	2,55	2,97
Primavera/2001	2,72				2,20	2,05
Verão/2002	2,66		2,19	1,45	0,82	1,73
Outono/2002	1,62	2,35	2,65	2,01	1,54	1,41
Inverno/2002	1,11	0,75	1,59	2,74	2,76	2,17

**Tabela 2:** Valores do Índice de uniformidade obtidos nas seis estações de amostragem do rio Gravataí, RS, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002.

	Estação 1	Estação 2	Estação 3	Estação 4	Estação 5	Estação 6
Primavera/2000			0,70	0,62	0,5	0,58
Verão/2001	0,81		0,74	0,69	0,56	0,58
Outono/2001	0,59	0,52	0,48	0,75	0,74	0,49
Inverno/2001	0,58		0,63	0,7	0,68	0,78
Primavera/2001	0,72				0,62	0,57
Verão/2002	0,74		0,58	0,53	0,28	0,57
Outono/2002	0,53	0,67	0,72	0,52	0,42	0,4
Inverno/2002	0,45	0,3	0,51	0,75	0,77	0,58

**Tabela 3:** Valores da riqueza de taxons de diatomáceas epilíticas nas seis estações de amostragem do rio Gravataí, RS, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002.

	Estação 1	Estação 2	Estação 3	Estação 4	Estação 5	Estação 6
Primavera/2000			54	38	35	43
Verão/2001	48		44	48	45	45
Outono/2001	34	23	18	54	49	35
Inverno/2001	33		21	44	43	48
Primavera/2001	46				36	37
Verão/2002	38		49	16	20	22
Outono/2002	22	35	43	49	39	35
Inverno/2002	12	12	23	41	39	44

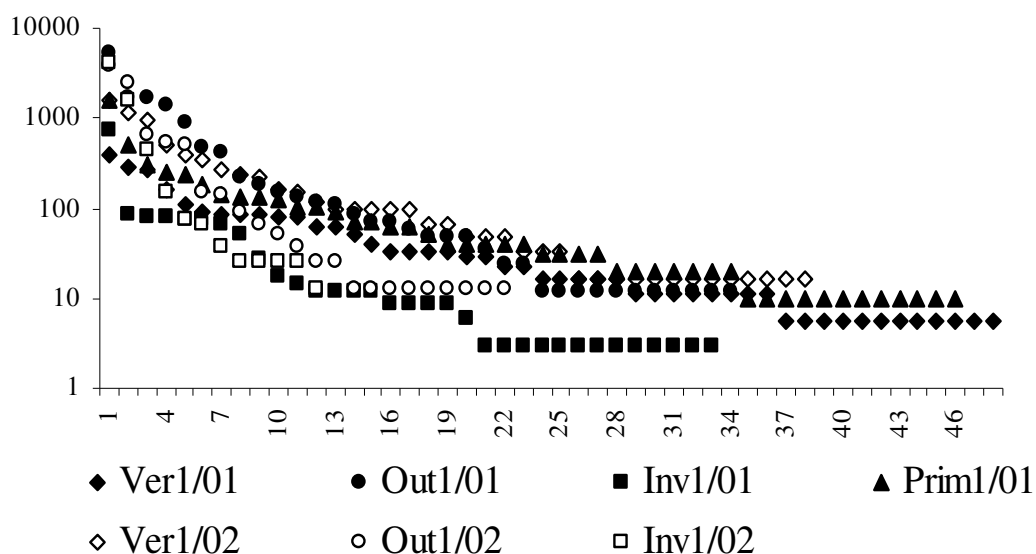
As variações espaciais e temporais na estrutura das diatomáceas epilíticas decorrentes das mudanças nas relações de dominância interespecíficas são apresentadas nas Figuras 3 a 8, as quais representam as curvas do componente dominância da diversidade, para as seis localidades amostradas no rio Gravataí, em diferentes estações do ano, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002.

Observa-se que em todas as localidades as diatomáceas contiveram elevada riqueza de espécies em 2 ou 3 dos períodos amostrados, ocorrendo, no entanto, pronunciada

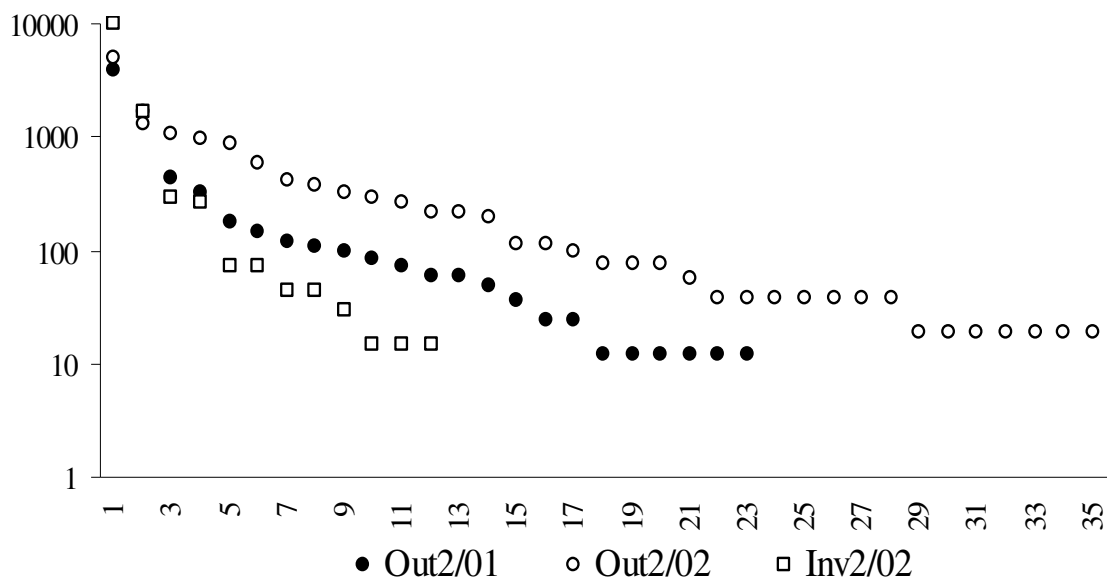
variação sazonal tanto na riqueza quanto na uniformidade, esta última representada pela elevação das curvas.

Na maior parte dos períodos amostrados as comunidades estiveram formadas por um pequeno número de espécies dominantes e por elevado número de espécies abundantes, ou raras.

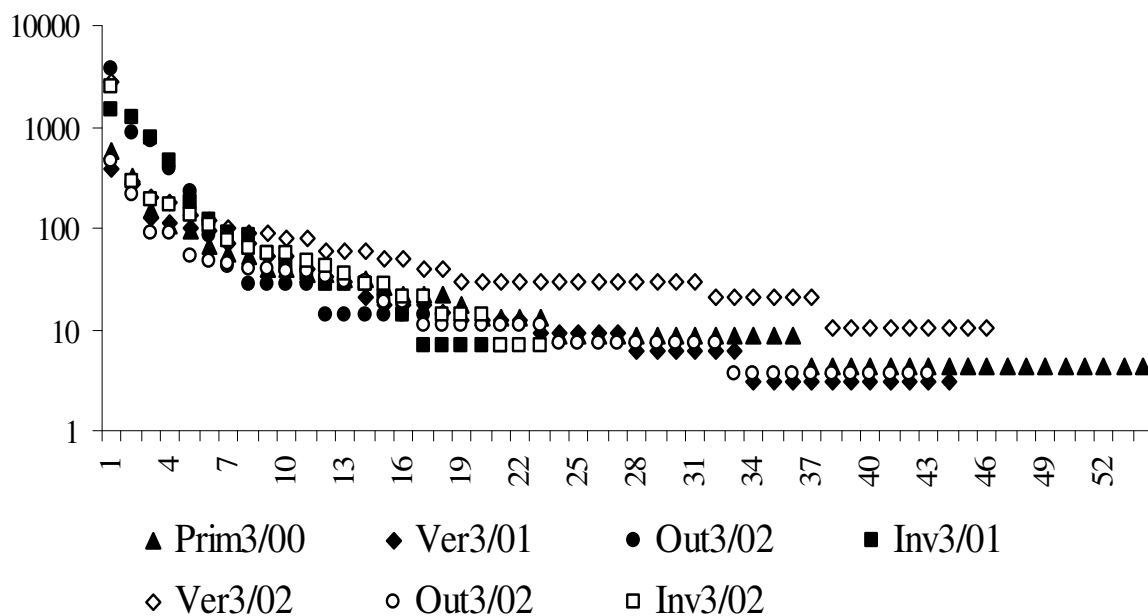
Ao longo do rio, da estação 1 até a 6, observa-se uma diminuição geral na elevação das curvas e uma redução na variabilidade sazonal no componente dominância da diversidade, evidenciada pelo abaixamento e compactação das curvas nas estações 5 e 6, localidades mais próximas à foz.



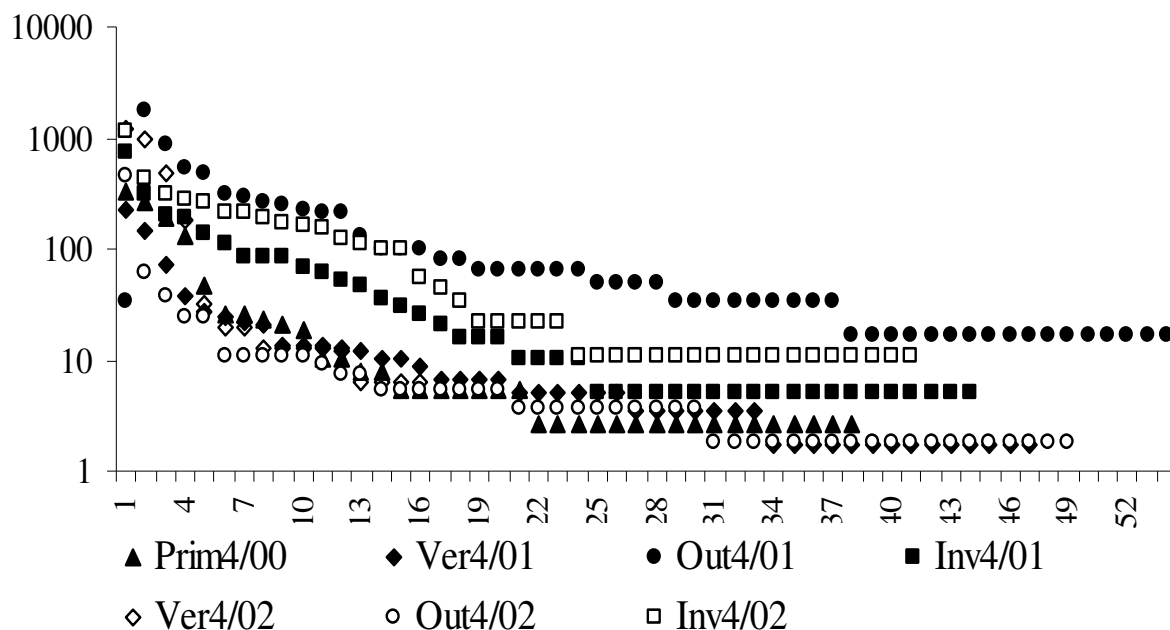
**Figura 3:** Curvas do componente dominância da diversidade de diatomáceas na estação 1 do rio Gravataí (arroyo Chico Lomã, Município de Santo Antônio da Patrulha, RS), em diferentes estações do ano, para o período de setembro de 2000 a agosto de 2002.



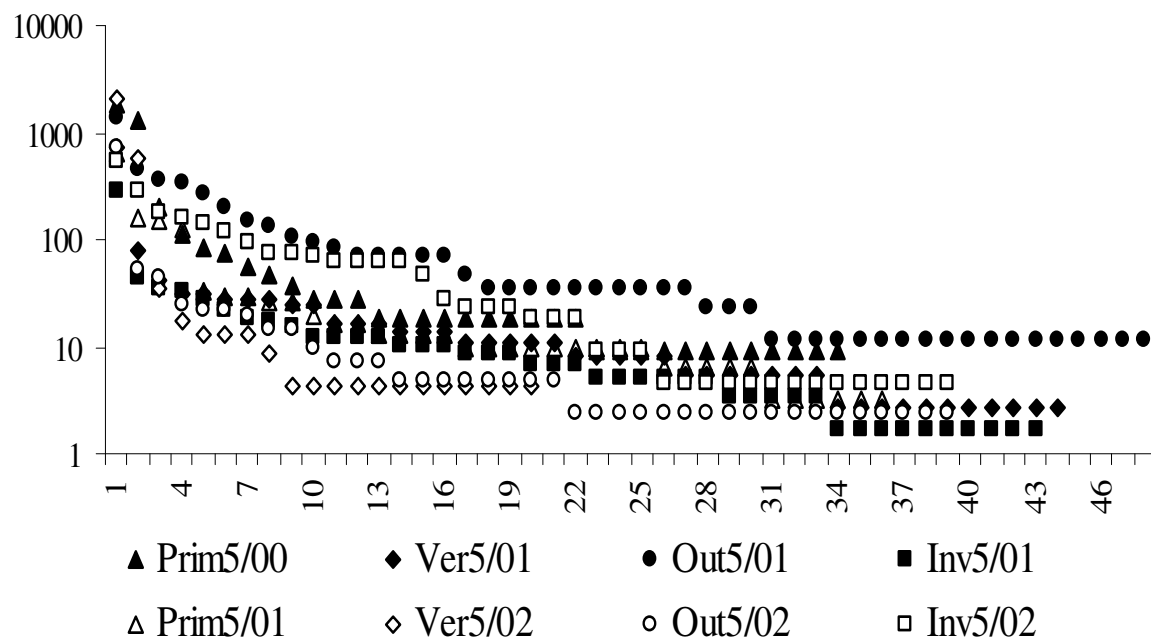
**Figura 4:** Curvas do componente dominância da diversidade de diatomáceas na estação 2 do rio Gravataí (fazenda Juca Barcellos, Município de Glorinha, RS), em diferentes estações do ano, para o período de setembro de 2000 a agosto de 2002.



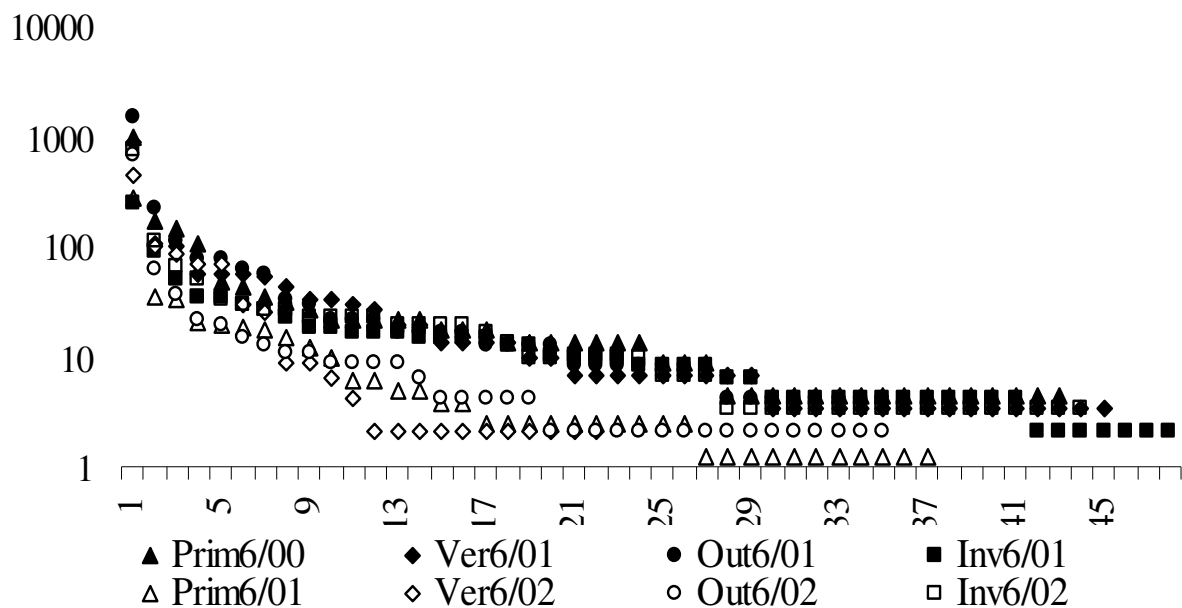
**Figura 5:** Curvas do componente dominância da diversidade de diatomáceas na estação 3 do rio Gravataí (balneário Passo dos Negros, Município de Gravataí, RS), em diferentes estações do ano, para o período de setembro de 2000 a agosto de 2002.



**Figura 6:** Curvas do componente dominância da diversidade de diatomáceas na estação 4 do rio Gravataí (captação da Base Aérea, Município de Porto Alegre, RS), em diferentes estações do ano, para o período de setembro de 2000 a agosto de 2002.



**Figura 7:** Curvas do componente dominância da diversidade de diatomáceas na estação 5 do rio Gravataí (Arroio da Areia, Município de Porto Alegre/Canoas, RS), em diferentes estações do ano, para o período de setembro de 2000 a agosto de 2002.



**Figura 8:** Curvas do componente dominância da diversidade de diatomáceas na estação 6 do rio Gravataí (Foz do rio Gravataí, Município de Porto Alegre/Canoas, RS), em diferentes estações do ano, para o período de setembro de 2000 a agosto de 2002.



**Tabela 4:** Comparação taxonômica e valores médios de densidade (ind/cm<sup>2</sup>) e desvio padrão (s) para as espécies, ocorrência e distribuição das famílias de e espécies de diatomáceas epilíticas no rio Gravataí, RS, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002.

Táxons	Estação 1		Estação 2		Estação 3		Estação 4		Estação 5		Estação 6	
	média	s	média	s	média	s	média	s	média	s	média	s
Divisão: <b>HETEROKONTOPHYTA</b>												
Classe: <b>BACILLARIOPHYCEAE</b>												
Sub-classe: <b>BACILLARIOPHYCEAE</b>												
<b>Ordem: Achnanthales</b>												
<b>Família: Achnanthaceae</b>												
<i>Achnanthes coarctata</i> (Brébisson) Grunow					3						2	
<i>A. exigua</i> Krasske	20						10	10,7	4	1,3	9	6,8
<i>A. exigua</i> var. <i>heterovalva</i> Krasske					11		13		12			
<i>A. hungarica</i> (Grunow) Grunow	18	12,5			23	20,5	27	40,7	10	7,8	7	3,7
<i>A. impexa</i> Lange-Bertalot	70	62,2			162	159,7			4	1,5	9	10,7
<i>A. inflata</i> (Kützing) Grunow	6						11					
<i>A. lanceolata</i> var. <i>rostrata</i> Hustedt	119	211,2			25	7,4			4		2	0,6
<i>Achnanthes</i> sp	258	357,4			51	36,2	19	20,5	19	7,8	16	26,0
<i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	489	699,0	103	82,7	82	83,1	20	12,2	12	8,2	9	8,8
<b>Família: Cocconeidaceae</b>												
<b>Gênero: Cocconeis</b>												
<i>Cocconeis disculus</i> Schumann									12			
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	845	1435,5			9	2,1	11	8,5			6	
<b>Ordem: Cymbellales</b>												
<b>Família: Cymbellaceae</b>												
<i>Cymbella amphicephala</i> Naegeli							5					
<i>C. turgida</i> Gregory	51	33,6	87	25,4	151	282,7	50	41,0	17	21,1	10	5,1
<i>C. naviculiformis</i> (Auerswald) Cleve											1	
<i>C. microcephala</i> Grunow in Van Heurck	13	0,7										
<i>Encyonema perpusillum</i> (A. Cleve) D.G. Mann							18	21,2				

## Continuação da Tabela 4...

Táxons	média	s	média	s	média	s	média	s	média	s	média	s
<i>E. minutum</i> (Hilse in Rabenhorst) D.G. Mann comb. nov.	63	34,8	43	31,5	57	48,6	97	118,2	59	57,6	10	9,2
<b>Família: Gomphonemataceae</b>												
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst					83		2		3			
<i>G. augur</i> Ehrenberg	5	2,2	39		7	0,7	13	12,8	14	10,6	13	
<i>G. augur</i> Ehrenberg var. <i>turris</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot	13		19				9	6,5	6			
<i>G. clevei</i> Frickei					158	257,6	3				4	
<i>G. clavatum</i> Ehrenberg	10								16		1	
<i>G. demerarae</i> (Grunow) Frenguelli							11					
<i>G. gracile</i> Ehrenberg	127	78,8	330	70,3	51	66,1	64	89,1	46	48,3	17	10,8
<i>G. lanceolatum</i> Agardh							4		2			
<i>G. parvulum</i> (Kützing) Kützing	993	1425,2	6323	3162,3	762	901,2	219	138,4	257	447,0	55	52,0
<i>G. pseudoaugur</i> Lange-Bertalot							5					
<i>Gomphonema</i> sp.	9				62				2			
<b>Ordem: Naviculales</b>												
<b>Família: Diadesmidaceae</b>												
<i>Diadesmis confervaceae</i> Kützing	25	13,2	32	10,6	20	16,8	19	26,4	18	17,9	9	7,5
<i>Diadesmis contenta</i> (Grunow) D.G. Mann	20	15,3	19		18	10,0	11	8,4	19	10,9	13	9,9
<i>Luticula goeppertiana</i> (Bleisch in Rabenhorst) D.G. Mann	10	9,9			13				9	3,0	52	45,0
<i>Luticula mutica</i> (Kützing) D.G. Mann					8	4,2	21	22,9	24	23,7	24	20,2
<i>Luticula mutica</i> (Kütz.) D.G. Mann var. <i>ventricosa</i> (Kütz.) Cl. & Grun.	20											
<b>Família: Amphipleuraceae</b>												
<i>Amphipleura lindeimeri</i> Grunow	20											
<i>Frustulia saxonica</i> Rabenhorst	113	88,6	463	569,9	89	6,1	119	202,5	24	23,3	16	10,1
<i>F. crassinervia</i> (Brébisson in W. Smith) Lange-Bertalot & Krammer	94	67,5	361	307,6	51	42,9	146	204,7	19	26,1	9	7,4

## Continuação da Tabela 4...

Táxons	média	s	média	s	média	s	média	s	média	s	média	s
<b>Família: Brachysiraceae</b>												
<i>Brachysira vitrea</i> (Grunow) Ross in Hartley	1139		327		8	5,3	22	16,3	2		2	0,6
<b>Família: Neidiaceae</b>												
<i>Neidium affine</i> (Ehremberg) Pfitzer	10		16	5,0	7	2,9	3	1,7	6	0,7	4	
<i>Neidium</i> sp					9				2			
<b>Sub-ordem: Sellaphorineae</b>												
<b>Família: Sellaphoraceae</b>												
<i>Sellaphora bacillum</i> (Ehremberg) D.G. Mann	11	5,9	12		9	2,9	50		6	4,7	5	5,4
<i>S. laevis</i> (Kützing) D.G. Mann	9	4,2			18		5	0,7	7		4	0,7
<i>S. pupula</i> (Kützing) Mereschkowsky	39	26,7			44	59,1	96	177,4	112	191,7	32	32,6
<i>S. seminulum</i> (Grunow) D.G. Mann	1450	2206,5	483	460,9	1080	1501,4	293	421,9	132	148,4	238	509,2
<b>Família: Pinnulariaceae</b>												
<i>Pinnularia acrosphaeria</i> (Brébisson) Wm. Smith	10				6	4,2	16	17,2	14	11,7	7	4,2
<i>P. acuminata</i> W. Smith	17											
<i>P. angusta</i> (Cleve) Krammer							11					
<i>P. borealis</i> Ehremberg											3	
<i>P. borealis</i> Ehremberg var. <i>rectangularis</i> Carlson	10				7	3,8			3			
<i>P. braunii</i> (Grunow) Cleve	62	63,1			11	10,0	22	30,5	20	9,6	13	10,5
<i>P. divergens</i> W. Smith					31				12			
<i>P. divergentissima</i> (Grunow) Cleve	33				24	8,5	72	85,6	10	7,2	2	
<i>P. gibba</i> Ehremberg					7				36		6	5,7
<i>P. hemiptera</i> (Kützing) Rabenhorst	6											
<i>P. maior</i> (Kützing) Rabenhorst					4		5		3			
<i>P. microstauron</i> (Ehremberg) Cleve	46	57,8	39		32	24,0	42	43,4	52	49,7	34	30,2
<i>P. subcapitata</i> Gregory	6						33		3			
<i>P. subboyeri</i> Krammer & Metzeltin nov. spec.							17					
<i>P. viridis</i> (nitzsch) Ehremberg					4		17					

## Continuação da Tabela 4 ...

Táxons	média	s	média	s	média	s	média	s	média	s	média	s
<i>Pinnularia</i> sp	13	3,6			10		3	0,7	3		7	
<b>Sub-ordem: Diploneidinea</b>												
<b>Família: Diploneidaceae</b>												
<i>Diploneis elliptica</i> (Kützing) Cleve									3			
<i>D. interrupta</i> (Kützing) Cleve											3	
<i>D. ovalis</i> (Hilse) Cleve	13						2				2	
<i>D. puella</i> (Schumann) Cleve									12			
<i>D. smithii</i> (Brébisson) Cleve	8	4,7	270		18	11,0	13	13,5	21	26,3	4	2,5
<i>D. smithii</i> var. <i>dilatata</i> (Peragallo) Terry							3					
<b>Sub-ordem: Naviculinea</b>												
<b>Família: Naviculaceae</b>												
<i>Eolimna minima</i> Grunow	253	259,3	130	116,0	30	13,0	17	11,0	8	5,5	22	35,2
<i>E. subminuscula</i> Manguin	61				36	25,4	9	6,7	10	9,1	45	37,2
<i>Geissleria aikenensis</i> Patrick	12				4		5	0,6	3		2	0,7
<i>Hipodonta capitata</i> (Ehremberg) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski	8	4,7	19				3		2			
<i>Mayamaea atomus</i> (Kützing) Lange-Bertalot					91		13				19	14,1
<i>Navicula anglica</i> Ralfs	17				21				15	13,4	2	1,4
<i>N. cari</i> Ehremberg					4		11					
<i>N. cari</i> Ehremberg var. <i>cincta</i> (Eremberg) Lange-Bertalot	14	14,9							10	12,2	4	2,3
<i>N. coarctata</i>					18	12,0	8	7,0				
<i>N. cohnii</i> (Hilse) Lange-Bertalot	3				6		5		10	4,7	4	
<i>N. cryptocephala</i> Kützing	168	175,9			47	31,3	94	93,8	44	44,8	29	34,0
<i>N. cryptotenella</i> Lange-Bertalot	101	64,3	38	22,5	51	47,7	35	30,8	20	28,8	32	48,0
<i>N. mediocris</i> Krasske	50						17				4	
<i>N. minutissima</i> Grunow	11		39				3					
<i>N. radiosa</i> Kützing	82	69,3	39				8	7,8			2	

Continuação da Tabela 4 ...													
Táxons	média	s	média	s	média	s	média	s	média	s	média	s	
<i>N. rostellata</i> Kützing	58	43,6			20	16,2	17	17,5	9	6,1	8	5,2	
<i>N. saxophila</i> Bock					4		2						
<i>Navicula schadei</i>					30								
<i>Navicula</i> sp									14				
<i>Placoneis gastrum</i>	27	19,1	77		4		3	1,4	8	3,5	9		
<b>Família: Pleurosigmataceae</b>													
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst	12												
<i>Gyrosigma obscurum</i> (Wm. Smith) Griffith & Henfrey	12												
<b>Família: Stauroneidaceae</b>													
<i>Craticula cuspidata</i> (Kützing) D.G. Mann in Round					30		2					1	
<i>Craticula halophila</i> (Grunow) D.G. Mann in Round	40	28,3			20		7	3,5	11	8,1	7	6,4	
<i>Stauroneis anceps</i> Ehrenberg	6												
<i>Stauroneis brasiliensis</i> (Zimmermann) Compère	12	7,8			12	8,0	2		12		2		
<i>S. phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehrenberg	6				3								
<i>S. smithii</i> Grunow												4	
<b>Ordem: Thalassiophysales</b>													
<b>Família: Catenulaceae</b>													
<i>Amphora montana</i> Krasse					14		6	3,8	12	11,6	7	6,5	
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing							3						
<b>Ordem: Bacillariales</b>													
<b>Família: Bacillariaceae</b>													
<i>Hantzschia amphyoxyis</i> (Ehrenberg) Grunow	30	19,4	39		21	20,5	18	19,5	8	1,0	10	7,7	
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) Wm. Smith												4	
<i>N. amphibia</i> Grunow	78	38,0	12		11	0,7	15	20,0	11	14,1	7	5,1	
<i>N. clausii</i> Hantzsch	175	195,5	1469	280,0	59	48,2	89	106,4	40	66,0	19	15,2	
<i>N. graciliformis</i> Lange-Bertalot & Simonsen							33						





## Continuação da Tabela 4...

Classe: **Coscinodiscophyceae**Sub-classe: **Thalassiosirophycidae**Ordem: **Thalassiosirales***Thalassiosira eccentrica* (Ehremberg) Cleve

10 7,6 5 6 3,5

Família: **Stephonodiscaceae***Cyclotella bodanica* Grunow

9 11 14,9 19 13,4 3 1,0

*C. gamma* Skvortzow

5

*C. meneghiniana* Kützing

44 35,5 19 13 12,3 27 40,5 28 30,1 16 16,4

*C. stelligera* Cleve & Grunow

9 5 6 4,4 3 0,8

*C. stylorum* Brightwell

10

*Cyclotella* sp

5 3 2 1,4

*Cyclotella* sp<sub>1</sub>

2

Sub-classe: **Coscinodiscophycidae**Ordem: **Aulacoseirales**Família: **Aulacoseiraceae***Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen

14 5,0 3 2 4 4 0,0

*A. distans* (Ehremberg) Simonsen

14 5,0 13 6,4 2 12 11,3

*A. granulata* (Ehremberg) Simonsen

2 4,2 4 8 8,1 9 7,6 6 5,5

*A. granulata* (Ehr.) Sim. var. *angustissima* (O. Müller) Simon.

9 3 1,4

*A. varians* C. A. Agardh

22

Ordem: **Coscinodiscales**Família: **Coscinodiscaceae***Coscinodiscus excentricus*

4 19 24,0 3

Classe: **Fragilariophyceae**Sub-classe: **Fragilariophycidae**Ordem: **Fragilariales**



## Continuação da Tabela 4...

Família: <b>Fragilariaceae</b>												
<i>Asterionella formosa</i> Hassal							2		9		5	1,7
<i>Fragilaria brevistriata</i> Grunow									4			
<i>F. capucina</i> Desmazières var. <i>vaucheriae</i> (Kützing) Lange-Bertalot	3				17	19,1	18	21,2			2	
<i>F. intermedia</i> Grunow							17					
<i>F. javanica</i> Hustedt					4							
<i>F. pinnata</i> Ehremberg					60				5		1	
<i>Synedra acus</i> Kützing	50	22,6	22	3,5	12				26	29,0	34	
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Ehremberg	17				4		291	395,2	319	54,5	17	12,7

## DISCUSSÃO

Os produtores primários em riachos, córregos e rios estão representados por diferentes comunidades, tais como o fitoplâncton, o perifíton e o fitobentos. Cada uma delas é bastante diversificada, sendo constituída por diferentes grupos de algas, tanto em relação à composição taxonômica quanto em relação aos habitats, ou substratos, onde se desenvolvem. Devido ao fluxo constante da água e ao arraste de células rio abaixo, muitas algas se desenvolvem presas aos substratos. Dentre as algas que crescem nos substratos rochosos, as diatomáceas tem participação relevante seja em relação à riqueza de espécies seja em relação à abundância numérica das populações (Wetzel, 1983; Margalef, 1983).

Os resultados obtidos no presente estudo evidenciaram que as diatomáceas epilíticas associadas aos substratos rochosos no rio Gravataí constituem uma taxocenose bastante rica em espécies. Os 169 táxons, na maioria em nível de espécie, registrados ao longo de dois ciclos sazonais, revela uma grande riqueza de espécies quando comparadas as diatomáceas registrado, por Lobo & Torgan (1988) no Sistema Guaíba com 114 taxons; por Lobo & Costa (1997) no Rio Pardinho, Sinimbu, RS, com 93 taxons e por Rodrigues & Lobo (2000) e no arroio Sampaio, Mato Leitão, RS, com 73 táxons. Em alguns sistemas as diatomáceas epilíticas são particularmente ricas em espécies, como o rio Monjolinho, no Município de São Carlos, SP, no qual Souza (2002) identificou 225 taxons.

As famílias que mais contribuíram para a riqueza de espécies de diatomáceas epilíticas (Eunotiaceae, Naviculaceae, Bacillariaceae e Pinnulariaceae) pertencem à ordem das Pennales. Este padrão é usualmente encontrado nas comunidades de algas epilíticas, em diferentes localidades, como observado por Casterlin & Reynolds (1977) em regiões temperadas e por Chamixaes (1991) e Souza (2002) em regiões tropicais. As diatomáceas Pennales possuem melhor adaptação morfológica para aderir ao substrato. Muitas espécies têm estruturas especializadas para fixação ao substrato, tais como curtos pedúnculos mucilaginosos como na espécie de *Gomphonema*, produção de matrizes mucilaginosas como nas espécies dos gêneros *Cymbella*, *Frustulia* e *Navicula* e colônias ramificadas fixadas na base, como *Eunotia* e *Fragilaria* (Round, 1991).

A análise da diversidade é importante no entendimento da estrutura e organização das comunidades, pois reflete as respostas integradas das diferentes espécies ao ambiente como um todo, incluindo tanto os fatores abióticos quanto interações bióticas. No entanto, por ser uma resposta específica e populacional que envolve a interação de muitos fatores, as variações na diversidade não permitem muitas vezes uma associação direta com os gradientes dos fatores ambientais.

No rio Gravataí a diversidade da diatomáceas epilíticas pode ser considerada elevada, tendo em vista que atingiu valores próximos a 3,0 e que os valores máximos já registrados para o índice de Shannon-Wiener em comunidades algais foram de aproximadamente 4,5 (Margalef, 1983).

Neste estudo as variações sazonais na diversidade das algas epilíticas foram mais marcadas na porção superior do rio Gravataí, seguindo um padrão sazonal definido, mas irregulares na porção inferior. Os resultados indicaram maior riqueza de espécies, maior uniformidade e conseqüentemente maior diversidade nos períodos de primavera e verão. Estas estações do ano parecem, portanto, apresentar condições mais favoráveis ao desenvolvimento das diatomáceas epilíticas. Nestes períodos do ano as precipitações são menores, a vazão diminui e há elevada disponibilidade de nutrientes, o que deve favorecer o crescimento das diatomáceas epilíticas (Salomoni *et al.*, b, neste volume).

Considerando-se que o rio Gravataí encontra-se altamente eutrofizado na porção inferior, a influência das variações climáticas é, provavelmente, suplantada ou contrabalançada pelo efeito da eutrofização. O trecho inferior do rio Gravataí é um ambiente seletivo, propiciando condições para a dominância, como evidenciado pela abundância relativa de algumas espécies e a diminuição do índice de uniformidade. Segundo Hellawell (1986), quando se tem uma alteração significativa no ambiente, como a eutrofização, geralmente ocorre o desaparecimento das espécies sensíveis, diminuindo a competição interespecífica. Permanecem no ambiente as espécies mais tolerantes, as quais tornam-se abundantes e/ou dominantes no local. Magurran (1988) aponta que o efeito negativo da poluição geralmente faz com que ocorra uma redução na diversidade de espécies das comunidades e que, as medidas de diversidade poderiam ser utilizadas como indicadores das alterações ambientais. Outros autores evidenciam que os índices de diversidade não são a ferramenta mais adequada para a avaliação da qualidade da água, considerando-se que fatores internos à comunidade, como a

competição, são importantes na determinação das variações na diversidade (Lobo & Kobayasi, 1990). Os índices de diversidade e de seus componentes básicos (a riqueza de espécies e a uniformidade) são no entanto, bastante úteis para o entendimento das mudanças na estrutura das comunidades, como observado para as diatomáceas epilíticas do rio Gravataí.

Muitas das espécies de diatomáceas epilíticas, numericamente dominantes no rio Gravataí são espécies de ampla distribuição geográfica, ocorrendo em elevada frequência em muitos corpos de água tanto em regiões temperadas como tropicais. Entre as espécies mais abundantes encontradas por Raabe apud Margalef (1983), na província de Holstein, Alemanha, em que foram registradas 280 espécies, aparecem entre as 10 mais frequentes, *Cocconeis placentula*, *Nitzschia palea*, *Navicula cryptocephala*, *Gomphonema parvulum* e *Ulnaria ulna*, espécies frequentes ou dominantes no rio Gravataí.. Também Rott *et. al.* (1998) ressaltam que *Nitzschia palea*, *Navicula atomus*, *Achnantheidium minutissimum*, *Navicula cryptocephala* e *Ulnaria ulna* são espécies euritróficas com ampla distribuição e geralmente dominantes em ambientes eutróficos. As investigações ecológicas sobre as espécies e suas relações sobre as condições dos ambientes em que dominam podem ser úteis para o entendimento do funcionamento dos ecossistemas e de seus estados de conservação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATE, N.; NEWALL, P. Techniques for the use of diatoms in water quality assessment: how many valves? In: DIATOM SYMPOSIUM 15<sup>th</sup> p. 153-160. 1998.

CASTERLIN, M. E.; REYNOLDS, W.W. Seasonal algal succession and cultural eutrophication in a north temperate lake. *Hidrobiologia*, v.54, n.2, p. 99-108, 1977.

CHAMIXAES, C.B.C.B. *Variação temporal da biomassa, composição de espécies e produtividade das algas perifíticas relacionados com as condições ambientais de pequenos rios da bacia hidrográfica do Ribeirão do Lobo (Itirapina- SP).*

Tese (Doutorado em Engenharia e Saneamento) Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, 333p. 1991.

DNOS. *Planejamento Integrado dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gravataí*. Projeto de cooperação técnica Brasil - Alemanha. Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas. 3 vol. II. 1985.

FUNDAÇÃO ZOOBOTÂNICA DO RIO GRANDE DO SUL: Preceituação ecológica para preservação dos recursos naturais da região da Grande Porto Alegre. Porto Alegre, Sulina. 1976. 153 p. il.

GERMAIN, H. *Flore des diatomées eaux douces et saumâtres*. Paris: Boubée. 1981. 444 p.

HANSSON, L.A. Effects of competitive interactions on the biomass developments of planktonic and periphytic algae in lakes. *Limnol. Oceanogr.* V. 33, n.1, p.121-128. 1988.

KOBAYASI, H.; MAYAMA, S. Most pollution tolerant diatoms of severely polluted rivers in the vicinity of Tokyo. *Japanese Journal of Phycology*, Tokyo v. 30, p.188-196, 1982.

HELLAWELL, J.M. *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. New York: Elsevier, 1986. 546p.

HOEK, C. *et al. Algae: an introduction to phycology*. 2 ed. Cambridge University Press. 2 ed. 627p. 1995.

KRAMMER K. & LANGE-BERTALOT H. *Bacillariophyceae: Naviculaceae*, In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. eds Ettl H., Gerloff I., Heyning H., Mollenhauer D., v.2, n.1 (1): 876 p. Stuttgart, G. Fischer. 1986.

KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. *Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Ephithemiaceae, Surirellaceae*. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Eds Ettl H., Gerloff I., Heyning H., Mollenhauer D., 2 (2):595 p. Stuttgart, G. Fischer. 1988.

KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. *Bacillariophyceae: centrales, fragilariaceae, Eunotiaceae*. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. eds Ettl H., Gerloff I., Heynig H., Mollenhauer D., 2(3): 575 p. Stuttgart, G. Fischer. 1991a.

KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. *Bacillariophyceae: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema*. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Eds. Ettl H., Gerloff I., Heynig H., Mollenhauer D., 2 (4): 473 p. Stuttgart, G. Fischer. 1991b.

KRAMMER, K. *Pinnularia eine Monographie der europäischen Taxa*, Bibliotheca Diatomologica 26: 353p. Stuttgart, J. Cramer. 1992.

LANGE-BERTALOT, H. Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedw. Beih.*, Weiheim, v. 64, p. 285-304. 1979.

LANGE-BERTALOT, H. *Navicula sensu stricto 10 Genera Separated from Navicula sensu lato Frustulia, Diatoms of Europe 2*: 526 p. A.R.G. Gantner Verlag K.G. 2001.

LOBO, E.; KOBAYASI, H. Shannon's diversity index applied to some freshwater diatom assemblages in the Sakawa River System (Kanagawa Pref. Japan) and its use as an indicator of water quality. *The Japanese Journal of Phycology*, Tokio, v.38, n.3, p.229-243. 1990.

LOBO, E.A.; BUSELATO-TONIOLLI, T.C. Tempo de exposição de um substrato artificial para o estabelecimento da comunidade perifítica no curso inferior do Rio Caí, Rio Grande do Sul, Brasil. *Rickia*, São Paulo, v.12, p.:35-51. 1985.

LOBO, E.A.; LEIGHTON, G. Estructuras de las fitocenosis planctonicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. *Revista de Biologia Marinha* v. 22, n.1,p. 143-170. 1986.

LOBO, E. A.; TORGAN, L.C. Análise da estrutura da comunidade de diatomáceas (Bacillariophyceae) em duas estações do sistema Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Botanica Brasílica*, Porto Alegre, v.1, p. 103-119. 1988.

LOBO, E.A. *Comparative study of the approaches for evaluation of river water quality using epilithic diatom assemblages*. Thesis of Doctor-Tokyo University of Fisheries) Tokyo: Tokyo University of Fisheries. Japão. 237p. 1995.

MAGURRAN, A.E. *Ecological diversity and its measurement*. London: Croom Helm, 179p. 1988.

MARGALEF, R. *Limnologia*. Barcelona: Editora Omega. 1010p. 1983.

MOURTHÉ-JUNIOR, C.A. *Modificações estruturais na comunidade de diatomáceas em um gradiente de poluição hídrica. Trecho superior da bacia do rio das Velhas (região metropolitana de Belo Horizonte – MG)*. Tese (Mestrado em Ecologia – Universidade Federal de Minas Gerais), Belo Horizonte, MG, UFMG, 87p. 2000.

PATRICK, R. & REIMER, C.W. The diatoms of the United States. *Academy of Natural Sciences*, Philadelphia v.2, n.1, 688 p. 1966.

PIELOU, E.C. Shannon's formula as a measure of specific diversity: its use and misuse. *American Naturalist*, Lancaster, v.100, p.463-465. 1966.

RODRIGUES, L.M. & LOBO, E. A. Análise da estrutura de comunidades de diatomáceas epilíticas no arroio Sampaio, município de Mato Leitão, RS, Brasil. *Caderno de pesquisas, Ser. Bot.* Santa Cruz do Sul, v.12, n.2, p.5-27. 2000.

ROOS, P. J. *Dynamics of periphytic communities*. In: WETZEL, R.G. (Ed.) *Periphyton of freshwater ecosystems*. Dr. W. Junker Publishers, The Hague: p.5-10. 1983.

ROUND, F.E. Diatoms in river water-monitoring studies. *Journal of Applied Phycology* v. 3, 129-145. 1991.

ROTT, E.M. The effect of local Waste-water Inflows on the structure of diatoms Assemblages in Fast-flowing Streams. In: Diatoms-Symposium 10<sup>th</sup> . 553-561p. 1988.

ROUND, F.E. *A Review and Methods for the use of epilithic Diatoms for Detecting and monitoring Changes in River Water Quality*. HMOS Publisher, London. 63p. 1993.

SMITH, D.H. *Program Divers for species diversity analysis*. 120p. 1993.

SOUZA, M.G.M. *Variação da comunidade de diatomáceas epilíticas ao longo de um rio impactado no município de São Carlos – SP e sua relação com variáveis físicas e químicas*. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

WETZEL, R.G. Recommendation for future research on periphyton. In: WETZEL, R.G. (Ed.). *Periphyton of freshwater ecosystems*. The Hague, Dr. W. Junk, 1983 c.p. 339-346. (Developments in Hydrobiology, 17). 1983.



### **CAPÍTULO 3**

**VARIAÇÃO SAZONAL NA COMPOSIÇÃO E DENSIDADE DAS  
DIATOMÁCEAS EPILÍTICAS NO RIO GRAVATAÍ, RIO GRANDE DO SUL,  
BRASIL.**

**RESUMO:** As diatomáceas constituem um dos grupos mais abundantes e representativos em riqueza de espécies nas comunidades perifíticas. Nas regiões temperadas do Hemisfério Norte elas são particularmente abundantes na primavera, em resposta aos incrementos na temperatura, intensidade luminosa e disponibilidade de nutrientes. Os padrões de variação sazonal das comunidades de diatomáceas e suas relações com as variáveis ambientais são ainda pouco conhecidos nas regiões tropicais e subtropicais. No presente estudo a variação sazonal na composição e densidade das diatomáceas epilíticas do rio Gravataí, RS, Brasil, foi investigada ao longo de dois ciclos sazonais. Amostragens trimestrais das diatomáceas epilíticas associadas a substratos artificiais rochosos foram realizadas em seis estações de amostragem ao longo do rio Gravataí, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002. Variáveis climatológicas e as principais variáveis e químicas da água foram simultaneamente avaliadas. Observou-se uma marcante sazonalidade tanto climática quanto hidrológica. As variações sazonais de temperatura foram amplas, com diferença de 15°C entre verão e inverno. O padrão regional de precipitação pluviométrica resulta em variações sazonais nas vazões do rio e na disponibilidade de nutrientes. Verificou-se que as diatomáceas epilíticas sofreram uma mudança na composição de espécies e nas densidades populacionais, marcante. As maiores densidades populacionais ocorreram no período de outono, atingindo o valor máximo de 26690 ind/cm<sup>2</sup>, e o mínimo de 1039 ind/cm<sup>2</sup> na primavera de 2001. Os aumentos de vazão do rio Gravataí, as quais são mais elevadas no outono, geram maior turbulência, sem contudo aumentar a turbidez, favorecendo as diatomáceas epilíticas, provavelmente pela rápida renovação de nutrientes ao redor das células. As espécies *Cocconeis placentula*, *Achnanthes sp*, *Sellaphora seminulum* e *Eolimna minima* foram tipicamente abundantes no período de outono, enquanto *Gomphonema parvulum*, *Eunotia pectinalis* e *Navicula radiosa* atingiram maiores densidades no inverno. Evidenciou-se também que as espécies *Nitzschia palea* e *Sellaphora seminulum* tornaram-se gradativamente dominantes e permanentes ao longo do ciclo sazonal no trecho inferior do rio, local mais seletivo devido à eutrofização, mascarando a sucessão sazonal de espécies que deveria ocorrer em função da sazonalidade climática e hidrológica.

**Palavras-chave:** Perifíton, diatomáceas epilíticas, sazonalidade, ecologia de rios, rio Gravataí

## SEASONAL VARIATION IN THE COMPOSITION AND DENSITY OF EPILITHIC DIATOMS IN RIO GRAVATAÍ, RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL

**ABSTRACT:** Diatoms are among the most representative groups of algae on periphytic communities, regarding both, species richness and population abundance. In temperate regions of the Northern Hemisphere they are particularly abundant in the spring, as a response to the increments in temperature, light intensity and nutrient availability. Seasonal patterns of variation in diatom assemblages and its relationships with environmental variables are poorly known for tropical and subtropical regions. In the present study the seasonal variation in the structure and density of epilithic diatoms in Gravataí River, Rio Grande do Sul State, Brazil, was investigated along two seasonal cycles. Sampling of epilithic diatoms associated to artificial rock substrates were sampled at three months intervals, at six selected localities along Gravataí River, during the period of September 2000 to August 2002. Climatological variables and main physical and chemical variables were simultaneously analyzed. A strong fluctuation was observed in both climatic and hydrological features. Seasonal variation in temperature was wide, with a range of 15°C between summer and winter seasons. The regional pattern of precipitation determines seasonal variation in river water discharge and nutrient availability. It was found that epilithic diatoms had a marked seasonal change in species composition and total population densities. The highest total population density was found in the autumn period, reaching the maximum value of 26,690 valve/cm<sup>2</sup>, and the minimum value of 1,039 valve/cm<sup>2</sup> in the spring 2001. The increment in the water discharge of Gravataí River, that is highest in the autumn, creates high turbulence without increase of turbidity, probably favouring epilithic diatoms by a rapid renewal of nutrients around cells. The species *Cocconeis placentula*, *Achnanthes sp.*, *Sellaphora seminulum* and *Eolimna minima* were particularly abundant in the autumn, whereas *Gomphonema parvulum*, *Eunotia pectinalis* and *Navicula radiosa* reached highest densities in the winter. It was also evidenced that *Nitzschia palea* and *Sellaphora seminulum* were gradually dominant and permanent along the seasonal cycle in the lower river stretch, a more selective environment due to eutrophication, overshadowing species succession, expected as a consequence of climatic and hydrological seasonality.

**Key-words:** periphyton, epilithic diatoms, seasonality, river ecology, Gravataí River

## INTRODUÇÃO

O fluxo contínuo da nascente à foz é um vetor que influi fortemente na composição das comunidades bióticas dos rios, as quais apresentam adaptações que as tornam capazes de evitar a deriva rio abaixo. Na coluna d'água, na região bentônica ou aderida a substratos na região litorânea as diferentes comunidades se estabelecem ao longo dos rios, dependendo das características de cada trecho, seja das condições tróficas, da velocidade da correnteza ou, em última análise, da declividade do rio (Schafer, 1985).

A habilidade das algas perifíticas para crescerem aderidas ao substrato em trechos d'água é o resultado de uma complexa série de interações entre fatores hidrológicos, bióticos e das características da água (Biggs, 1996).

Alterações na composição e abundância das comunidades podem ser provocadas pela heterogeneidade do ambiente, ocasionando a existência de padrões variados em função dos diversos pulsos que se estabelecem no sistema (Calijuri, 1999). As comunidades também podem sofrer alterações relacionadas aos ciclos sazonais anuais, determinadas pelas variações dos diversos fatores ambientais (Reynolds, 1984).

As variações do ambiente fazem com que as comunidades se ajustem, modificando sua composição, através de alterações no número de indivíduos das espécies presentes e/ou da substituição de algumas espécies por outras, de acordo com os limites de tolerância de cada espécie às variáveis ambientais.

O perifíton tem grande importância entre as comunidades mais representativas dos sistemas fluviais, sendo um dos componentes-chave no primeiro nível trófico das cadeias alimentares destes sistemas. O termo perifíton foi inicialmente utilizado por Behning (1928) para definir as comunidades de algas que crescem em substratos artificiais, ou ainda para definir a comunidade de organismos que vivem aderidos ou associados a diferentes substratos aquáticos naturais, segundo Sládecová (1962). Atualmente é reconhecido como uma complexa comunidade de bactérias, fungos, algas, animais e detritos orgânicos e inorgânicos que vivem aderidos a substratos vivos ou mortos (Wetzel, 1983). As diatomáceas são geralmente um dos principais grupos de algas perifíticas. Nas regiões temperadas elas são particularmente abundantes na primavera, quando a água contém muitos nutrientes, principalmente fósforo, nitratos e silicatos e quando ocorre um aumento da intensidade luminosa promovendo a

fotossíntese. Em diversos lagos temperados, um segundo pico de abundância de diatomáceas é freqüentemente observado no outono (Van Der Hoek, 1995).

De acordo com Sandgren (1988) é na primavera e no outono, períodos de maior circulação na coluna d'água, que as diatomáceas se destacam quando comparadas com outros grupos de algas. Nas regiões tropicais e subtropicais os padrões de variação sazonal das diatomáceas perifíticas e a relação destas com as variáveis ambientais são ainda pouco conhecidos.

Este estudo visa analisar as variações sazonais na composição e na densidade das diatomáceas epilíticas no rio Gravataí, relacionando com as variações climáticas e hidrológicas na bacia, ao longo de dois ciclos sazonais.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

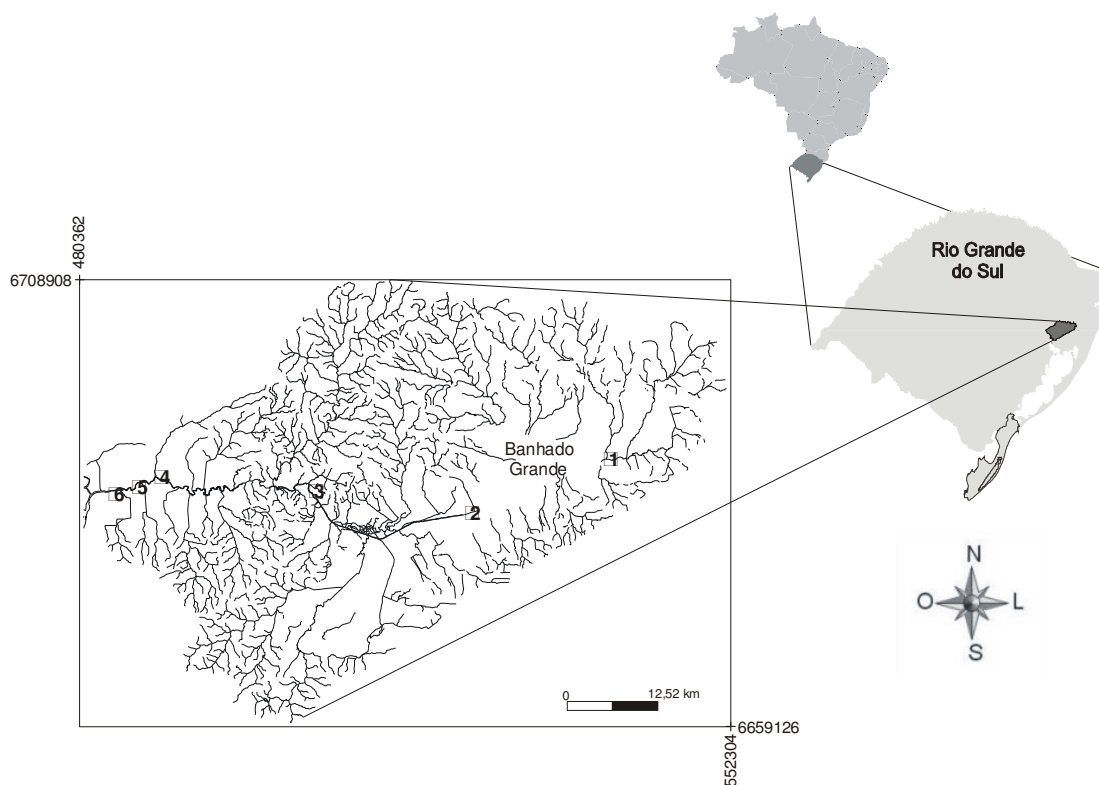
### **Área de estudo**

Localizada na região subtropical, a região na qual está inserida a bacia do rio Gravataí sofre anualmente uma ampla oscilação térmica, caracterizada por invernos frios e verões bem quentes.

O clima é predominantemente mesotérmico e superúmido (cfa: subtropical), caracterizado pela ocorrência de chuvas em todos os meses e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio entre 3°C e 18°C. Os efeitos do regime de pluviosidade da região sul refletem-se na vazão do rio Gravataí, determinando um período de cheia com altas vazões no inverno e níveis mais baixos no verão (IPH, 2002).

O fluxo do rio Gravataí tem baixa velocidade, sendo um rio sinuoso, com muitos meandros. A bacia hidrográfica do rio Gravataí está localizada na região nordeste do estado do rio Grande do Sul (Fig.1), estendendo-se entre Porto Alegre e o delta do rio Jacuí a oeste, e a zona de lagoas da costa do Atlântico a leste, entre as longitudes 50°27' e 51°12' oeste. Ao norte faz limite com a bacia hidrográfica do rio dos Sinos, e ao sul com os banhados e arroios que escoam para a laguna dos Patos, entre as latitudes de 29°45' e 30°12' sul (DNOS, 1985).

Esta bacia tem cerca de 2020 km<sup>2</sup> de área, estendendo-se de Porto Alegre até a zona das lagoas, na costa do oceano Atlântico. Apresenta duas regiões com características de ocupação distintas: o trecho superior do rio, com intensa atividade agropecuária, e o trecho inferior do rio, com uso predominantemente urbano e industrial.



**Figura 1:** Localização da Bacia Hidrográfica do rio Gravataí, no estado do Rio Grande do Sul, e das seis estações de amostragem ao longo do rio Gravataí. E1=arroio Chico Lomã, município de Santo Antônio da Patrulha; E2= Fazenda Juca Barcelos, município de Glorinha; E3= Balneário Passo dos Negros, município de Gravataí; E4=Captação da base aérea, município de Porto Alegre/Canoas; E5=Arroio da Areia, município de Porto Alegre/Canoas; E6= Foz do rio Gravataí, município de Porto Alegre.

### Coleta das Diatomáceas Epilíticas

As diatomáceas epilíticas foram amostradas ao longo de dois ciclos sazonais, abrangendo o período de setembro de 2000 a agosto de 2002. As coletas foram realizadas com periodicidade trimestral, nos seguintes períodos e datas: primavera (08/11/2000); verão (15/02/01); outono (16/05/01); inverno (08/08/01); primavera (12/11/01); verão (07/02/02); outono (08/05/02); inverno (06/08/02). Foram realizadas amostragens em seis estações de amostragens ao longo do eixo longitudinal do rio, estabelecidas com base na facilidade de acesso e também na representatividade do gradiente de poluição. São localidades coincidentes com as estações de monitoramento previamente estabelecidas pelo DMAEE, nas quais este

órgão realiza medidas sistemáticas de variáveis físicas, químicas e biológicas. As amostragens de diatomáceas epilíticas foram realizadas simultaneamente ao monitoramento, compartilhando-se desta forma as informações sobre as variáveis ambientais.

As diatomáceas epilíticas foram amostradas em substratos de pedras (seixo rolado) previamente colocados na sub-superfície do rio (profundidade de 20 cm), utilizando, como suporte, flutuadores de isopor, instalados em seis estações de amostragem localizadas ao longo do rio. Na colocação dos suportes e substratos, embora colocados próximo às margens foram evitados os locais sombreados. O tempo de exposição das pedras no rio foi de aproximadamente quatro semanas, conforme os procedimentos recomendados por Lobo & Buselato-Toniolli (1985) e as amostragens foram realizadas a cada três meses. As amostragens das diatomáceas epilíticas na estação 2 foram acidentalmente reduzidas pelo desaparecimento dos suportes contendo os substratos.

As coletas para análise quantitativa foram feitas por meio de raspagem das pedras, com uma escova de dente, correspondendo a uma área de 25 cm<sup>2</sup>. Em cada estação de amostragem, três pedras foram raspadas (75 cm<sup>2</sup>) e lavadas com água destilada formando uma amostra composta fixada com formaldeído 4%. Após este procedimento, a amostra composta foi homogeneizada, retirando-se uma alíquota de 40mL. O material foi oxidado com permanganato de potássio e ácido clorídrico concentrado. Uma alíquota (1mL) da amostra oxidada foi depositada e montada em lâmina permanente para posterior observação, utilizando-se a resina Naphrax®. Para a contagem das algas foram utilizados os procedimentos descritos por Kobayasi & Mayama (1982) e Lobo (1995a). Para cada amostra foram realizadas contagens em transecções, sendo contadas no mínimo 400 valvas, conforme a metodologia estabelecida por Bate & Newall (1998). Os resultados foram expressos em número de ind/cm<sup>2</sup>.

Para a identificação dos táxons ao nível específico e infra-específico, as diatomáceas epilíticas foram observadas e fotografadas em microscópio ótico binocular, com aumento de 1000 vezes. As amostras do material quantitativo e qualitativo foram registradas sob os números de HAS de 103699 a 103813 e estão depositadas no Herbário Prof. Dr. Alarich R. H. Schultz (HAS), do Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (MCN/FZB). Na identificação das diatomáceas foram utilizadas as seguintes obras taxonômicas: Patrick & Reimer (1966, 1975), Germain (1981), Krammer (1992), Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, 1991b), Lange-Bertalot (1979, 2001) e Lobo *et. al.* (2002).

Para a determinação das espécies dominantes e abundantes foi seguido o critério de Lobo & Leighton (1986), sendo consideradas dominantes as espécies cujas densidades atingiram valores

acima de 50% da densidade total da amostra e espécies abundantes aquelas cujas densidades superaram a densidade média das diferentes espécies em cada amostra.

### **Variáveis Ambientais**

Os dados climatológicos foram obtidos junto ao Instituto de Pesquisas Agronômicas do Rio Grande do Sul (IPAGRO), oriundos da estação meteorológica localizada próximo à estação 4 (29°57'16" S e 51°07'36" W), no rio Gravataí.

Os dados físicos e químicos e microbiológicos foram obtidos na Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM) e no Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE), os quais, através do projeto Pró-Guaíba, vêm realizando o monitoramento mensal da qualidade da água deste rio. Simultaneamente às coletas de algas foram realizadas medições das variáveis temperatura da água e do ar, condutividade, turbidez, pH, concentração de oxigênio dissolvido (OD), e coletadas amostras de água para medidas laboratoriais das variáveis demanda bioquímica de oxigênio após 5 dias (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxigênio (DQO), concentrações de amônio, nitrogênio orgânico total, ortofosfato dissolvido, fosfato total e cloretos e o número de coliformes.

### **Análises Estatísticas**

Para verificar a relação entre a variação dos fatores ambientais e a densidade das diatomáceas epilíticas nas diferentes estações do ano foi realizada uma análise de componentes principais (ACP), com as variáveis ambientais: temperatura da água, turbidez, condutividade, DQO, DBO-5, amônio, nitrogênio orgânico, ortofosfato e coliformes fecais. Algumas variáveis foram excluídas desta análise, visando-se obter o máximo de explicabilidade dos eixos. Foi utilizada uma transformação logarítmica dos dados. Realizou-se ainda uma análise de correspondência para fins de relacionar as ocorrências das espécies abundantes com as estações do ano.

## **RESULTADOS**

A Tabela I apresenta as variações sazonais nas variáveis abióticas no rio Gravataí, nos oito períodos amostrados, correspondendo a dois ciclos sazonais completos. Observa-se que há uma marcante variação sazonal na temperatura tanto do ar quanto da água, tendo-se obtido uma



diferença de 15°C entre os valores máximos e mínimos registrados para a temperatura da água. As concentrações médias de oxigênio dissolvido são relativamente baixas no rio Gravataí, sendo um pouco mais elevadas no inverno e na primavera, e mais baixas no verão e outono, observando-se, desta forma, que há um gradiente crescente de poluição.

**Tabela I:** Valores médios, desvio padrão, mínimo e máximo, em dois ciclos sazonais amostrados no período de setembro/00 a agosto/02 , no rio Gravataí, RS.

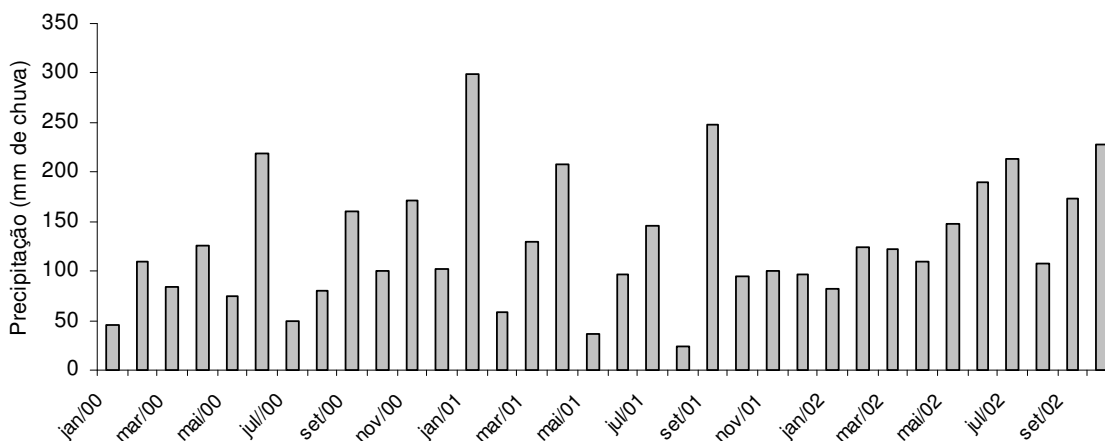
Variáveis ambientais	Primavera/00	Verão/01	Outono/01	Inverno/01	Primavera/01	Verão/02	Outono/02	Inverno/02
Temp <sub>par</sub> (°C)	22,31 ± 5,84 14,1 – 32,7	30,10 ± 4,45 20 – 36	24,81 ± 6,44 15,6 – 32,1	19,46 ± 6,02 10 – 31	24,57 ± 4,14 16,8 – 32,5	29,74 ± 3,61 24 – 36	25,13 ± 4,92 15,9 – 32,2	20,91 ± 4,31 13,5 – 28
Temp <sub>pag</sub> (°C)	20,01 ± 2,88 15,6 – 26,6	26,99 ± 2,41 22 – 31,4	22,94 ± 5,72 15,5 – 30,3	18,44 ± 2,52 13,3 – 22,8	23,13 ± 4,00 16,4 – 33,4	26,49 ± 1,76 23 – 29	23,86 ± 4,02 19,5 – 29,5	16,65 ± 2,10 14 – 19,1
Turb (UNT)	82,22 ± 44,63 35 – 191	73,18 ± 32,91 9 – 136	54,58 ± 27,36 14,5 – 120	49,57 ± 16,36 16,8 – 76	69,71 ± 32,20 19,7 – 156	71,08 ± 34,64 25,8 – 173	51,74 ± 18,82 12 – 78	50,35 ± 11,66 25 – 84
Cond $\mu\text{S cm}^{-1}$	83,77 ± 38,01 9,4 – 148,6	101,54 ± 57,21 47,1 – 228	85,01 ± 40,63 42,4 – 188,5	83,24 ± 33,96 39,8 – 142,1	105,92 ± 59,43 46,5 – 230	84,55 ± 76,85 9,4 – 297	128,76 ± 79,30 13,7 – 240	77,49 ± 38,10 31 – 148
Cloreto (mg Cl L <sup>-1</sup> )	8,04 ± 2,66 4,5 – 13,4	9,47 ± 4,49 3,9 – 19,7	9,56 ± 3,59 5 – 17,4	8,43 ± 2,76 5 – 13,9	12,64 ± 7,16 5,2 – 30,2	11,19 ± 6,14 4,8 – 23,7	12,59 ± 5,20 3,2 – 20,7	6,41 ± 2,28 2,2 – 9,2
pH	6,51 ± 0,49 5,9 – 7,6	6,61 ± 0,44 5,8 – 7,3	6,16 ± 0,49 5,2 – 7,1	6,37 ± 0,41 5,8 – 7,3	6,69 ± 0,29 6 – 7,2	6,61 ± 0,38 5,9 – 7,3	6,61 ± 0,44 5,7 – 7,2	6,48 ± 0,37 5,5 – 7
OD mg L <sup>-1</sup>	5,53 ± 2,22 2,1 – 9	3,75 ± 1,84 0,2 – 7	3,92 ± 1,97 0,1 – 7,1	3,79 ± 2,0 0,1 – 7,9	3,83 ± 2,50 0,1 – 8,8	2,68 ± 2,09 0,3 – 8	2,62 ± 1,95 0,2 – 7,2	4,05 ± 2,43 1,9 – 10,9
DBO mg L <sup>-1</sup>	3,02 ± 2,33 1 – 7	3,48 ± 3,11 1 – 11,4	2,68 ± 1,91 1 – 8,2	3,01 ± 2,57 1 – 8	4,84 ± 5,47 1 – 19	4,03 ± 4,0 1 – 15,6	4,32 ± 3,59 1 – 12	1,88 ± 1,36 1 – 5

Continuação da Tabela I

	40,48 ± 11,78	41,93 ± 9,92	35,88 ± 9,88	32,85 ± 7,61	40,14 ± 11,66	45,41 ±	38,66 ± 11,29	32,94 ± 7,46
DQO mg L <sup>-1</sup>	30 – 81,6	12 – 53	20 – 59,6	23 – 46	19 – 68,7	12,68	22 – 75	20 – 45
						28 – 68		
NH3 mg N L <sup>-1</sup>	0,99 ± 0,88	2,0 ± 2,66	1,38 ± 2,02	0,81 ± 1,19	2,03 ± 2,91	2,12 ± 2,80	2,62 ± 2,83	0,82 ± 1,17
	0,13 – 2,4	0,13 – 9,	0,0524 – 6,35	0,073 – 4,52	0,074 – 8,71	0,056 – 8,43	0,11 – 8,57	0,0347 – 3,3
Norg mgN L <sup>-1</sup>	1,28 ± 0,61	1,90 ± 2,61	1,45 ± 1,64	1,51 ± 1,47	1,31 ± 0,62	1,49 ± 0,75	1,46 ± 1,25	0,89 ± 0,37
	0,5 – 2,5	0,5 – 11,8	0,5 – 6,05	0,5 – 5,38	0,5 – 2,28	0,5 – 3,07	0,13 – 5,48	0,5 – 2,1
Ntotal	2,31 ± 1,30	3,74 ± 4,72	2,85 ± 3,60	2,39 ± 2,45	3,39 ± 3,37	2,90 ± 2,81	4,28 ± 3,66	1,28 ± 0,79
	0,63 – 4,72	0,63 – 18,52	0,552 – 12,4	0,585 – 9,97	0,584 – 10,78	0,18 – 8,82	0,65 – 10,7	0,54 – 2,4
PO4O (mg L <sup>-1</sup> )	0,19 ± 0,21	0,33 ± 0,53	0,39 ± 0,61	0,23 ± 0,29	0,33 ± 0,56	0,36 ± 0,41	0,23 ± 0,24	0,10 ± 0,06
	0,0227 – 0,65	0,01 – 2,18	0,01 – 2,32	0,01 – 1,1	0,0164 – 1,9	0,02 – 1,16	0,0121 – 0,79	0,01 – 0,21
PO4T mg L <sup>-1</sup>	0,37 ± 0,32	0,70 ± 1,04	0,80 ± 1,08	0,55 ± 0,49	0,67 ± 0,87	0,44 ± 0,46	0,42 ± 0,28	0,18 ± 0,11
	0,0474 – 1,01	0,025 – 3,7	0,0665 – 4,69	0,0762 – 1,75	0,035 – 2,84	0,048 – 1,4	0,0678 – 0,88	0,032 – 0,387

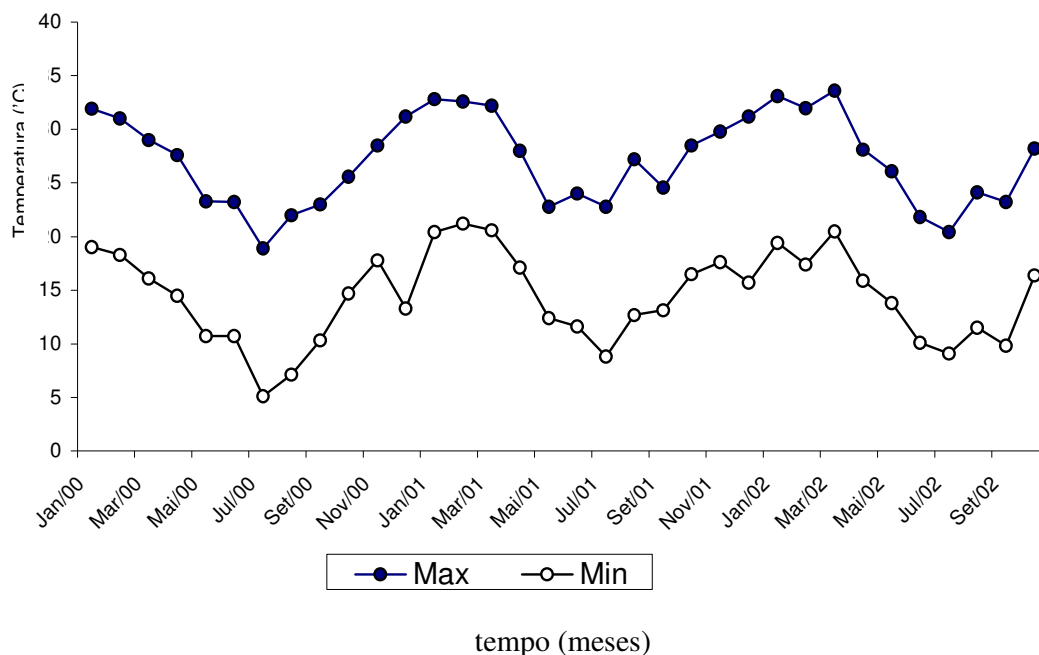
As variações dos principais fatores ambientais que influenciam a dinâmica das algas diatomáceas foram a pluviosidade, a temperatura da água e os nutrientes (nitrogênio e fósforo), são apresentadas nas figuras 2, 5, 6 e 7.

Na figura 2 são apresentados os valores mensais da precipitação pluviométrica para o período de janeiro de 2000 a outubro de 2002. Os resultados evidenciaram que o ano de 2001 foi um ano atípico considerando-se o padrão normal de precipitações no verão e no inverno. Só no mês de janeiro foi registrado um total de 298,9 mm. No inverno deste mesmo ano, a precipitação foi baixa com média de 88,5 mm.



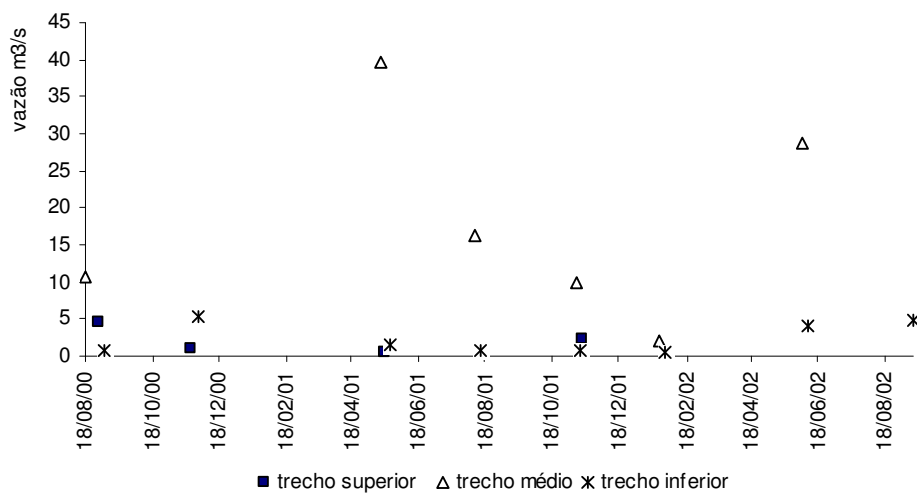
**Figura 2:** Variação da precipitação (mm de chuva) no período de janeiro de 2000 a outubro de 2002, medidos na estação meteorológica do Instituto de Pesquisas Agronômicas do Rio Grande do Sul (IPAGRO), localizada na bacia do rio Gravataí, Porto Alegre, RS.

Na figura 3 são apresentadas as variações de temperatura máxima e mínima (°C) no período de janeiro de 2000 a outubro de 2002, ocorridas próximo ao rio Gravataí. As médias mais altas das temperaturas máximas foram registradas em março de 2002 com 33,6 °C e a média mais baixa foi registrada em julho de 2000 com 18,9 °C. Enquanto que, as médias mais altas, das temperaturas mínimas foram registrada em fevereiro de 2001 com 21,2 °C e a média mais baixa em julho de 2000 com 5,1°C.



**Figura 3:** Variação mensal dos valores de temperatura (°C) no período de janeiro de 2000 a outubro de 2002. Fonte: Instituto de Pesquisas Agrônomicas do Rio Grande do Sul (IPAGRO), localizada na bacia do rio Gravataí, Porto Alegre, RS.

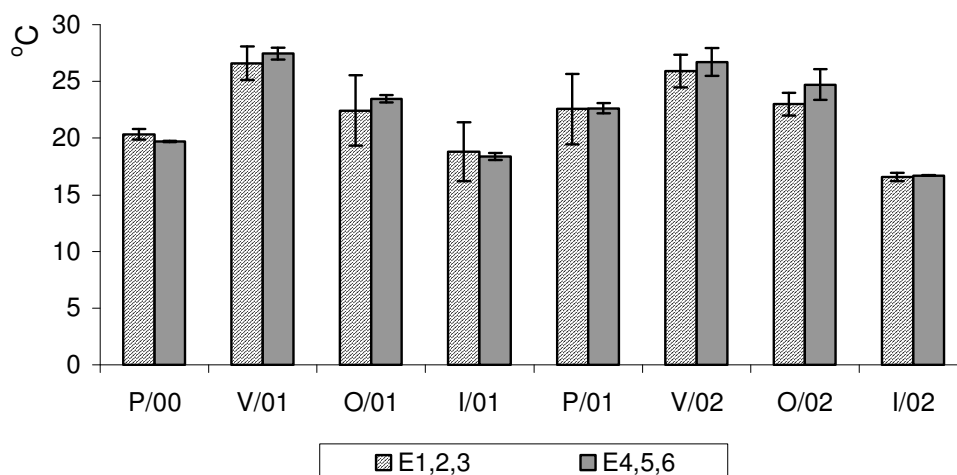
A figura 4 representa alguns valores de vazão registrados ao longo do período de estudo. A medida mais alta de vazão foi registrada no trecho médio do rio com  $39,7 \text{ m}^3/\text{s}$  e a mais baixa foi registrada no trecho superior do rio com  $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$  em maio de 2001.



**Figura 4:** Valores obtidos de vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), em alguns meses durante o período de estudo, agosto de 2000 a agosto de 2002. (Fonte: CPRM, 2002).

Das seis estações amostradas foram feitas médias das três primeiras e das três últimas estações de amostragem as quais são, respectivamente, representativas de dois trechos distintos do rio Gravataí. No trecho superior (estações 1,2 e 3) as condições são mais naturais, e o trecho inferior é impactado por despejos de águas residuárias domésticas e industriais.

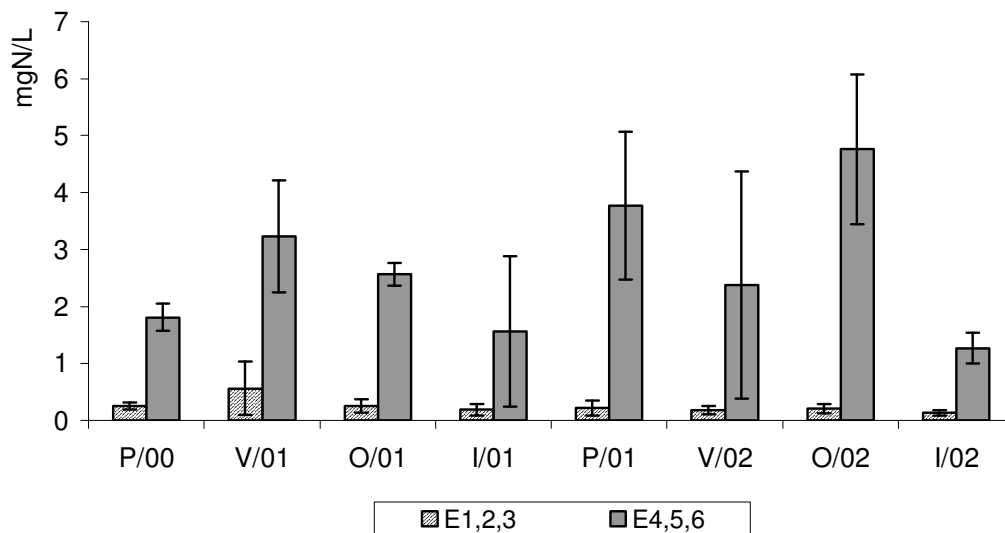
O valor médio mais elevado da temperatura da água no trecho superior foi  $25,9 \pm 1,44^{\circ}\text{C}$ , registrado em janeiro de 2002 (verão), e no trecho inferior o valor médio mais baixo foi de  $18,8 \pm 2,58^{\circ}\text{C}$ , no inverno de 2001 (Figura 5). No trecho inferior o valor médio mais elevado foi de  $26,7 \pm 1,23^{\circ}\text{C}$  e o mais baixo foi de  $18,3 \pm 0,33^{\circ}\text{C}$ , nos mesmos períodos observados no trecho superior.



**Figura 5:** Variação sazonal dos valores médios e desvio padrão da temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ), nas diferentes estações do ano, amostradas no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS (P= primavera; V=verão; O= outono; I=inverno).

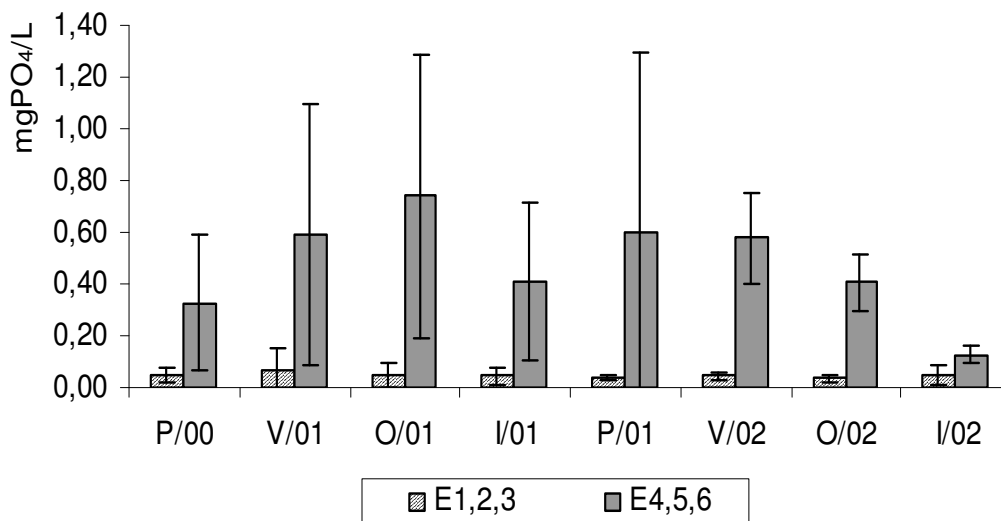
As figuras 6 e 7 contêm as variações nas concentrações médias de nitrogênio inorgânico e ortofosfato dissolvido nos dois trechos do rio estudado.

O valor médio mais elevado de nitrogênio inorgânico total registrado no trecho superior do rio Gravataí foi  $0,56 \pm 0,47 \text{ mg L}^{-1}$  (Norg) registrado no verão de 2001, enquanto que no trecho inferior o valor médio mais elevado foi de  $3,23 \pm 0,98 \text{ mg L}^{-1}$  (Norg), no verão de 2001.



**Figura 6:** Variação dos valores médios e desvio padrão de nitrogênio orgânico  $\text{mg L}^{-1}$  (Norg) nos diferentes anos amostrados no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS, (P= primavera; V=verão; O= outono; I=inverno).

Com relação ao ortofosfato, o valor médio mais elevado registrado no trecho superior (estações 1,2 e 3) foi de  $0,07 \pm 0,08$  ( $\text{mg L}^{-1}$  (Pt)) no verão de 2001, e no trecho inferior (estações 4,5 e 6) foi de  $0,74 \pm 0,55$  ( $\text{mg L}^{-1}$  (Pt)) no outono de 2001.



**Figura 7:** Variação dos valores médios e desvio padrão de fósforo total ( $\text{mg L}^{-1}$  (Pt)), nos diferentes períodos sazonais amostrados entre setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS, (P= primavera; V=verão; O= outono; I=inverno).

## VARIÁVEIS BIOLÓGICAS

A diatomáceas epilíticas do rio Gravataí foi composta por um total de 169 táxons em nível específico e infra-específico, distribuídos em 25 famílias e 43 gêneros. As famílias representadas em ordem decrescente de abundância relativa foram: Eunotiaceae (13,6%); Naviculaceae (11,24%); Bacillariaceae (10%); Pinnulariaceae (9,46%); Gomphonemataceae (6,50%); Fragilariaceae e Achnantheaceae (5,32%); Diploneidaceae (4,73%); Stauroneidaceae e Stephonodiscaceae (4,14%); Cymbellaceae (3,55%); Diadesmidaceae, Surirellaceae e Aulacoseiraceae (2,95%); Sellaphoraceae (2,36%); Amphipleuraceae e Rhopalodiaceae (1,77%); Cocconeidaceae, Neidiaceae, Pleurosigmaeae e Catenulaceae (1,18%) e Brachysiraceae, Mastogloiaeeae, Thalassiosirophyceae e Coscinodiscaceae com 0,59% .

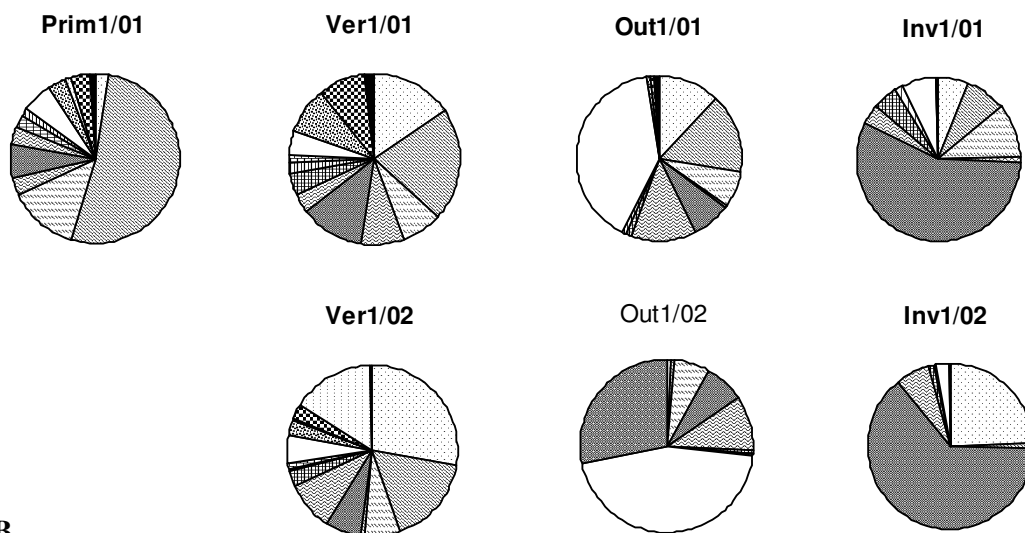
Na Figura 8 são apresentadas as variações sazonais na abundância relativa das principais famílias de diatomáceas no rio Gravataí. Foram selecionados para esta demonstração a estação 1 como representativo do trecho superior do rio e a estação 6 como representativa da trecho inferior.

Como pode ser observado na Figura 8, relativa a estação 1, ocorreram mudanças sazonais quanto à representatividade das famílias de diatomáceas. Pode-se observar ainda que houve uma redução no padrão de dominância comparando-se as mesmas estações do ano em 2001 e em 2002. No verão as famílias mais representativas foram Eunotiaceae e Bacillariaceae. No outono, embora estas duas famílias permaneçam bem representadas, ocorre a dominância da família Sellaphoraceae, nos dois ciclos sazonais investigados. No outono de 2002 a família Cocconeidaceae teve destaque, vindo em segundo lugar em abundância relativa. Subseqüentes mudanças na abundância relativa das famílias são observadas nas outras estações do ano. No inverno, a família Gomphonemataceae foi fortemente dominante nos dois anos amostrados, embora no ano de 2002 a família Eunotiaceae tenha também se destacado. Na primavera de 2001 as Bacillariaceae tiveram forte dominância. A repetição do padrão não pode ser verificada devido à perda da amostra relativa a este período.

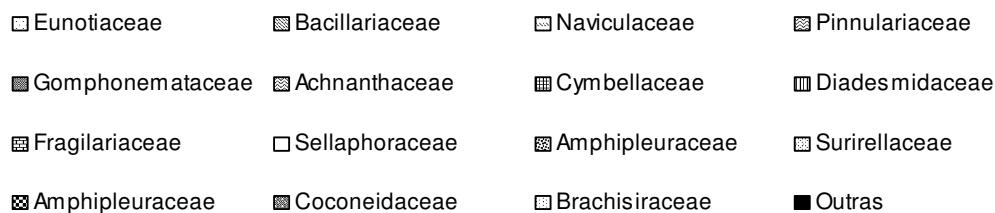
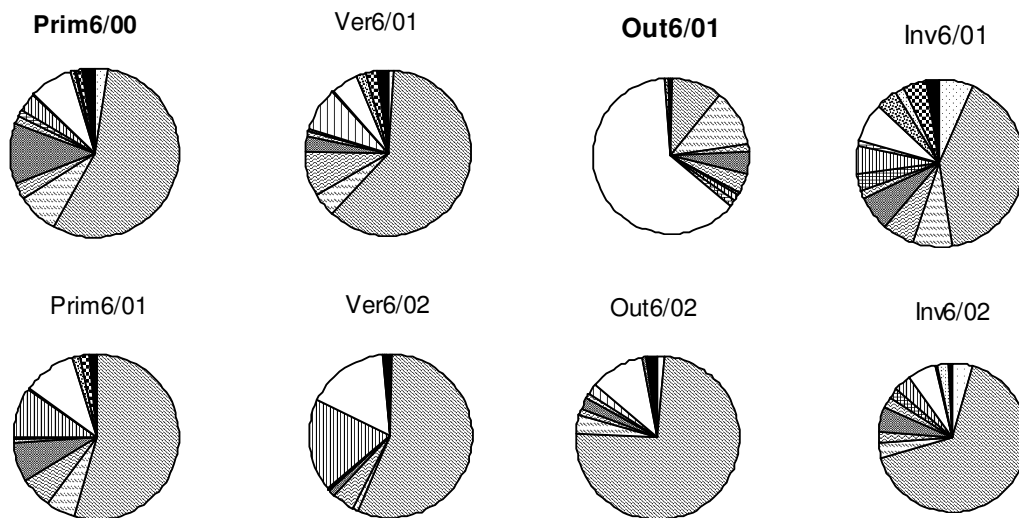
Na estação 6, foz do rio Gravataí, houve dominância de organismos da família Bacillariaceae em todas as estações do ano amostradas, com exceção do outono de 2001, quando houve dominância da família Sellaphoraceae.



A



B



**Figura 8:** Variação temporal da abundância relativa das principais famílias de diatomáceas nas estações 1 (a) e 6 (b), correspondentes aos trechos superior e inferior do rio Gravataí, RS, amostradas no período de setembro de 2000 a agosto de 2002.

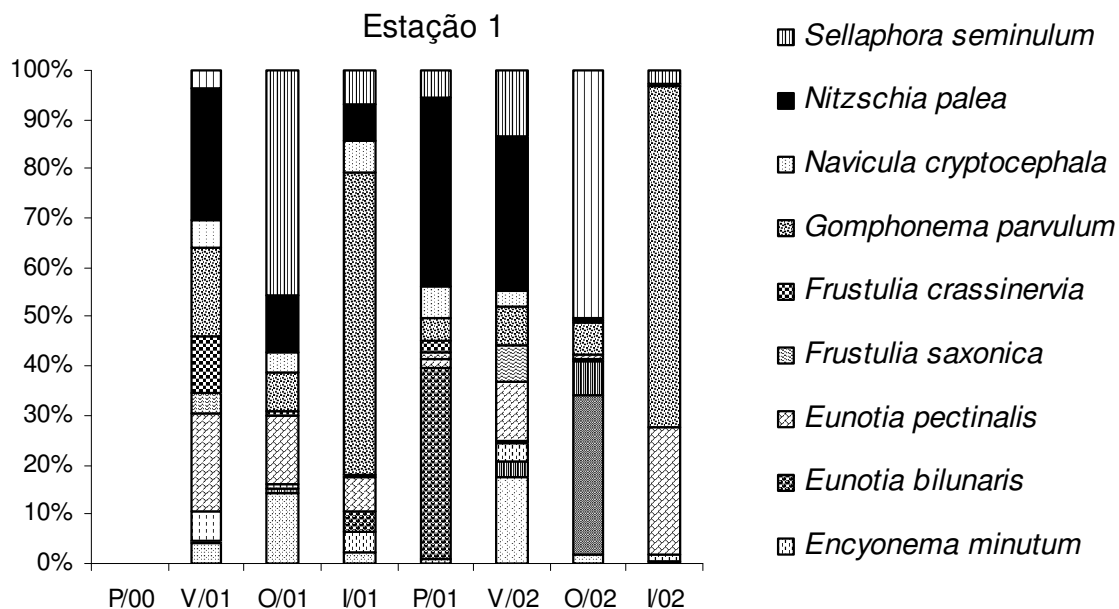
As mudanças, ocorridas nas diferentes famílias de diatomáceas epilíticas, foram determinadas pelas substituições das espécies e por mudanças sazonais na abundância relativa das espécies.

A Figura 9 mostra as mudanças que ocorreram na abundância relativa das principais espécies de diatomáceas, ao longo das estações do ano, em todas as localidades amostradas no rio Gravataí.

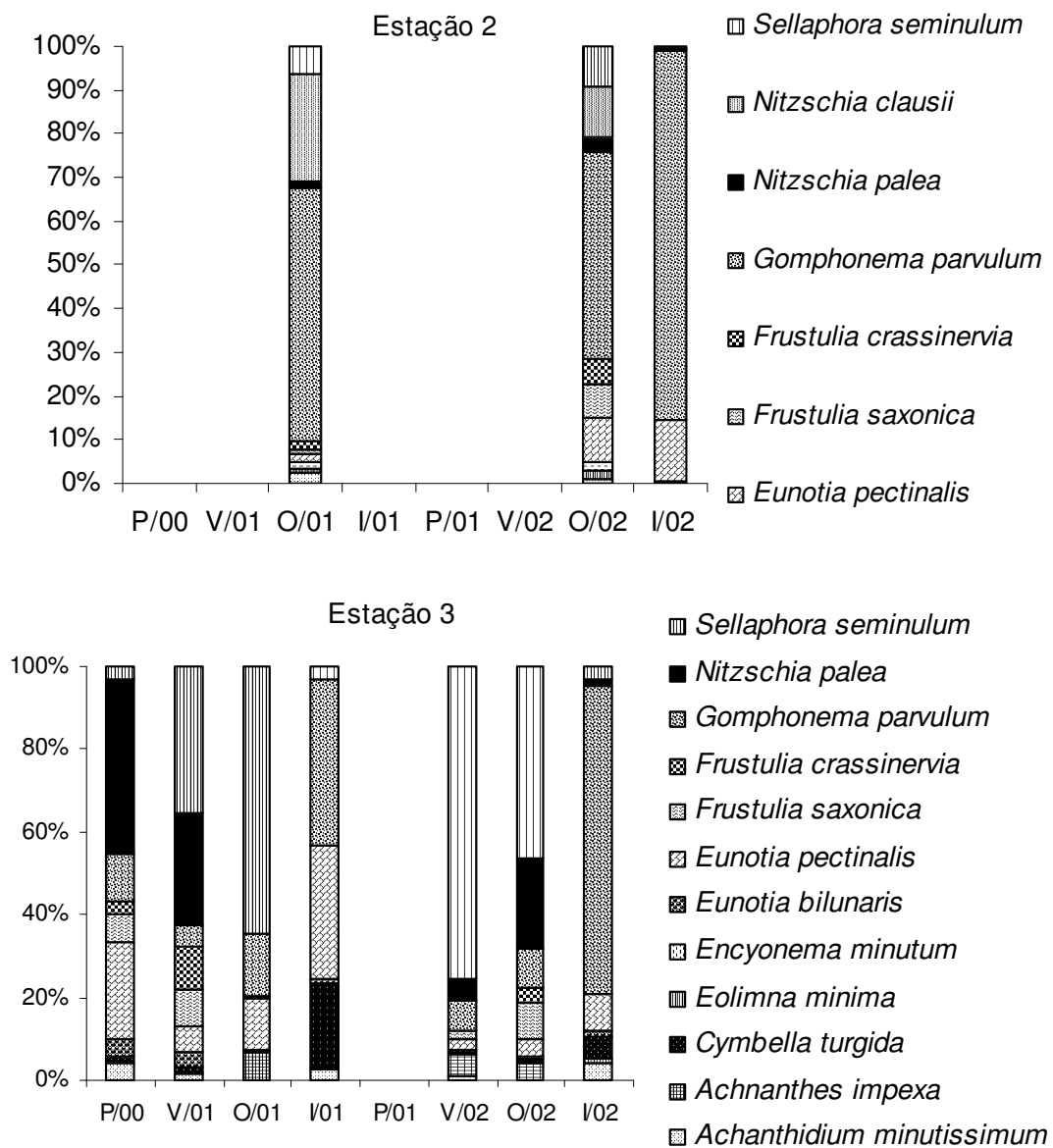
Na estação 1, observa-se uma sucessão das espécies dominantes ao longo do ciclo sazonal. Em ambos os períodos de verão *Nitzschia palea* foi a espécie dominante, enquanto nos períodos de outono, *Sellaphora seminulum* se tornou dominante. Nos períodos de inverno *Gomphonema parvulum* assumiu a dominância sendo substituída na primavera por *Eunotia bilunaris*, nos dois ciclos sazonais amostrados.

Nas estações 2 e 3, embora as amostragens sejam incompletas, observam-se repetições deste mesmo padrão, com *Nitzschia palea* sendo dominante na primavera na estação 3, *Sellaphora seminulum* nos períodos de outono e *Gomphonema parvulum* nos períodos de inverno em ambas as estações.

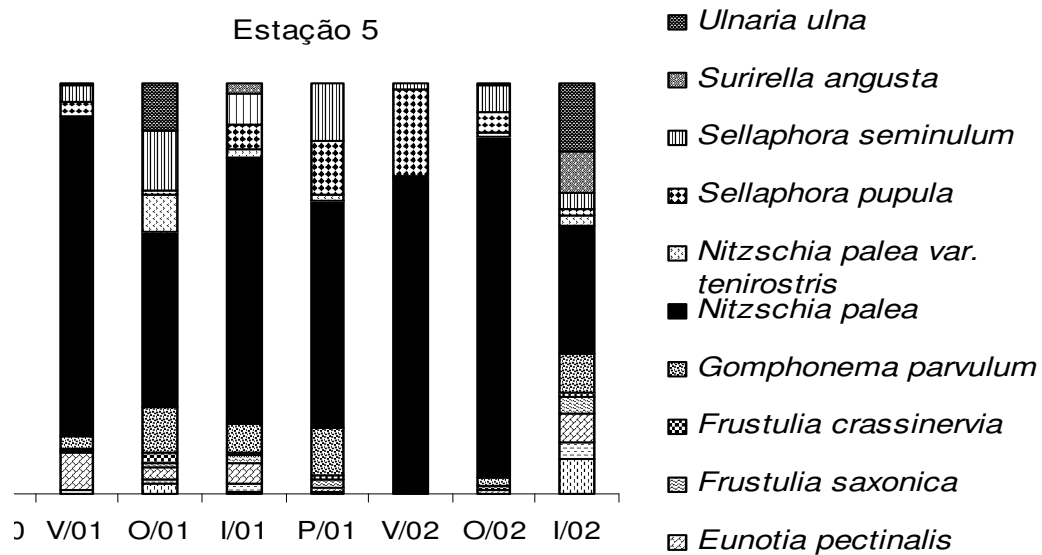
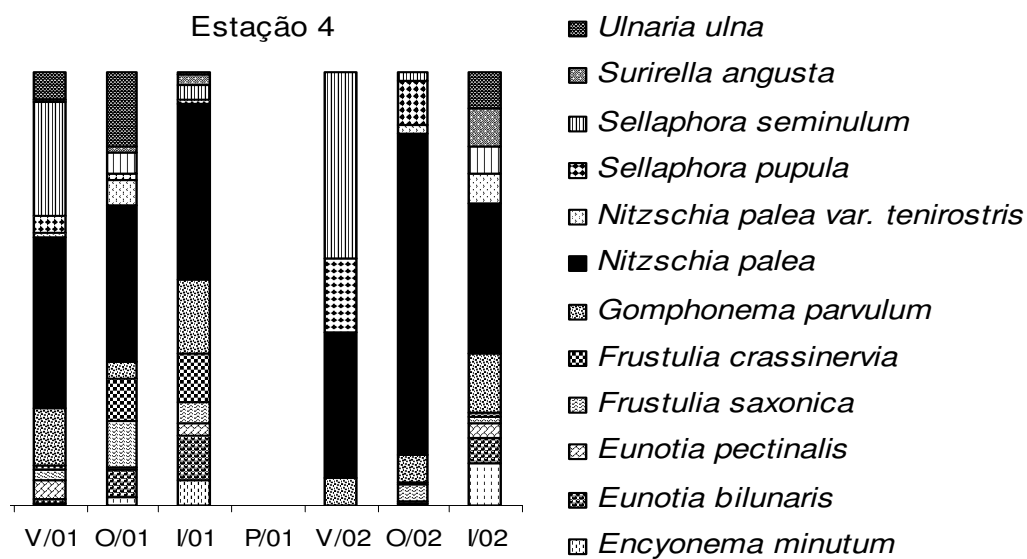
Nas estações 4, 5 e 6 a espécie *Nitzschia palea* assumiu a dominância em quase todos os períodos, embora em alguns períodos sazonais, variando conforme a localidade, *Sellaphora seminulum* assumia a dominância.



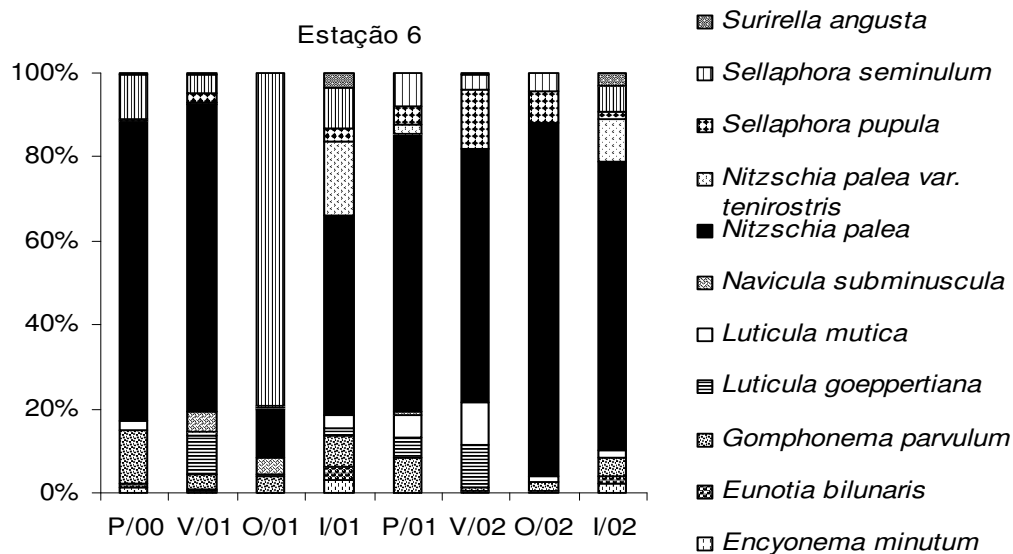
Continuação da Figura 9 ...



Continuação da Figura 9 ...

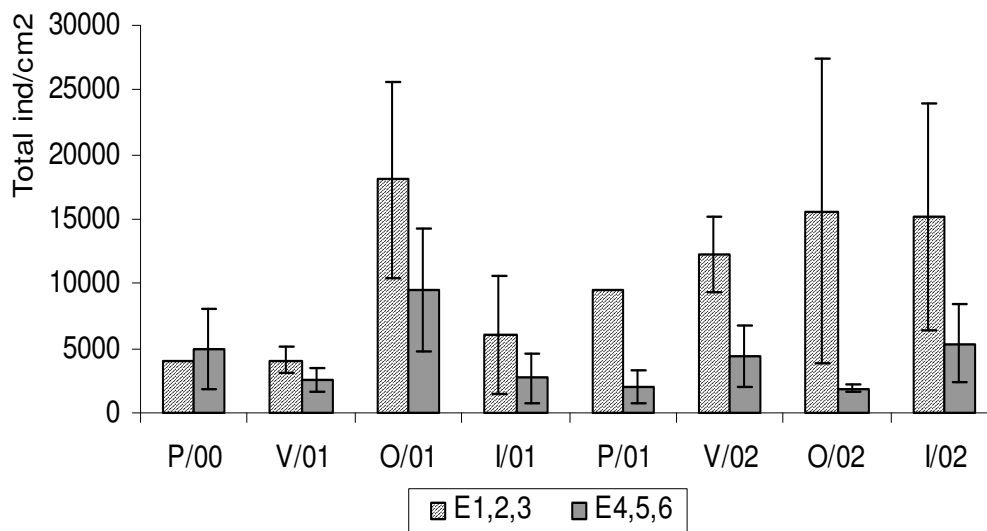


Continuação da Figura 9 ...



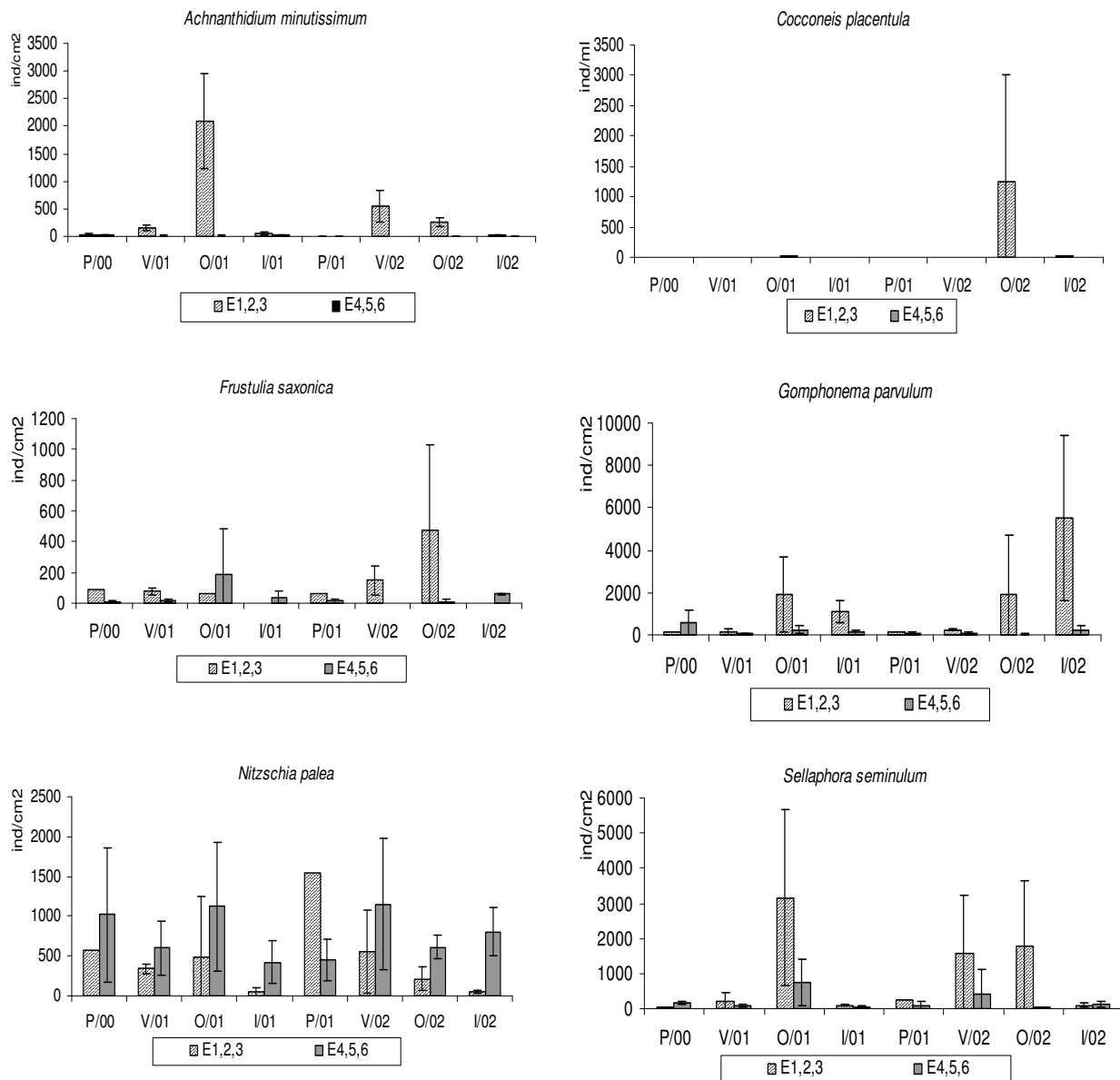
**Figura 9:** Percentual de ocorrência das espécies de diatomáceas epilíticas mais representativas em cada estação de amostragem nas diferentes estações do ano, no período de agosto/2000 a setembro/2002, no rio Gravataí, RS.

A análise quantitativa das diatomáceas epilíticas evidencia também a ocorrência de variação sazonal na densidade total das diatomáceas tanto no trecho superior (estações 1, 2 e 3) quanto no inferior, do rio Gravataí (Figura 10). As maiores densidades foram observadas nos períodos de outono. No ano de 2002 a densidade total das diatomáceas foi também elevada no inverno, embora tenha sido baixa no inverno de 2001. A máxima densidade registrada neste estudo foi 26690 ind/cm<sup>2</sup>, registrada na estação 1, no período de outono de 2001, enquanto a mínima registrada foi de 1039 ind/cm<sup>2</sup>, registrada na estação 6, no período de primavera de 2001.



**Figura 10:** Variação dos valores médios e desvios-padrão da densidade total de diatomáceas (ind/cm<sup>2</sup>) respectivamente no trecho superior (estações 1,2,3) e no trecho inferior (estações 4,5,6) no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS (P= primavera; V=verão; O= outono; I=inverno).

A variação temporal da densidade das espécies mais abundantes ou dominantes é apresentada na figura 11. Nos dois ciclos sazonais estudados, as espécies mais representativas foram *Gomphonema parvulum*, *Nitzschia palea*, *Sellaphora seminulum* e *Achnantheidium minutissimum*. Enquanto algumas espécies estiveram presentes em todos os períodos e em todas as estações de coleta amostradas, como *Nitzschia palea*, *Gomphonema parvulum* e *Sellaphora seminulum*, outras tiveram ocorrência em apenas um período sazonal, como *Cocconeis placentula*, cuja ocorrência esteve restrita aos períodos mais frios, de outono e inverno.



**Figura 11:** Variação dos valores médios e desvios-padrão da densidade das espécies de diatomáceas mais abundantes ( $n^\circ$ . ind/cm<sup>2</sup>), no trecho superior (estações 1,2,3) e no trecho inferior (estações 4,5,6), do rio Gravataí, RS, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002 (P= primavera; V=verão; O= outono; I=inverno).

A Figura 12 apresenta o diagrama resultante da análise de componentes principais correlacionando os parâmetros obtidos para as variáveis físicas e químicas obtidos nos diferentes períodos de amostragem e as estações de coleta ao longo do rio. Obteve-se para o eixo 1 uma explicabilidade de 49,6% e para o eixo 2, 15,8%. O eixo 1 foi positivamente ligado às estações 1, 2 e 3, as quais estiveram correlacionadas com a maior concentração de oxigênio

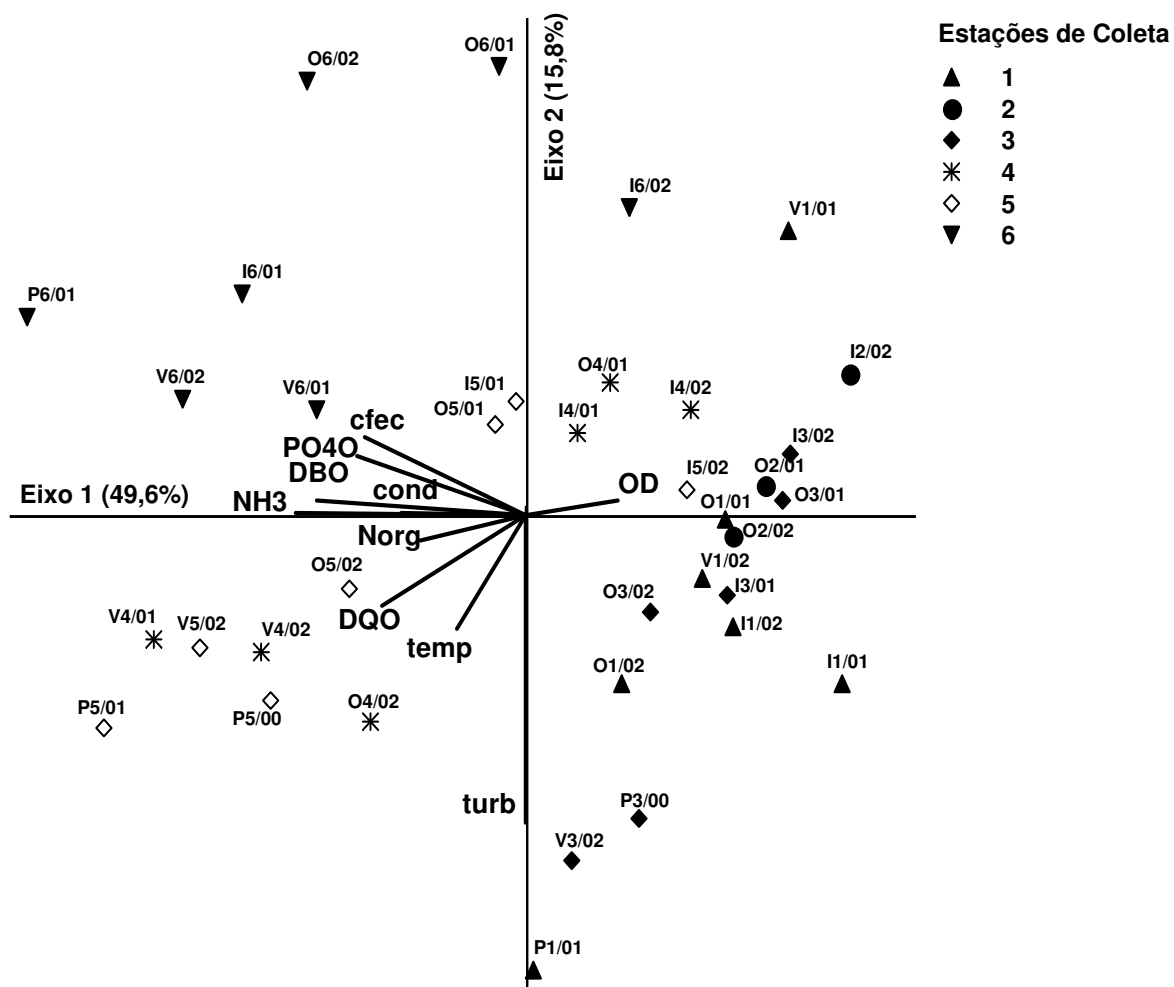
dissolvido na água (0,590). Em oposição, projetam-se negativamente no eixo 1 as estações 4,5 e 6, as quais estiveram correlacionadas com os valores de  $\text{NH}_3$  (-0,936), DBO (-0,894),  $\text{PO}_4\text{O}$  (-0,801), coliformes fecais (-0,783), DQO (-0,739), condutividade (-0,688) e nitrogênio orgânico (-0,635).

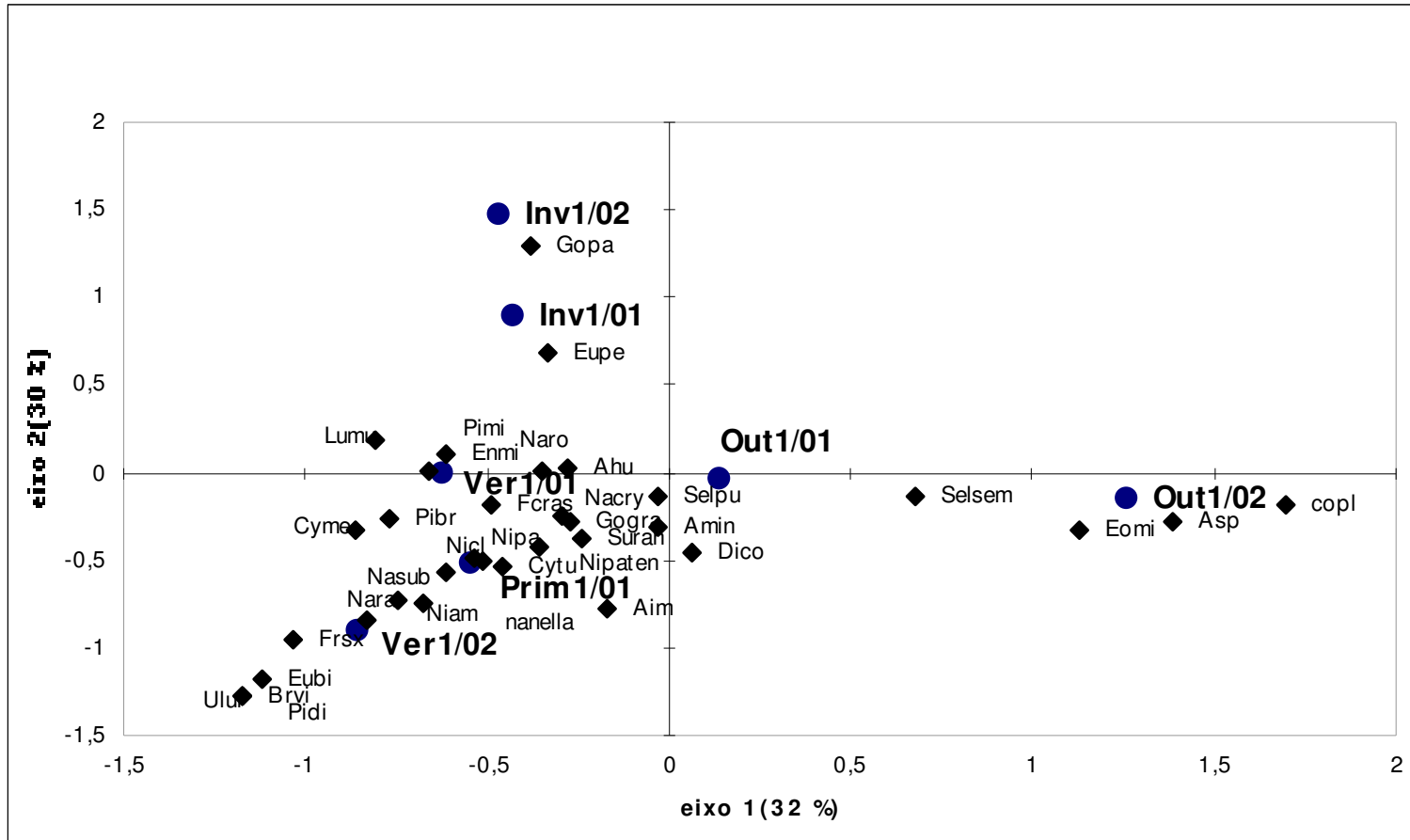
Esse primeiro componente principal sintetiza o efeito preponderante do gradiente de poluição orgânica. Ressalta, ainda, a predominância das condições eutróficas nos períodos de temperatura mais elevada (primavera e verão) em contraposição aos períodos de temperatura mais baixa (inverno e outono). O eixo 2 está formado principalmente pelas variações na turbidez (-0,827), destacando principalmente a nascente (estação 1), que é um ambiente de banhado distinguindo-se por elevada quantidade de material suspenso.

O resultado da análise de correspondência relacionando a densidade das espécies de diatomáceas às estações do ano, é apresentada na Figura 13 e 14. O diagrama obtido para a estação 1, selecionada para representar o trecho superior do rio, evidencia que os outonos de ambos os ciclos sazonais (2001 e 2002) se separam das demais estações, e a esta estação do ano estão associadas as espécies *Cocconeis placentula*, *Eolimna minima*, *Achnanthes impexa* e *Sellaphora seminulum*. Separam-se ainda, em quadrantes opostos, os invernos de ambos ciclos sazonais representados pelas espécies *Gomphonema parvulum* e *Eunotia pectinalis*. Concentram-se em outro quadrante tanto a primavera quanto os verões de ambos os ciclos sazonais, indistintamente observando-se um número elevado de espécies associadas a estas estações do ano.

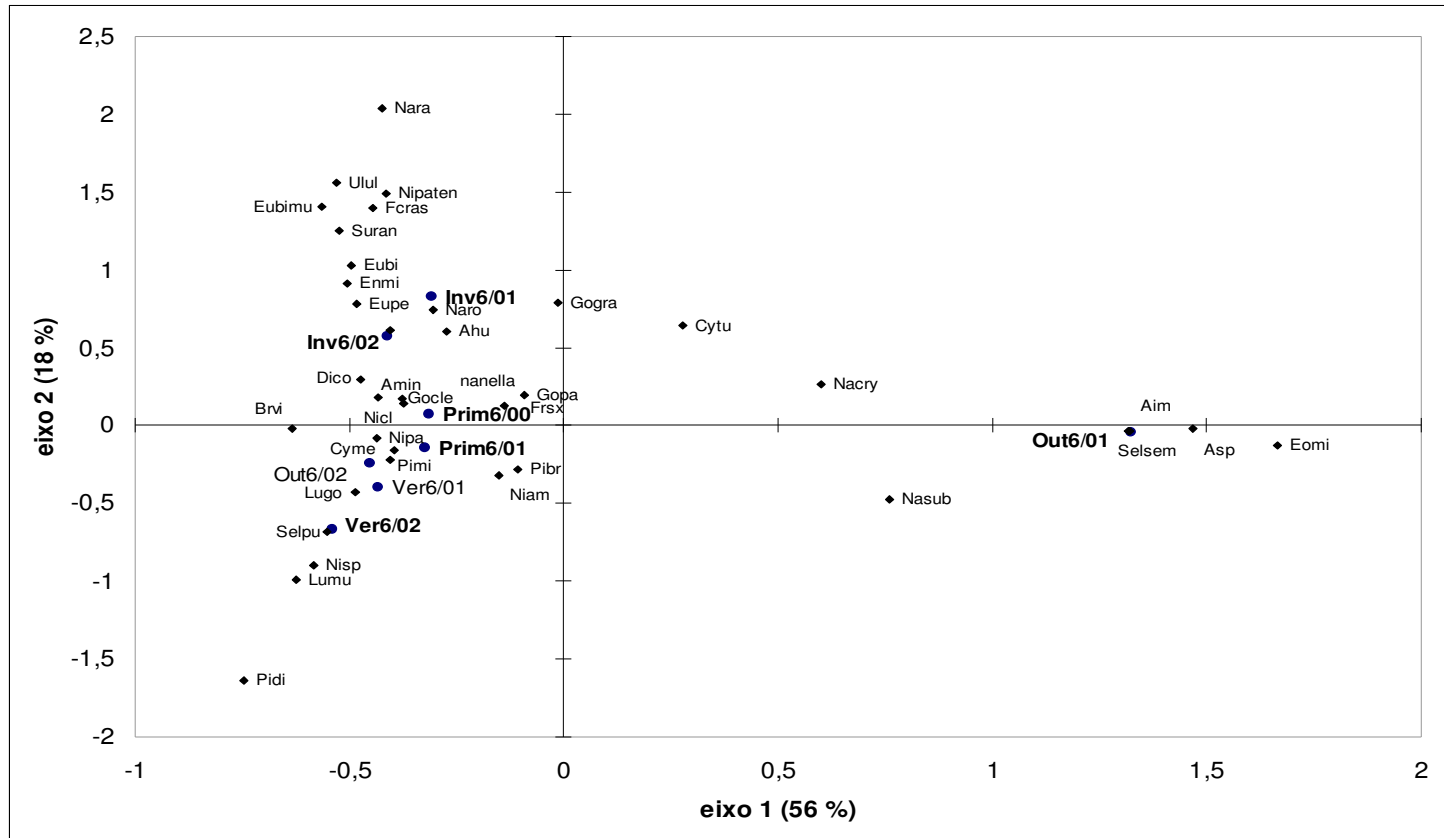
Para a estação 6, representativa do trecho inferior do rio Gravataí, também se separaram em quadrantes opostos o outono de 2001 e os invernos de ambos ciclos sazonais. O outono de 2002, porém, não se diferenciou da primavera e verão. Ao outono de 2001 estiveram associadas as espécies *Achnanthes impexa* e *Selaphora seminulum* e no outono de 2002, *Luticula goeppertiana*.







**Figura 13:** Gráfico de ordenação por correspondência das espécies dominantes e abundantes, conforme as diferentes estações do ano na estação 1, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS.



**Figura 14:** Gráfico de ordenação por correspondência das espécies dominantes e abundantes, conforme as diferentes estações do ano na estação 6, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS.

## DISCUSSÃO

Dentre os fatores que influenciam as mudanças sazonais na composição de espécies do perifiton destacam-se, de acordo com Ross (1983), a disponibilidade de nutrientes, a luz, as características do substrato e a herbivoria. A redução de fósforo na coluna d'água poderia ainda inibir o desenvolvimento do perifiton (Hansson, 1988).

Segundo Wetzel (1993), entre os diversos grupos de algas componentes do perifíton, as diatomáceas se caracterizam por resistirem a temperaturas mais baixas e também por adaptarem-se a baixas intensidades luminosas, o que lhes permitem permanecerem em ambientes com ampla variação dos fatores ambientais. Mais freqüentemente, no entanto, ocorrem substituições de espécies ao longo do ciclo sazonal, na medida em que ocorrem variações nas condições abióticas, proporcionando o favorecimento de uma ou de outra espécie.

Na bacia do rio Gravataí existe uma sazonalidade bem marcada, tanto climática quanto hidrológica. As variações na temperatura durante o período de estudo seguiram o padrão típico dos verões quentes com médias de temperatura do ar ao redor de 30°C e invernos frios com valores médios ao redor de 20°C. O outono e a primavera tiveram temperaturas mais amenas com valores médios entre 22 e 25°C. A variação na temperatura atmosférica foi acompanhada de amplas variações na temperatura da água, para a qual se registrou uma amplitude máxima de variação de 15°C. Embora não avaliadas no presente estudo, importantes variações na radiação solar e na intensidade luminosa nos ambientes aquáticos devem também ocorrer em virtude da localização geográfica da bacia, à quase 30° de latitude Sul.

De maneira geral, no outono e no inverno observou-se menor turbidez, menor concentração iônica e de nutrientes e maiores concentrações de oxigênio dissolvido para o rio Gravataí. Estas condições estiveram relacionadas à maior pluviosidade e vazões mais elevadas nestas estações do ano.

As diatomáceas epilíticas também tiveram uma marcada sazonalidade apresentando mudanças na composição de espécies e mudanças nas densidades populacionais. Houve uma sucessão de espécies, com algumas apresentando dominância em um ou outro período sazonal. Assim, *Cocconeis placentula*, *Achnantes* sp, *Sellaphora seminulum* e *Eolimnia minima* foram espécies tipicamente abundantes nos períodos de outono, enquanto *Gomphonema parvulum*, *Eunotia pectinalis* e *Navicula radiosa* atingiram maiores densidades no inverno. Oliveira (1998), no

arroyo Sampaio, RS, verificou também uma substituição de *Cocconeis placentula*, abundante no período de outono e primavera, por espécies do gênero *Navicula*, *Gomphonema* e *Synedra* em outros períodos do ano, similarmente ao observado para o trecho superior do rio Gravataí, no presente estudo.

Rodrigues & Lobo (2000), em um estudo realizado com diatomáceas epilíticas no arroyo Sampaio, RS, registraram as maiores densidades de *Achnanthydium minutissimum*, *Gomphonema parvulum* e *Sellaphora seminulum* no período de temperaturas mais baixas, no inverno, similarmente ao observado no presente estudo. Por outro lado, *Sellaphora seminulum* e *Achnanthydium minutissimum* foram as espécies mais abundantes na primavera nos arroios Sampaio e Bonito, RS, estudados por Niemeyer (2001). Nestes mesmos sistemas *Sellaphora seminulum*, *Geisleria aikenensis*, *Nitzschia palea*, *Gomphonema parvulum* e *Navicula rostellata* foram as espécies mais abundantes no outono.

Parece provável que embora as temperaturas mais baixas ou mais elevadas favoreçam diferentes espécies, as diatomáceas epilíticas apresentam tolerâncias mais amplas a este fator, e que o sucesso ou a dominância de uma ou outra espécie nos diversos períodos sazonais seja influenciada por outros fatores.

Um outro fenômeno interessante foi observado em relação à sucessão temporal das espécies de diatomáceas epilíticas no rio Gravataí. Na trecho superior do rio, menos impactada, com maior concentração de oxigênio dissolvido e menores concentrações de nutrientes, observa-se uma substituição das espécies de diatomáceas abundantes em cada período como *Eunotia pectinalis* e *Gomphonema parvulum*. Já no trecho inferior observa-se um aumento da dominância por uma ou duas espécies, *Nitzschia palea* e *Sellaphora seminulum*, as quais permanecem dominantes através do ciclo sazonal, não ocorrendo sucessão ou substituição de espécies, como observado para o trecho superior do rio.

Considerando-se que o trecho inferior do rio Gravataí é bastante eutrofizado, este se torna um ambiente bastante seletivo, favorecendo apenas as espécies mais tolerantes. Estas espécies são geralmente resistentes, toleram amplas flutuações nas variáveis ambientais e possuem maior habilidade competitiva em relação às espécies características de ambientes menos enriquecidos (Sommer, 1988). O presente estudo evidenciou que as espécies *Nitzschia palea* e *Sellaphora seminulum* se tornaram gradativamente dominantes e permanentes ao longo do ciclo sazonal no

trecho inferior do rio, mascarando o padrão de sucessão de espécies ocorrido em função, da sazonalidade climática e hidrológica na bacia hidrográfica do rio Gravataí.

A maior densidade das diatomáceas epilíticas no outono, em ambos os ciclos sazonais avaliados, sugere ser esta a época mais favorável a este grupo, embora a disponibilidade dos nutrientes inorgânicos dissolvidos na água seja baixa neste período, principalmente em relação ao fósforo. No entanto, é reconhecido o fato das diatomáceas terem menores requerimentos de fósforo do que outros grupos de algas (Holm & Armstrong, 1981; Sommer, 1988).

O outono é também o período de maiores vazões no rio Gravataí, o que determina um aumento da turbulência na coluna d'água, sem contudo acarretar um aumento na turbidez. Para as diatomáceas epilíticas, presas ao substrato, o aumento da vazão e da turbulência pode significar a rápida renovação de nutrientes ao redor das células, favorecendo-as em períodos de menor disponibilidade de nutrientes. Embora as concentrações sejam mais baixas, esta desvantagem é compensada pela rápida renovação.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BATE, N.; NEWALL, P. Techniques for the use of diatoms in water quality assessment: how many valves? In: DIATOM SYMPOSIUM 15<sup>th</sup> 1998. p. 153-160.

BEHNING, A. *Das leben der wolga: zugleich eine einfuhrung in die flussbiologie*. In: THIENEMANN, A., Ed. Die Binnengewasser. V. Stuttgart, 162p. 1928.

BIGGS, B.J.F. Pattern in benthic algae of streams. In: STEVENSON, R.; BOTHWELL, M.L.; LOWE, R.L. (Eds). *Algae ecology. freshwater benthic ecosystems*. San Diego: Academic Press, 1986. p. 375-400. 1996. (Aquatic Ecology Series).

CALIJURI, M.C. A comunidade fitoplanctônica em um reservatório tropical (Barra Bonita,SP). Tese de livre docência. USP – Escola de Engenharia de São Carlos, SP. 1999.

DNOS. *Planejamento Integrado dos Recursos Hídricos da Bacia doRio Gravataí*. Projeto de cooperação técnica Brasil - Alemanha. Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas. 3 vol. II. 1985.

GERMAIN, H. *Flore des diatomées eaux douces et saumâtres*. Paris: Boubée. 1981.444 p.

HANSSON, L.A. Effects of competitive interactions on the biomass developments of planktonic and periphytic algae in lakes. *Limnol. Oceanogr.* V. 33, n.1, p.121-128. 1988.

HOEK, C. *et al. Algae: an introduction to phycology*. 2 ed. Cambridge University Press. 2 ed. 627p. 1995.

HOLM, N. P.; ARMSTRONG, D. E. Role of nutrient limitation and competition in controlling the population of *Asterionella formosa* and *Microcystis aeruginosa* in semicontinuous culture. *Limnol.Oceanogr.*, v.26, p. 622 – 634. 1981.

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas *Identificação das Alternativas Possíveis e Prováveis para a Regularização das Vazões do rio Gravataí*. Capítulo 7. 2002.

KOBAYASI, H.; MAYAMA, S. Most pollution tolerant diatoms of severely polluted rivers in the vicinity of Tokyo. *Japanese Journal of Phycology*, Tokyo v. 30, p.188-196, 1982.

KRAMMER K.; LANGE-BERTALOT H. *Bacillariophyceae: Naviculaceae*, In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. eds Ettl H., Gerloff I., Heyning H., Mollenhauer D., v.2, n.1 (1): 876 p. Stuttgart, G. Fischer. 1986.

KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. *Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Ephithemiaceae, Surirellaceae*. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Eds Ettl H., Gerloff I., Heynig H., Mollenhauer D., 2 (2):595 p. Stuttgart, G. Fischer. 1988.

KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. *Bacillariophyceae: centrales, fragilariaceae, Eunotiaceae*. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. eds Ettl H., Gerloff I., Heynig H., Mollenhauer D., 2(3): 575 p. Stuttgart, G. Fischer. 1991a.

KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. *Bacillariophyceae: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema*. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Eds. Ettl H., Gerloff I., Heynig H., Mollenhauer D., 2 (4): 473 p. Stuttgart, G. Fischer. 1991b.

KRAMMER, K. *Pinnularia eine Monographie der europäischen Taxa*, Bibliotheca Diatomologica 26: 353p. Stuttgart, J. Cramer. 1992.

LANGE-BERTALOT, H. Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedw. Beih.*, Weiheim, v. 64, p. 285-304. 1979.

LANGE-BERTALOT, H. *Navicula sensu stricto 10 Genera Separated from Navicula sensu lato Frustulia, Diatoms of Europe 2*: 526 p. A.R.G. Gantner Verlag K.G. 2001.



LOBO, E.; KOBAYASI, H. Shannon's diversity index applied to some freshwater diatom assemblages in the Sakawa River System (Kanagawa Pref. Japan) and its use as an indicator of water quality. *The Japanese Journal of Phycology*, Tokio, v.38, n.3, p.229-243. 1990.

LOBO, E.A.; BUSELATO-TONIOLLI, T.C. Tempo de exposição de um substrato artificial para o estabelecimento da comunidade perifítica no curso inferior do Rio Caí, Rio Grande do Sul, Brasil. *Rickia*, São Paulo, v.12, p.:35-51. 1985.

LOBO, E.A.; LEIGHTON, G. Estruturas de las fitocenosis planctonicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. *Revista de Biología Marinha* v. 22, n.1,p. 143-170. 1986.

LOBO, E.A. *Comparative study of the approaches for evaluation of river water quality using epilithic diatom assemblages*. Thesis of Doctor-Tokyo University of Fisheries) Tokyo: Tokyo University of Fisheries. Japão. 237p. 1995.

NIEMEYER, J.C. *Estudo comparativo dos sistemas de sapróbios desenvolvidos no sul do Brasil, na bacia hidrográfica do Arroio Sampaio, RS, utilizando biocenoses de algas diatomáceas epilíticas*. (Monografia de Bacharelado em Ciências Biológicas) Universidade de Santa Cruz do Sul. Santa Cruz do Sul, RS. 89p. 2001.

OLIVEIRA, M.A., SCHWARZBOLD, A. Influência de fatores abióticos sobre a estrutura da comunidade perifítica de limnótopos da Bacia do Arroio Sampaio, Mato Leitão, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia*. Sér. Bot. Porto Alegre. n. 51(I) p. 39-61. 1998.

PATRICK, R.; REIMER, C.W. The diatoms of the United States. *Academy of Natural Sciences*, Philadelphia v.2, n.1, 688 p. 1966.

PATRICK, R.; REIMER, C.W. The diatoms of the United State. *Academy of Natural Sciences* Philadelphia. v.2, n.1, (1): 213p. 1975.

REYNOLDS, C.S. Phytoplankton peridocioty: the interations of form, function and environmental variability. *Freshwater Biology* v.14, p. 111-142. 1984.

RODRIGUES, L.M.; LOBO, E. A. Análise da estrutura de comunidades de diatomáceas epilíticas no arroio Sampaio, município de Mato Leitão, RS, Brasil. *Caderno de pesquisas, Ser. Bot.* Santa Cruz do Sul, v.12, n.2, p.5-27. 2000.

ROOS, P. J. *Dynamics of periphytic communities*. In: WETZEL, R.G. (Ed.) *Periphyton of freshwater ecosystems*. Dr. W. Junker Publishers, The Hangu: p.5-10. 1983.

SANDGREN, C.D. *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. 2 ed. Cambridge: University Press 442p. 1988.

SCHÄFER, A. *Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais*. Porto Alegre: Ed. da Universidade. UFRGS, 1985. 533 p.

SLÁDECEK V. System of water quality from a biological point of view. *Archiv für Hydrobiology, Ergebnisse der Limnologie*, v.7, p.1-218. 1973.

SLÁDECKOVÁ, A. Limnological investigation methods for the periphyton ("Aufwuchs") community. *Bot. Ver.*, v. 28, p. 286-350. 1962.

SOMMER, U. Growth and survival strategies of plankton diatoms. In: SANDGREN, C. D. (Ed.) *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. Cambridge: Cambridge University Press. 1988. p. 227 – 260.

WETZEL, R.G. Recommendation for future research on periphyton. In: WETZEL, R.G. (Ed.). *Periphyton of freshwater ecosystems*. The Hague, Dr. W. Junk, 1983. p. 339-346. (Developments in Hidrobiology, 17). 1983.

## **CAPÍTULO 4**

## AS DIATOMÁCEAS EPILÍTICAS COMO INDICADORAS DA INTEGRIDADE BIOLÓGICA NO RIO GRAVATAÍ, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.

RESUMO: As algas diatomáceas, por sua ampla ocorrência e por responderem rapidamente às mudanças ambientais, têm sido utilizadas como organismos indicadores de contaminação orgânica e eutrofização. No presente estudo, o potencial das diatomáceas epilíticas como organismos indicadores de poluição orgânica foi avaliado do rio Gravataí, RS (latitude 29°45' a 30°12'S e longitude 50°27' a 51°12'W), no qual predominam atividades agropecuárias no curso superior e poluição orgânica por efluentes urbanos e industriais no curso inferior. As diatomáceas epilíticas foram amostradas oito vezes no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, em seis localidades. As espécies foram identificadas, determinando-se a densidade e abundância relativa das diferentes populações. Análises das principais variáveis físicas e químicas foram simultaneamente realizadas. Por meio de análise multivariada concluiu-se que as concentrações de ortofosfato, amônia e nitrogênio orgânico total, a DBO-5 e coliformes fecais caracterizaram o gradiente de poluição ao longo do rio. Observaram-se alterações na abundância e ou na composição de espécies ao longo do gradiente de poluição. Os dados foram analisados por meio do método TWINSpan (análise de espécies indicadoras de dupla-entrada), visando a identificação das espécies indicadoras. As espécies foram classificadas em três grupos distintos: o grupo A, incluindo espécies mais tolerantes à poluição, representado por *Luticola goeppertiana*, *Luticola mutica*, *Eolimna subminuscula*, *Nitzschia palea* e *Sellapora pupula*; o grupo B, representado por espécies tolerantes e de ampla distribuição, como *Eunotia bilunaris*, *Frustulia crassinervia*, *Frustulia saxonica*, *Navicula cryptocephala*, *Nitzschia palea* var. *tenuirosstris*, *Navicula cryptotenella*, *Surirella angusta*, *Pinnularia microstauron* e *Ulnaria ulna* e o grupo C, das espécies menos tolerantes à poluição, representado por *Eunotia pectinalis* e *Gomphonema parvulum*. As espécies selecionadas para o grupo A e C poderão ser utilizadas no monitoramento da qualidade da água na bacia do rio Gravataí.

**Palavras-chave:** Diatomáceas epilíticas, bioindicadores, poluição, rio Gravataí

## EPILITHIC DIATOMS AS INDICATORS OF BIOLOGICAL INTEGRITY IN RIVER GRAVATAÍ, RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL.

**ABSTRACT:** Epilithic diatoms as water quality indicators in Gravataí River, Rio Grande do Sul State, Brazil. Diatoms have been largely used as bioindicators of organic pollution and eutrophication due to the wide distribution and rapid response to environmental changes. In the present study the potential use of epilithic diatoms as indicators of organic pollution was evaluated for Gravataí River, RS, (latitude 29°45'-30°12'S and longitude 50°27'-51°12'W). The river suffers agricultural impacts in the upper portion and urban and industrial organic pollution in the lower reaches. Epilithic diatoms were sampled eight times from September 2000 to August 2002, at six sites. Species were identified and densities and relative abundances of populations determined. The main physical and chemical variables were simultaneously measured. Multivariate analyses allowed to conclude that the concentrations of orthophosphate, ammonium, total organic nitrogen, DBO<sub>5</sub> and faecal coliforms characterized a pollution gradient along the river. Changes in abundance and/or species composition occurred along a pollution gradient. Data were analyzed using the TWINSpan method (Two-Way Indicator Species Analysis) in order to identify bioindicator species. Species were classified according to three groups: Group A, including species more tolerant to heavy pollution, represented by: *Luticola goeppertiana*, *Luticola mutica*, *Eolimna subminuscula*, *Nitzschia palea* and *Sellalpora pupula*; Group B, represented by tolerant and widely distributed species such as *Eunotia bilunaris*, *Frustulia crassinervia*, *Frustulia saxonica*, *Navicula cryptocephala*, *Nitzschia palea* var. *tenuirosstris*, *Navicula cryptotenella*, *Surirella angusta*, *Pinnularia microstauron* and *Ulnaria ulna* and Group C, with less tolerant pollution species represented by *Eunotia pectinalis* and *Gomphonema parvulum*. The species selected in group A and C can be used for monitoring of water quality in Gravataí River.

**Key-words:** epilithic diatoms, bioindicators, pollution, Gravataí River

## INTRODUÇÃO

A alta concentração populacional e a multiplicidade das atividades industriais e agrícolas fazem com que as bacias hidrográficas próximas a grandes centros urbanos sofram crescentes impactos ambientais, principalmente no que diz respeito aos resíduos domésticos e industriais. A intensidade dos impactos depende de um conjunto complexo de fatores, como o volume e a carga dos efluentes, a vazão do rio receptor, entre outros.

A avaliação dos fatores bióticos e abióticos é igualmente importante para o monitoramento da qualidade da água em ecossistemas aquáticos. Contudo, os métodos para análises físicas e químicas da água permitem apenas o conhecimento das condições ambientais no instante em que são realizadas as medições. As medições das variáveis ambientais durante um período mais extenso, permitem caracterizar o sistema com mais precisão. Os métodos de análises físicas, químicas e os dados biológicos são mutuamente complementares e, em conjunto, constituem a base para a avaliação das condições de poluição de um sistema aquático (Lobo & Callegaro, 2000).

Diversas comunidades têm sido utilizadas para a avaliação da qualidade de água, em diferentes ambientes. De acordo com Hellowell (1986) os dois grupos mais utilizados para avaliar a qualidade de águas doces são os invertebrados bentônicos e as algas. Num estudo comparativo de alguns métodos ecológicos para avaliar a qualidade da água, Katoh (1992) concluiu que as diatomáceas e os invertebrados apresentam características diferentes como organismos indicadores. Prygiel & Coste (1993) concluíram que as diatomáceas oferecem informações principalmente de contaminação orgânica dos rios.

As diatomáceas, por ocorrerem usualmente ao longo de todo o rio e também por responderem rapidamente às mudanças ambientais, têm sido bastante utilizadas como organismos indicadores de poluição orgânica e eutrofização (Descy & Ector, 1999). Espécie indicadora é geralmente definida uma espécie que apresenta requerimentos específicos para um conjunto de variáveis físicas e químicas, de forma que mudanças na sua presença /ausência, número, morfologia, fisiologia ou comportamento indicará que as atuais condições físicas e químicas encontram-se fora dos limites de tolerância daquela espécie (Johnson *et al.* 1993).

Diversos estudos têm procurado a aplicação de uma metodologia padronizada para o monitoramento da qualidade da água em ambientes de águas correntes baseada na comunidade de diatomáceas, entretanto estes estudos têm sido realizados principalmente em regiões temperadas (Descy & Coste, 1990; Whitton *et al.*, 1991; Whitton & Rott, 1996) e embora alguns estudos já tenham sido realizados em sistemas tropicais e particularmente no Brasil (Lobo & Torgan, 1988; Lobo *et al.* 1996, 1998, 2000,2004); Rodrigues & Lobo, 2000; Mourthé-Junior, 2000; Souza, 2002), o conhecimento nesta área é ainda insuficiente.

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a estrutura da comunidade de diatomáceas no rio Gravataí, RS, Brasil, incluindo as alterações na composição de espécies, no tamanho das populações, bem como nas relações de dominância ao longo de um gradiente de poluição, visando contribuir para o desenvolvimento de uma metodologia de monitoramento da qualidade da água.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Gravataí está localizada na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Estende-se entre Porto Alegre e o delta do rio Jacuí a oeste, e a zona de lagoas da costa do Atlântico a leste, entre as longitudes 50°27' e 51°12' oeste. Ao norte faz limite com a bacia hidrográfica do rio dos Sinos, e ao sul com os banhados e arroios que escoam para a laguna dos Patos, entre as latitudes de 29°45' e 30°12' sul (DNOS, 1985).

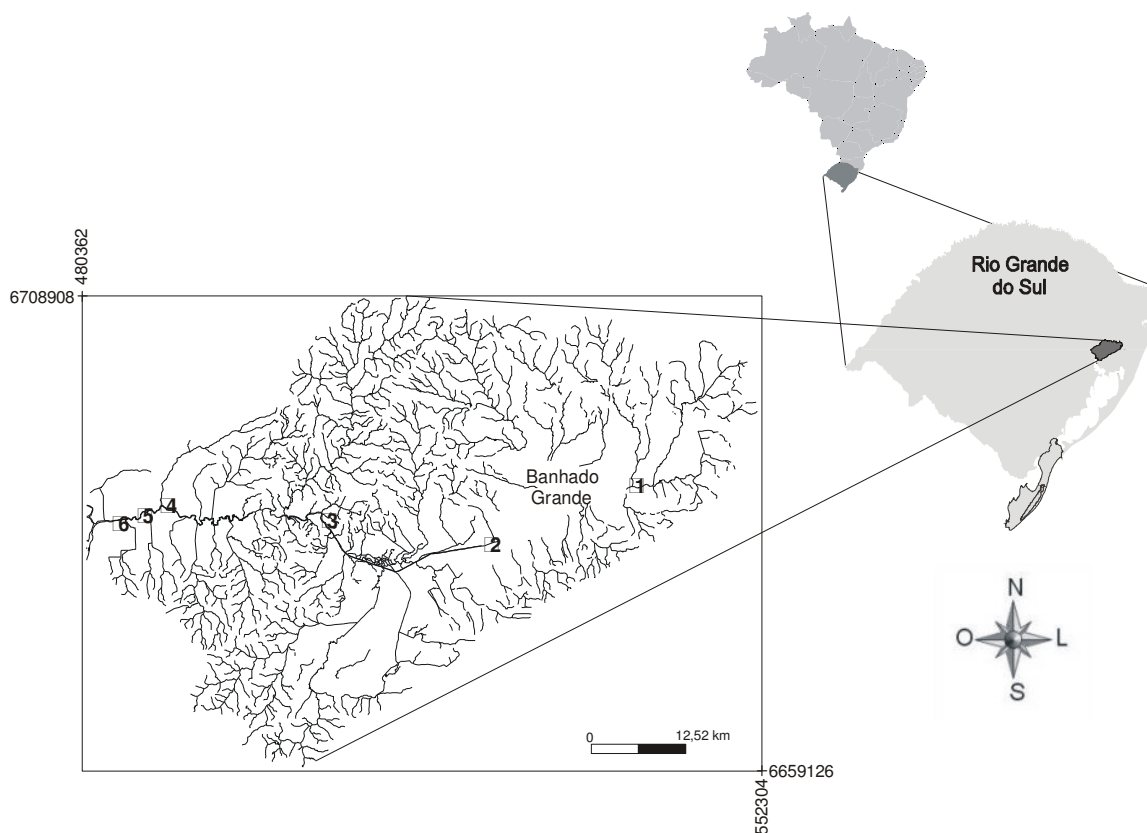
Esta bacia tem cerca de 2020 km<sup>2</sup> de área, estendendo-se de Porto Alegre até a zona das lagoas, na costa do oceano Atlântico. Inclui total ou parcialmente os municípios de Santo Antônio da Patrulha, Taquara, Glorinha, Gravataí, Alvorada, Viamão, Cachoeirinha, Canoas e Porto Alegre. Situada na região metropolitana de Porto Alegre, RS é responsável pelo abastecimento público de água para cerca de quinhentos mil habitantes, em cinco municípios. Cerca de dois terços desta bacia drena para o Banhado Grande e o restante para o rio propriamente dito. Na porção central, engloba uma área úmida constituída por

um conjunto de ecossistemas de banhados, matas paludosas e campos inundáveis conhecida por Banhado Grande, desempenhando importante função na hidrodinâmica desse manancial e contendo grande diversidade biológica (FZB, 1976). O Banhado Grande, que atua como regulador de vazão, originalmente ocupa uma área de 450 Km<sup>2</sup>, sendo reduzido de 50 Km<sup>2</sup>, em função do uso da água para irrigação das culturas de arroz (FEPAM, 1992/94). Apresenta duas regiões com características de ocupação distintas: uma no curso superior do rio, com intensa atividade agropecuária, e outra no trecho inferior do rio, com uso predominantemente urbano e industrial.

### **Coleta das Diatomáceas Epilíticas**

Amostras de algas diatomáceas epilíticas foram coletadas no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, com periodicidade trimestral abrangendo as quatro estações do ano, em seis estações de amostragem estabelecidas a montante e a jusante das principais fontes poluidoras na bacia do rio Gravataí (Fig.1).





**Figura 1:** Localização da Bacia Hidrográfica do rio Gravataí, no estado do Rio Grande do Sul, e das seis estações de amostragem ao longo do rio Gravataí. E1=arroio Chico Lomã, município de Santo Antônio da Patrulha; E2= Fazenda Juca Barcelos, município de Glorinha; E3= Balneário Passo dos Negros, município de Gravataí; E4=Captação da base aérea, município de Porto Alegre/Canoas; E5=Arroio da Areia, município de Porto Alegre/Canoas; E6= Foz do rio Gravataí, município de Porto Alegre.

Na estação 2 as amostragens foram reduzidas, tendo sido realizadas apenas no outono de 2001 e 2002 e no inverno de 2002, pelo fato de que nos outros períodos os suportes contendo os substratos não foram encontrados.

As diatomáceas epilíticas foram amostradas em substratos de pedras (seixo rolado) previamente colocados na sub-superfície do rio (profundidade de 20 cm), utilizando, como suporte, flutuadores de isopor, instalados em seis estações de amostragem localizadas ao longo do rio. Na colocação dos suportes e substratos, embora colocados próximo às margens foram evitados os locais sombreados. O tempo de exposição das pedras no rio foi

de aproximadamente quatro semanas, conforme os procedimentos recomendados por Lobo & Buselato-Toniolli (1985) e as amostragens foram realizadas a cada três meses. As amostragens das diatomáceas epilíticas na estação 2 foram acidentalmente reduzidas pelo desaparecimento dos suportes contendo os substratos.

As coletas para análise quantitativa foram feitas por meio de raspagem das pedras, com uma escova de dente, correspondendo a uma área de 25 cm<sup>2</sup>. Em cada estação de amostragem, três pedras foram raspadas (75 cm<sup>2</sup>) e lavadas com água destilada formando uma amostra composta fixada com formaldeído 4%. Após este procedimento, a amostra composta foi homogeneizada, retirando-se uma alíquota de 40mL. O material foi oxidado com permanganato de potássio e ácido clorídrico concentrado. Uma alíquota (1mL) da amostra oxidada foi depositada e montada em lâmina permanente para posterior observação, utilizando-se a resina Naphrax®. Para a contagem das algas foram utilizados os procedimentos descritos por Kobayasi & Mayama (1982) e Lobo (1995a). Para cada amostra foram realizadas contagens em transecções, sendo contadas no mínimo 400 valvas, conforme a metodologia estabelecida por Bate & Newall (1998). Os resultados foram expressos em número de ind/cm<sup>2</sup>.

Para a identificação dos táxons ao nível específico e infra-específico, as diatomáceas epilíticas foram observadas e fotografadas em microscópio ótico binocular, com aumento de 1000 vezes. As amostras do material quantitativo e qualitativo foram registradas sob os números de HAS de 103699 a 103813 e estão depositadas no Herbário Prof. Dr. Alarich R. H. Schultz (HAS), do Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (MCN/FZB). Na identificação das diatomáceas foram utilizadas as seguintes obras taxonômicas: Patrick & Reimer (1966, 1975), Germain (1981), Krammer (1992), Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, 1991b), Lange-Bertalot (1979, 2001) e Lobo *et. al.* (2002).

Para a determinação das espécies dominantes e abundantes foi seguido o critério de Lobo & Leighton (1986), sendo consideradas dominantes as espécies cujas densidades atingiram valores acima de 50% da densidade total da amostra e espécies abundantes, aquelas cujas densidades superaram a densidade média das diferentes espécies em cada amostra.

## Variáveis Ambientais

Simultaneamente às coletas de algas foram realizadas medições das variáveis temperatura da água e do ar, condutividade, turbidez, pH, concentração de oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio após 5 dias (DBO-5), demanda química de oxigênio (DQO), concentrações de amônio, nitrogênio orgânico total, ortofosfato dissolvido, fosfato total, cloretos e o número de coliformes fecais, segundo as metodologias estabelecidas por APHA, 1992. (dados fornecidos pela Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul -FEPAM e pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto de Porto Alegre - DMAE).

## Análises dos Dados

Uma análise de discriminante foi realizada relacionando-se as variáveis ambientais: temperatura da água (Temp), turbidez (Turb), cloretos (CL) , condutividade (cond), pH (pH), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio após 5 dias (DBO), oxigênio dissolvido (OD), amônio (NH<sub>3</sub>), nitrogênio orgânico (Norg), nitrogênio total (NT), ortofosfato PO<sub>4</sub>O , fosfato total (PO<sub>4</sub>T) e os coliformes fecais (colfec) com os períodos e os locais amostrados. A mesma análise foi similarmente realizada para as espécies mais abundantes em relação ao tempo e estações de amostragem. Os dados foram estandardizados através das distâncias dos quadrados de Mahalanobis entre grupos.

Com o objetivo de identificar as possíveis espécies indicadoras utilizou-se o programa TWINSpan (análise de dupla entrada para espécies indicadoras), que consiste em uma técnica hierárquica que classifica simultaneamente espécies e amostras, conforme descrito por Hill (1979). A análise seguiu a configuração das pseudoespécies com os níveis de dicotomia de 0,0; 0,02; 0,05; 0,10; 0,20; a fim de preservar a informação quantitativa dos dados. Através da matriz da abundância relativa para as espécies abundantes e dominantes, e de uma matriz de categorias classificadas conforme o resultado da análise de TWINSpan (grupos A, B e C) foi realizada uma análise para identificar espécies indicadoras. Utilizou-se o teste de Monte Carlo e o valor indicador calculado com o método de Dufrene & Legendre (1997).

As espécies indicadoras foram classificadas nos grupos A, B e C de acordo com os critérios estabelecidos por Lobo *et al.* (2002).

## RESULTADOS

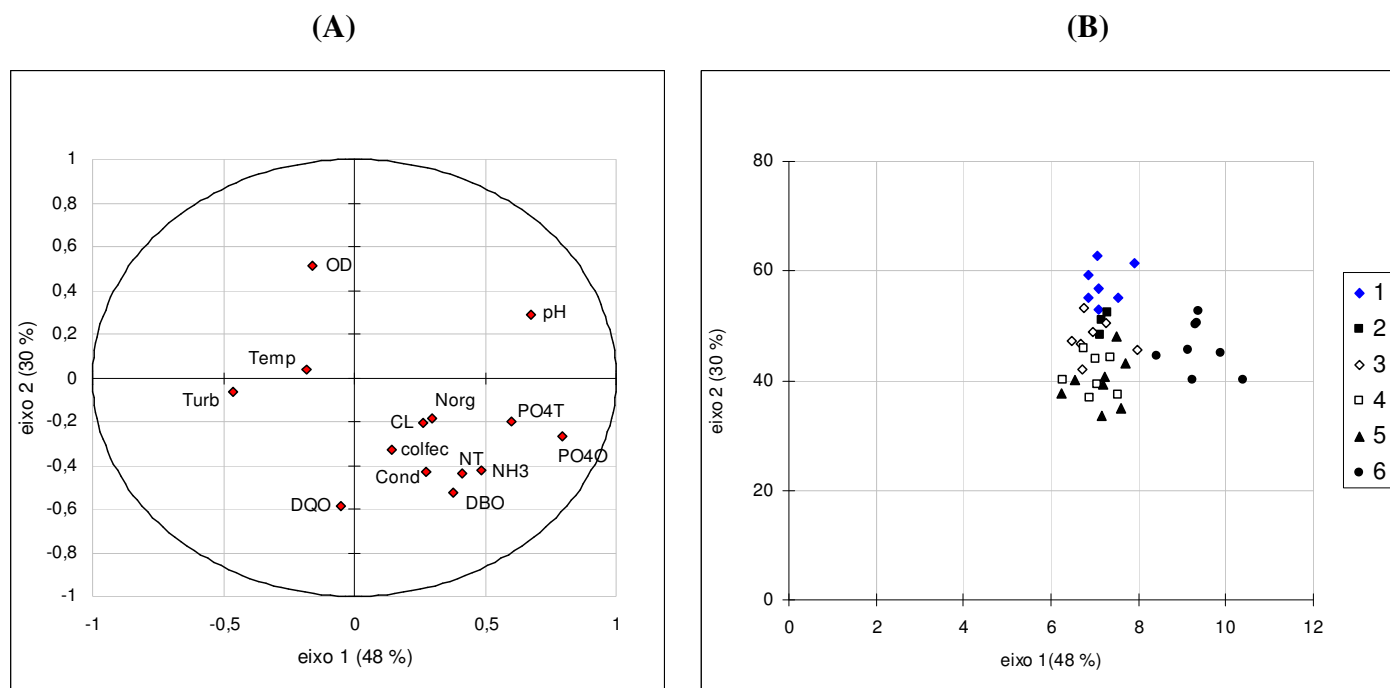
Os resultados da estrutura ambiental evidenciaram a diminuição do oxigênio dissolvido ( $5,65 \pm 2,13$  a  $3,45 \pm 2,31$  mg L<sup>-1</sup> (O<sub>2</sub>), o aumento da DBO ( $1,45 \pm 0,80$  a  $6,8 \pm 4,37$  mg L<sup>-1</sup> (O<sub>2</sub>), coliformes fecais ( $312 \pm 249$  a  $175120 \pm 186047,6$  NMP/100mL), turbidez ( $72,7 \pm 43,6$  a  $37,76 \pm 16,3$  UNT), nitrogênio total ( $1,12 \pm 0,75$  a  $5,26$  mg L<sup>-1</sup> (NT) e ortofosfato ( $0,21 \pm 0,19$  a  $1,32 \pm 1,13$  mg L<sup>-1</sup> (PO<sub>4</sub>) ao longo do rio Gravataí. Observa-se um nítido gradiente com base nas variáveis físicas e químicas analisadas (Tab. I).

**Tabela I:** Valores (média  $\pm$  desvio padrão [Dp]) das variáveis físicas e químicas medidas em oito datas correspondentes às diferentes estações do ano, nas seis estações de amostragem ao longo do rio Gravataí, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002.

	E1		E2		E3		E4		E5		E6	
	média	Dp	média	Dp	média	Dp	média	Dp	média	Dp	média	Dp
TEMPAR (°C)	<b>23,28</b>	5,31	<b>23,76</b>	5,73	<b>25,40</b>	5,87	<b>25,78</b>	7,08	<b>25,48</b>	7,07	<b>22,90</b>	6,00
TEMPAG (°C)	<b>22,52</b>	4,92	<b>20,81</b>	4,22	<b>23,00</b>	5,05	<b>22,34</b>	4,87	<b>22,75</b>	4,95	<b>21,76</b>	5,01
PROF (m)					<b>5,44</b>	1,14	<b>4,28</b>	1,11	<b>4,69</b>	1,34	<b>4,69</b>	0,61
TRANSP (cm)					<b>0,27</b>	0,10	<b>0,22</b>	0,10	<b>0,22</b>	0,10	<b>26,20</b>	9,92
TURB (UNT)	<b>72,70</b>	43,60	<b>55,57</b>	31,83	<b>71,58</b>	30,33	<b>66,26</b>	20,79	<b>67,06</b>	26,53	<b>37,76</b>	16,28
COND (µS/cm)	<b>73,12</b>	36,44	<b>52,84</b>	17,03	<b>49,81</b>	16,20	<b>104,09</b>	45,45	<b>124,98</b>	56,21	<b>139,09</b>	66,21
CLORETO (mg Cl/L)	<b>8,04</b>	4,07	<b>5,85</b>	1,68	<b>7,13</b>	2,71	<b>11,25</b>	5,28	<b>11,91</b>	5,70	<b>13,38</b>	4,51
pH	<b>6,22</b>	1,36	<b>6,30</b>	0,35	<b>6,37</b>	0,41	<b>6,40</b>	0,45	<b>6,45</b>	0,43	<b>7,02</b>	0,27
OD (mg O <sub>2</sub> /L)	<b>5,65</b>	2,13	<b>4,74</b>	1,77	<b>4,70</b>	2,01	<b>2,50</b>	1,53	<b>2,00</b>	1,23	<b>3,45</b>	2,32
DBO (mg O <sub>2</sub> /L)	<b>1,45</b>	0,80	<b>1,20</b>	0,52	<b>1,36</b>	0,95	<b>3,64</b>	1,71	<b>5,43</b>	3,23	<b>6,81</b>	4,38
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	<b>35,70</b>	13,13	<b>32,28</b>	9,95	<b>38,74</b>	9,78	<b>40,87</b>	10,63	<b>42,39</b>	11,34	<b>38,84</b>	9,16
NH <sub>3</sub> (mg N/L)	<b>0,30</b>	0,14	<b>0,15</b>	0,07	<b>0,36</b>	0,53	<b>2,16</b>	1,99	<b>2,87</b>	2,78	<b>3,37</b>	2,70
NORG (mg N/L)	<b>1,08</b>	0,65	<b>0,65</b>	0,19	<b>0,89</b>	0,35	<b>1,49</b>	1,06	<b>2,40</b>	2,53	<b>1,78</b>	1,01
Nitrogênio total	<b>1,12</b>	0,75	<b>0,77</b>	0,26	<b>1,27</b>	0,84	<b>3,82</b>	2,77	<b>4,97</b>	4,64	<b>5,27</b>	3,01
PO <sub>4</sub> O (mg PO <sub>4</sub> /L)	<b>0,06</b>	0,04	<b>0,03</b>	0,02	<b>0,05</b>	0,08	<b>0,26</b>	0,21	<b>0,30</b>	0,25	<b>0,82</b>	0,61
PO <sub>4</sub> T (mg PO <sub>4</sub> /L)	<b>0,21</b>	0,19	<b>0,17</b>	0,23	<b>0,16</b>	0,14	<b>0,51</b>	0,35	<b>0,62</b>	0,41	<b>1,32</b>	1,14
COLI FECAIS (NMP/100 mL)	<b>312,79</b>	248,49	<b>270,62</b>	206,90	<b>858,71</b>	1000,71	<b>49304,55</b>	59380,82	<b>95175</b>	99623	<b>175120</b>	186048

A ordenação obtida pela aplicação da análise de discriminante apresenta-se na Fig. 2. No eixo 1 os vetores de maior importância no lado positivo foram PO<sub>4</sub> (0,79), pH (0,67), fósforo total (0,59), nitrogênio total (0,48) e nitrogênio orgânico (0,29) (figura 2a), indicando um aumento da eutrofização para as estações 4, 5 e 6 (figura 2b). O eixo 2 foi positivamente ligado às estações 1, 2 e 3 (figura 2b), as quais foram correlacionadas com as mais elevadas concentrações de oxigênio dissolvido (0,51) (figura 2a). Obteve-se para o

eixo 1 uma explicação de 48% da variabilidade, enquanto para o eixo 2 este percentual foi de 30%.



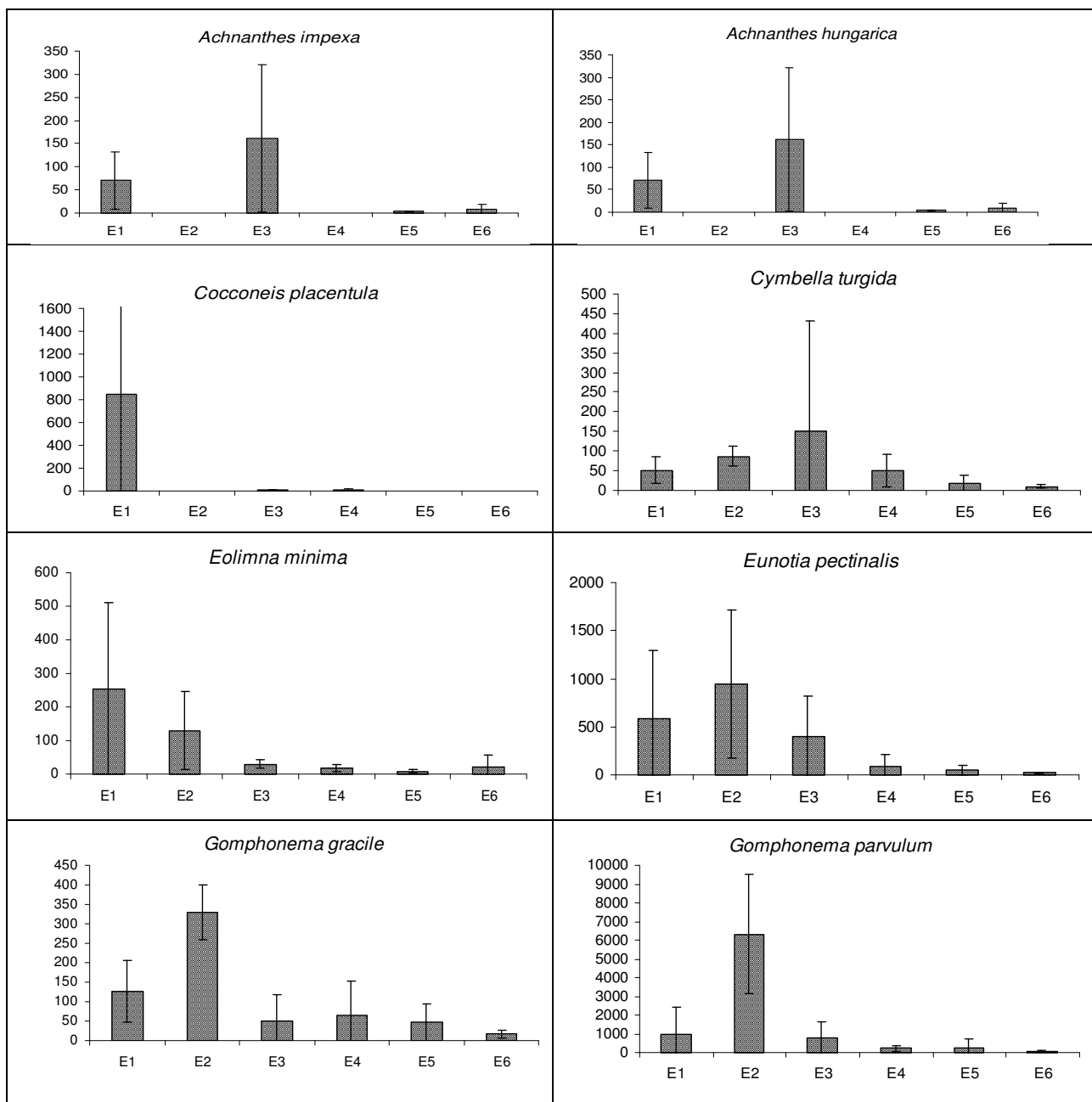
**Figura 2:** Ordenação pela análise de discriminante de variáveis ambientais (A) e ordenação das estações de amostragem em relação às variáveis ambientais (B), no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, no rio Gravataí, RS.

Com relação à estrutura da comunidade de diatomáceas epilíticas foram identificados 169 táxons em nível específico e infra-específico, distribuídos em 25 famílias e 43 gêneros.

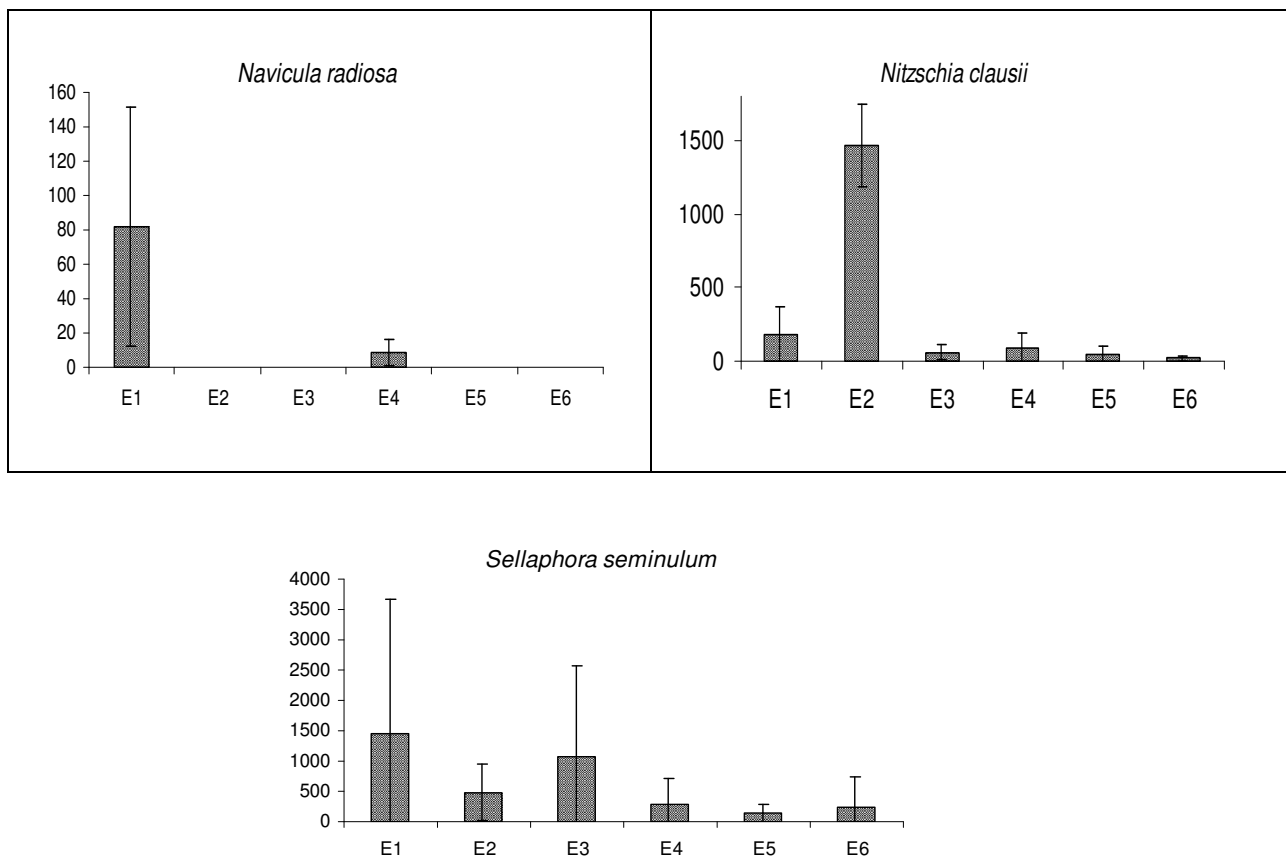
As famílias melhor representadas foram: Eunotiaceae, com 13,6%; Naviculaceae, com 11,24%; Bacillariaceae, com 10%; Pinnulariaceae, com 9,46%; Gomphonemataceae, com 6,50%, Fragilariaceae e Achnanthaceae, com 5,32%. As demais famílias representaram menos de 5% da abundância total.

Analisando-se a densidade, a ocorrência e a substituição das espécies ao longo do gradiente de poluição, observaram-se padrões diferenciados, podendo-se separar as

diferentes espécies em três grupos. No primeiro grupo foram agrupadas aquelas espécies cujas densidades foram mais elevadas nas localidades correspondentes às estações 1, 2 e 3, classificado como grupo C (Fig. 3). Neste grupo foram incluídas as seguintes espécies: *Achnanthes impexa*, *A. hungarica*, *Cocconeis placentula*, *Cymbella turgida*, *Eolimna minima*, *Eunotia pectinalis*, *Gomphonema gracile*, *Gomphonema parvulum*, *Navicula cryptocephala* e *Nitzschia clausii*.



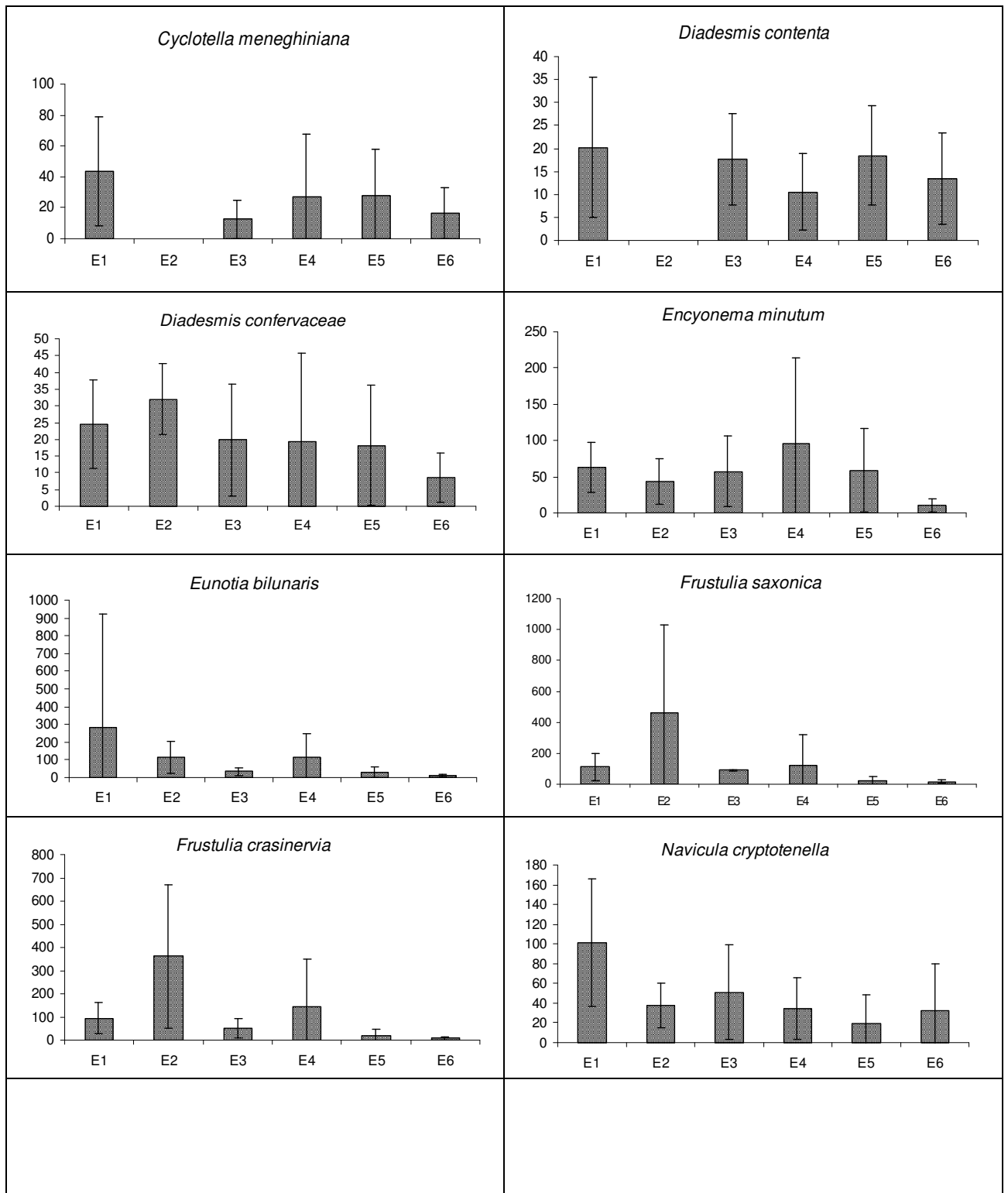
continuação da figura 3...



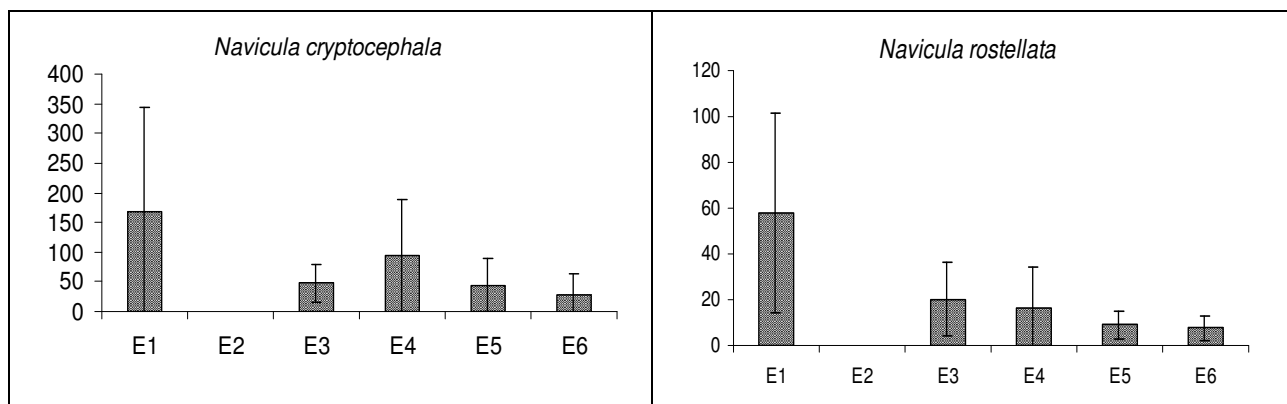
**Figura 3** – Variação dos valores médios e desvio padrão da densidade das espécies de diatomáceas epilíticas, cujas densidades foram mais elevadas nas estações localizadas no curso superior do Rio Gravataí (espécies consideradas como pertencentes ao Grupo C). E1=arroio Chico Lomã, município de Santo Antônio da Patrulha. E2= Fazenda Juca Barcelos, município de Glorinha E3= Balneário Passo dos Negros, município de Gravataí E4=captação da base aérea, município de Porto Alegre/Canoas E5=arroio da areia, município de Porto Alegre/Canoas E6= Foz do rio Gravataí, município de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul.

No grupo B (Fig. 4), foram agrupadas as espécies com ampla ocorrência e com densidades variáveis ao longo do rio. As espécies incluídas neste grupo foram as seguintes: *Cyclotella meneghiniana*, *Diadismus contenta*, *Diadismus confervaceae*, *Encyonema minutum*, *Eunotia bilunaris*, *Frustulia saxonica*, *F. crassinervia*, *Navicula cryptotenella*, *N. radiosa*, *N. rostellata*, *Nitzschia amphibia*, *Nitzschia palea* var. *tenuirostris*, *Pinnularia braunii*, *Sellaphora seminulum* e *Synedra acus*.

Observou-se, ainda, que este grupo de espécies teve maior abundância relativa na estação 1, nascente do rio, um ambiente caracteristicamente lântico.

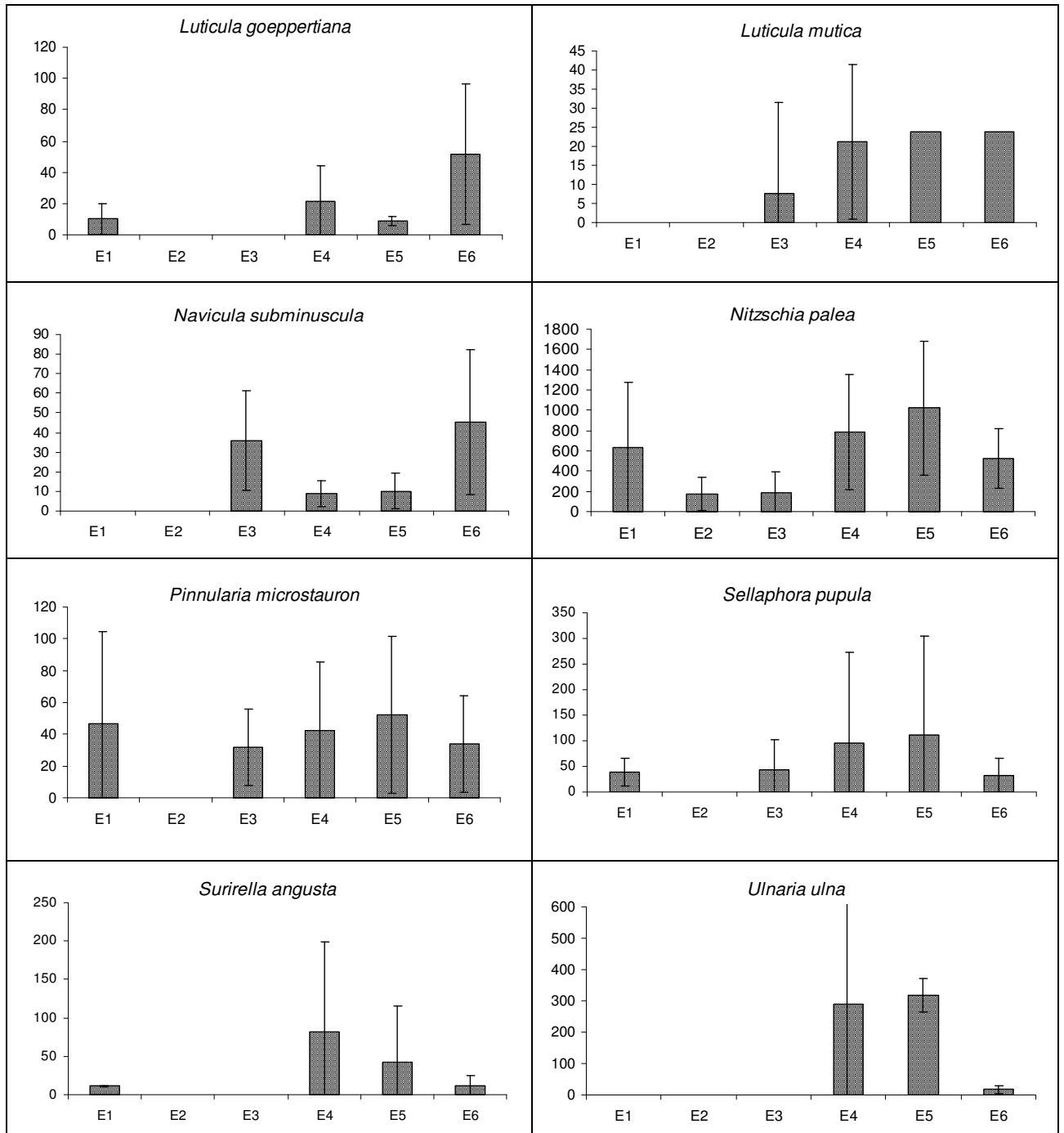






**Figura 4** – Variação dos valores médios e desvio padrão da densidade das espécies de diatomáceas epilíticas, cujas densidades foram mais elevadas nas estações localizadas no curso superior do Rio Gravataí (espécies consideradas como pertencentes ao Grupo B, de ampla tolerância). E1=arroio Chico Lomã, município de Santo Antônio da Patrulha. E2= Fazenda Juca Barcelos, município de Glorinha E3= Balneário Passo dos Negros, município de Gravataí E4=Captação da base aérea, município de Porto Alegre/Canoas E5=Arroio da Areia, município de Porto Alegre/Canoas E6= Foz do rio Gravataí, município de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul.

No grupo A (Fig. 5) foram agrupadas as espécies mais tolerantes à poluição, as quais foram mais abundantes no curso inferior do rio, nas estações 4, 5 e 6: *Luticula goeppertiana*, *Luticula mutica*, *Eolimna subminuscula*, *Nitzschia palea*, *Pinnularia microstauron*, *Sellaphora pupula*, *Surirella angusta* e *Ulnaria ulna*.



**Figura 5:** Variação dos valores médios e desvio padrão da densidade das espécies de diatomáceas epilíticas, cujas densidades foram mais elevadas nas estações localizadas no curso inferior do Rio

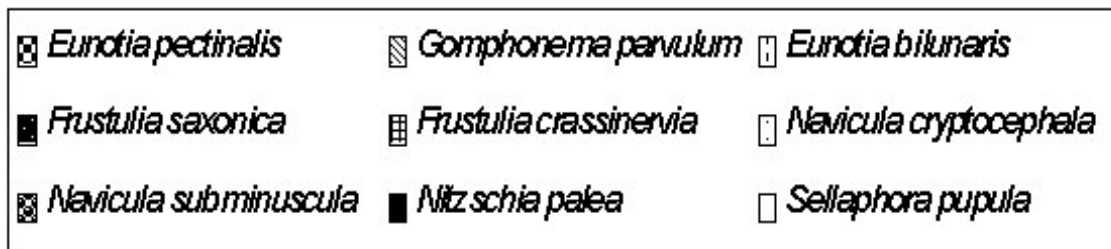
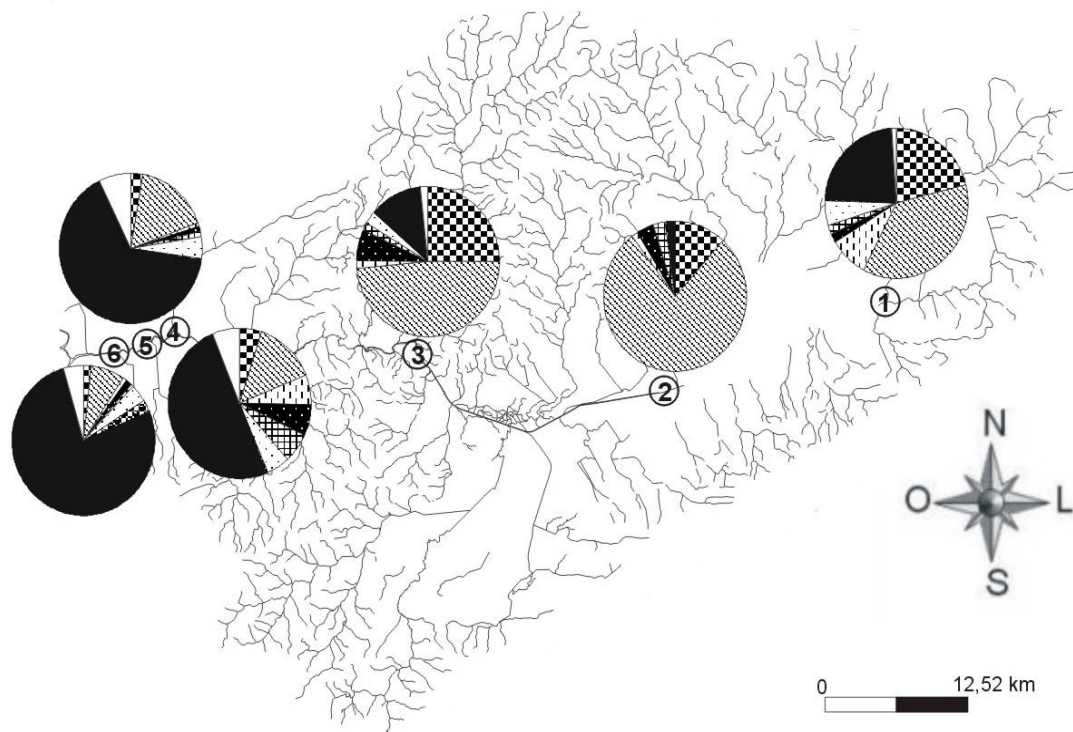
Gravataí (espécies consideradas como pertencentes ao Grupo A– mais tolerantes a poluição). E1=arroyo Chico Lomã, município de Santo Antônio da Patrulha. E2= Fazenda Juca Barcelos, município de Glorinha E3= Balneário Passo dos Negros, município de Gravataí E4=captação da base aérea, município de Porto Alegre/Canoas E5=arroyo da areia, município de Porto Alegre/Canoas E6= Foz do rio Gravataí, município de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul.

Plotando-se a abundância relativa das espécies mais representativas ao longo das seis estações de amostragem (Fig. 6), pode-se observar que houve uma substituição das espécies ao longo do rio. Foram observadas nove espécies que mais se destacaram na representação do gradiente de poluição: *Eunotia pectinalis*, *Gomphonema parvulum*, *Eunotia bilunaris*, *Frustulia saxonica*, *F. crassinervia*, *Navicula cryptocephala*, *Navicula subminuscula*, *Nitzschia palea* e *Sellaphora pupula*.

*Eunotia pectinalis* ocorreu em maior abundância nas estações: E1 (21%), E2 (12%), e E3(25%), enquanto que, na estação da foz (E6), sua ocorrência foi de apenas 2%. *Gomphonema parvulum* também foi uma espécie que ocorreu em alta abundância relativa nas estações E1 (37%), E2 (78%) e E3 (48%), sendo sua representatividade, na foz do rio, de apenas 8%.

A espécie *Eunotia bilunaris* ocorreu em maior densidade nas estações 1 e 5, enquanto, *Frustulia saxonica* foi predominantemente nas estações 3 e 4. Por outro lado, *Frustulia crassinervia* destacou-se nas estações 2, 3 e 4, com aumento gradativo da densidade ao longo do rio, decrescendo, no entanto, nas estações 5 e 6.

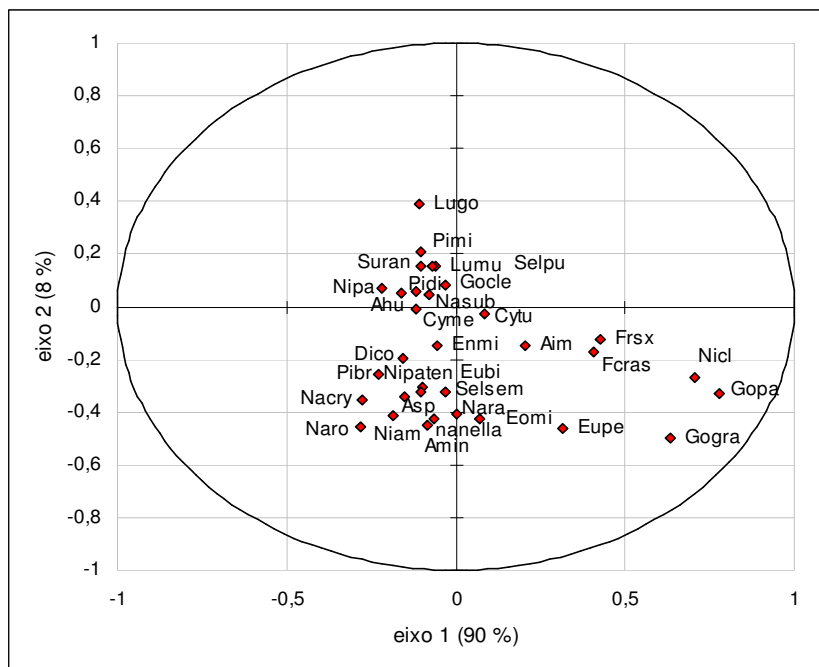
As espécies *Eolimna subminuscula*, *Sellaphora pupula* e *Nitzschia palea* tiveram comportamento inverso, ocorrendo em baixa densidade no curso superior do rio e com aumentos de densidade no curso inferior próximo à foz. *Navicula subminuscula* representou 0,3% na estação 1, aumentando até 2% na foz. *Sellaphora pupula* variou de 1 a 5% da nascente à foz, enquanto *Nitzschia palea* foi a espécie com maior densidade, representando 23% na estação 1 e atingindo uma abundância relativa de 77% do total de diatomáceas na estação 6, foz do rio.



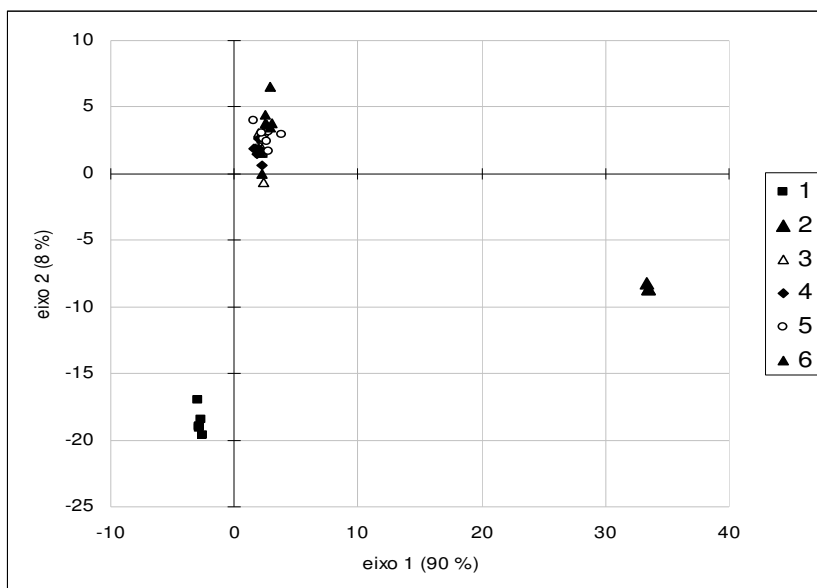
**Figura 6:** Variações na abundância relativa (%) das espécies abundantes de diatomáceas (valores médios para o período de setembro de 2000 a agosto de 2002), em relação as estações de amostragem ao longo do rio Gravataí, RS.

A ordenação obtida pela aplicação da análise de discriminante apresenta-se nas Figs. 7 e 8. Obteve-se para o eixo 1 uma explicação de 90% da variabilidade, enquanto para o eixo 2 este percentual foi de 9%.

Conforme os resultados obtidos através da análise de discriminante (Fig.7), observa-se que as espécies que apresentaram maior ocorrência na estação 1 foram: *Achnanthes* sp., *Eolimna minima*, *Eunotia bilunaris*, *Navicula radiosa*, *Navicula cryptotenella*, *Navicula cryptocephala*, *Nitzschia amphibia*, *Pinnularia braunii*, *Sellaphora seminulum*. Para a estação 2 destacaram-se *Frustulia saxonica*, *Frustulia crassinervia*, *Gomphonema gracile*, *G. parvulum*, *Nitzschia clausii* e *Eunotia pectinalis*. Na estação 3, destacaram-se *Cymbella turgida*, *Achnanthes impexa* e *Gomphonema clevei*. Na estação 4, *Achnanthes hungarica*, *Encyonema minutum*, *Eunotia bilunaris* var. *mucophila*, *Surirella angusta*, *Pinnularia microstauron*. Na estação 5 destacaram-se *Nitzschia palea* e *Sellaphora pupula*, enquanto na estação 6 as espécies mais abundantes foram *Luticula goeppertiana*, *Luticula mutica*, *Eolimna subminuscula*, *Nitzschia palea*, *Sellaphora pupula* e *Surirella angusta*. As análises evidenciaram, ainda, que houve uma maior variação espacial do que temporal das espécies (Fig. 8).



**Figura 7:** Ordenação pela análise de discriminante das espécies de diatomáceas observadas no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, ao longo das seis estações de amostragem no rio Gravataí, RS.

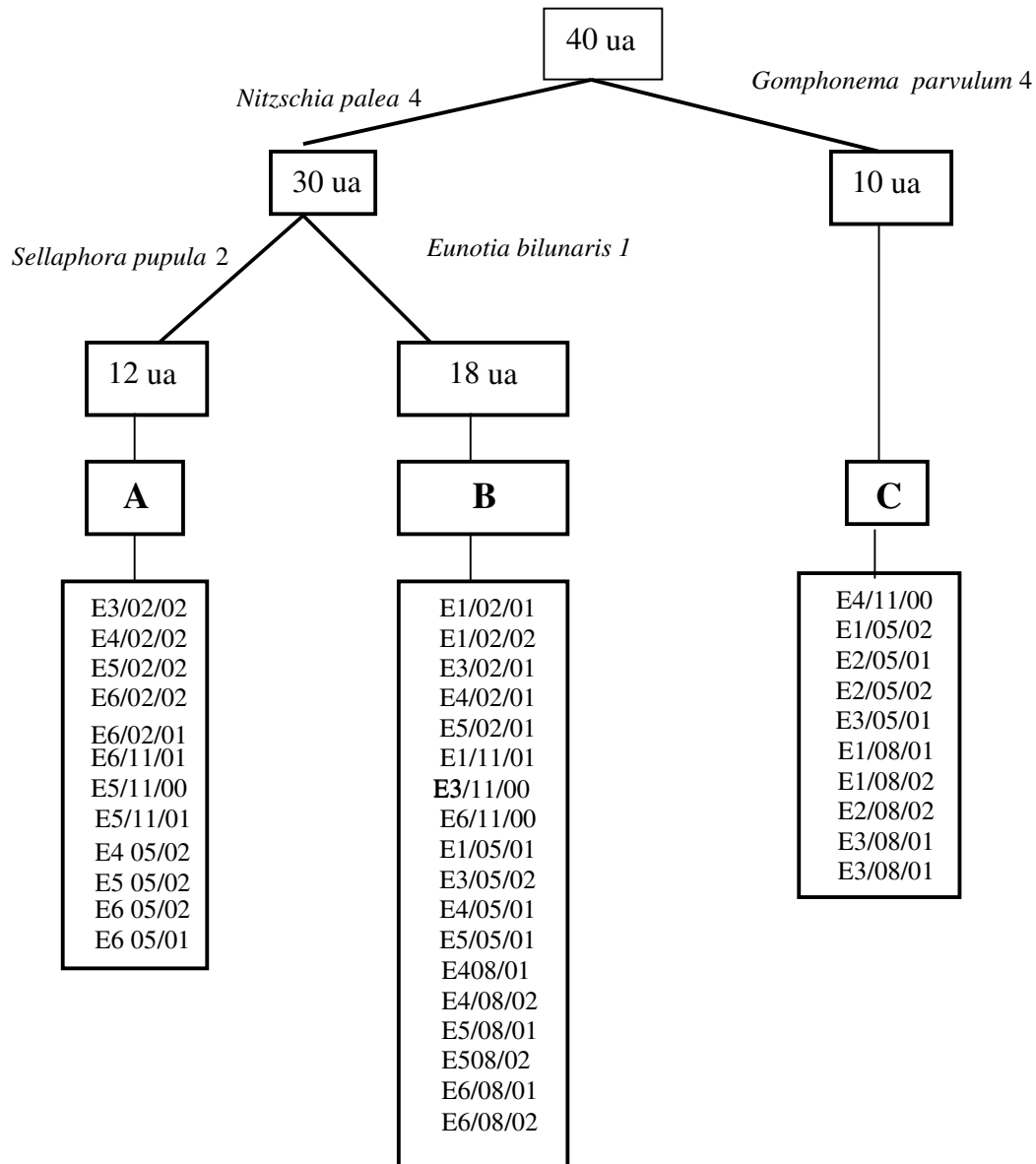


**Figura 8:** Ordenação pela análise de discriminante das espécies de diatomáceas observadas no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, ao longo das seis estações de amostragem no rio Gravataí, RS.

A Tabela II e a Figura 9 apresentam os resultados da análise e classificação Twinspan para as diatomáceas presentes nas 40 unidades amostrais. Foi possível diferenciar três grupos, sendo que as pseudoespécies *Nitzschia palea* (4) e *Sellaphora pupula* (2), destacaram-se como diferenciais para o grupo A. *Eunotia bilunaris* (1) e *Eunotia pectinalis* (2) para o grupo B. *Gomphonema parvulum* (4) atuou como elemento diferenciador do grupo C. Convêm destacar que os grupos A e B foram estabelecidos no segundo nível de dicotomia das pseudoespécies, uma vez que na primeira dicotomia não foi possível separar grupos que representassem os padrões de ocorrência anteriormente identificados. As pranchas I e II ilustram as espécies abundantes.

O resultado da análise de espécies indicadoras pelo método de dupla entrada Twinspan permitiu também o agrupamento das espécies em três grupos (Fig. 9). Foram relacionadas as seguintes espécies para o grupo A: *Sellaphora pupula* (84%), *Nitzschia palea* (59,2%), *Luticula mutica* (52,5%), *Navicula subminuscula* (40,4%) e *Luticula goeppertiana* (38,9%). Para o grupo B: *Eunotia bilunaris* (76,7%), *Frustulia crassinervia* (63,9%); *Nitzschia palea* var. *tenuirostris* (63,4%), *Surirella angusta* (63%), *Navicula cryptotenella* (57,3%), *Navicula cryptocephala* (55,5%), *Frustulia saxonica* (54,6%),

*Pinnularia microstauron* (49,5%), *Ulnaria ulna* (38,9%) e para o grupo C: *Gomphonema parvulum* (77,1%) e *Eunotia pectinalis* (70,8%), conforme pode ser observado na Tabela III.



**Figura 9:** Pseudoespécies indicadoras das principais divisões da classificação TWINSpan para as 40 unidades amostrais (ua). Os números que seguem as espécies indicam as categorias de abundância relativa (1= 0-2%; 2= 2-4%; 3= 4-10%; 4= 10-20%; 5= >20%). As estações e datas de amostragens correspondem às unidades amostrais incluídas em cada grupo e estão indicadas no interior dos quadrados.





## Continuação da Tabela II...

		AMOSTRAS										
ESPÉCIES		2	23122233212	11132	12433	133311132						
		8393355262473145678089141400892756761209										
<i>Gomphonema parvulum</i>		152312333221	223423234232332243	5555555453								
<i>Eolimna minima</i>		---1121---11	----12111--111--1-	2---1-1113								
<i>Cocconeis placentula</i>		-----1---1-1--1----	1-1-----1-1-----	---1-----5								
<i>Diademis confervaceae</i>		111111-2-11-	11111111-11-111-1-	111-111-11								
<i>Sellaphora seminulum</i>		22233554512-	223254252253233222	4221233535								
GRUPOS		AAAAAAAAAAAAABBBBBBBBBBBBBBBBBBBBCCCCCCCCC										

**Tabela III:** Valores classificatórios das espécies, baseados na análise de espécies indicadoras e obtidos através do programa estatístico PCOrd, calculados com o método de Dufrene & Legendre 19 97 (na classificação foram selecionadas apenas as espécies com  $p < 0,05$ )\*.

Espécies	Grupos	Valor indicativo	Média	Desvio padrão	P*
<i>Achnanthes hungarica</i>	B	33,5	31,6	6,25	0,3159
<i>Achnanthes impexa</i>	C	29,1	24,0	7,92	0,2160
<i>Achnathidium minutissimum</i>	B	44,8	35,5	7,95	0,1292
<i>Achnathes sp.</i>	A	11,9	24,1	8,42	0,9878
<i>Brachisira vitrea</i>	B	25,0	26,3	9,43	0,5157
<i>Cocconeis placentula</i>	C	19,1	22,8	8,55	0,6613
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	B	41,9	33,1	6,76	0,1104
<i>Cymbella turgida</i>	C	45,8	44,3	8,61	0,4056
<i>Diadesmis contenta</i>	B	40,7	33,0	6,57	0,1249
<i>Encyonema minutum</i>	B	46,0	37,3	6,50	0,1064
<i>Eolimna minima</i>	C	34,4	28,6	7,71	0,2001
<i>Eunotia bilunaris</i>	B	76,7	40,4	9,03	0,0003 *

## Continuação da Tabela III..

<i>E.bilunaris var. mucophila</i>	B	13,8	11,4	5,91	0,2767
<i>Eunotia pectinalis</i>	C	70,8	40,2	6,50	0,0001 *
<i>Frustulia saxonica</i>	B	54,6	32,1	6,57	0,0060 *
<i>Frustulia crassinervia</i>	B	63,9	31,9	7,54	0,0012 *
<i>Gomphonema clevei</i>	C	29,2	16,1	7,0	0,0489 *
<i>Gomphonema gracile</i>	B	39,4	37,4	4,80	0,2950
<i>Gomphonema parvulum</i>	C	77,1	44,1	5,97	0,0001 *
<i>Luticula goppertiana</i>	A	38,9	18,7	7,84	0,0204 *
<i>Luticula mutica</i>	A	52,5	31,6	7,85	0,0160 *
<i>Navicula cryptocephala</i>	B	55,5	36,7	4,88	0,0011 *
<i>Navicula cryptotenella</i>	B	57,3	33,4	6,74	0,0042 *
<i>Navicula radiosa</i>	B	16,9	16,9	7,47	0,4068
<i>Navicula rostellata</i>	B	39,2	35,2	7,26	0,2527
<i>Navicula subminuscula</i>	A	40,4	22,4	7,36	0,0272 *
<i>Nitzschia amphibia</i>	B	37,1	30,3	7,04	0,1587
<i>Nitzschia clausii</i>	B	42,3	40,2	7,68	0,3434
<i>Nitzschia palea</i>	A	59,2	39,2	3,73	0,0001 *
<i>Nitzschia palea var. tenuirostris</i>	B	63,4	34,4	7,46	0,0017 *
<i>Nitzschia sp.</i>	A	8,0	9,5	4,05	0,6643
<i>Pinnularia braunii</i>	B	40,5	33,1	6,58	0,1354
<i>Pinnularia divergentissima</i>	B	16,1	17,1	6,70	0,4696
<i>Pinnularia microstauron</i>	B	49,5	35,4	5,91	0,0253 *
<i>Sellaphora pupula</i>	A	84,0	39,9	7,91	0,0001 *
<i>Sellaphora seminulum</i>	A	52,5	45,5	7,01	0,1659
<i>Surirella angusta</i>	B	63,0	28,4	8,77	0,0020 *
<i>Ulnaria ulna</i>	B	38,9	15,8	7,22	0,0096 *

## DISCUSSÃO

Com relação aos resultados obtidos para as variáveis ambientais, observa-se que há um gradiente ao longo do rio Gravataí, caracterizando um trecho na porção superior do rio, desde a nascente até a localidade de Balneário Passo dos Negros, com características menos eutróficas e uma porção inferior, compreendendo o trecho entre a Captação da base Aérea e a Foz do rio Gravataí, com condições eutróficas, e baixa qualidade em relação aos aspectos sanitários.

As modificações ocorridas na ocupação da bacia devido às atividades agrícolas têm reflexos pronunciados até mesmo na porção superior, próximo à nascente, apresentando um caráter bastante diferenciado do padrão usual de nascentes de rios. Ela é caracteristicamente um banhado, densamente colonizado por macrófitas, com predominância de *Eicchornia* spp, o aguapé. As elevadas concentrações de material em decomposição oriundo das macrófitas estão refletidas na variável turbidez, nas concentrações elevadas de nitrogênio orgânico e de demanda química de oxigênio, quando comparadas com outras localidades estudadas no trecho superior do rio, evidenciando que a nascente não pode ser considerada um ambiente oligotrófico. Outros impactos das atividades agrícolas incluem a erosão e o assoreamento, observáveis no trecho superior do rio Gravataí.

A alta densidade populacional e a concentração de indústrias acarretam o despejo direto de grande quantidade de resíduos lançados diretamente na água do rio Gravataí, ocasionando uma brusca alteração na qualidade da mesma neste trecho. As variáveis físicas e químicas e a densidade de coliformes fecais permitem caracterizar o trecho inferior do rio Gravataí como eutrófico, com condições polissapróbicas, de baixa qualidade quanto aos aspectos sanitários. A concentração média de coliformes fecais observados no curso inferior do rio ultrapassa os limites máximos para coliformes fecais (4000 coliformes fecais por 100 mililitros) estabelecidos pela resolução nº 20 do CONAMA (1986).

Com relação as análises biológicas, as diatomáceas epilíticas responderam às variações ambientais ao longo do gradiente de poluição no rio Gravataí, por meio de alterações na abundância das populações e nas relações de dominância. Foram identificadas espécies tolerantes à poluição, como *Luticula goeppertiana*, *Sellaphora*

*pupula*, *Eolimna subminuscula* e *Ulnaria ulna*. Diversos autores, como Lange-Bertalot (1979), Krammer & Lange-Bertalot (1986), Van Dam *et al.* (1994), Lobo *et al.* (1986, 2002) e Nevo & Wasser (2000) já haviam identificado estas espécies como sendo altamente tolerantes à poluição e indicadoras de uma faixa de condições, variando de  $\alpha$ -mesosapróbicas a polissapróbicas. Estas espécies tiveram maior densidade nas estações próximas à foz, correspondendo, portanto, à porção mais eutrofizada do rio Gravataí, onde ocorrem os maiores despejos de águas residuárias domésticas e industriais.

De acordo com a literatura, *Nitzschia palea* é uma espécie indicadora de ambientes polissapróbicos ou hipereutróficos, ocorrendo em águas com baixas concentrações de oxigênio dissolvido, de acordo com Van Dam *et al.* (1994), e segundo Licurzi & Gomes (2002) esta espécie apresenta afinidade com o aumento da condutividade. No presente estudo esta espécie ocorreu em todas as estações amostradas, embora as mais elevadas densidades tenham ocorrido na foz do rio. A sua presença em todo o rio, e particularmente na nascente, pode ser interpretada como indicadora da existência de condições alteradas, e da existência no mínimo de mesossaprobidade, em todo o curso do rio Gravataí.

As espécies de diatomáceas classificadas no presente estudo como indicadoras de ambientes muito fortemente poluídos (grupo A) foram similarmente classificadas por Lobo *et al.* (2002), em um estudo realizado em 18 sistemas lóticos da bacia hidrográfica do rio Guaíba, RS, no período de 1989 a 1999, no qual foram analisadas 183 amostras de diatomáceas epilíticas. No presente estudo estas espécies ocorreram em densidades maiores próximo à foz, no trecho mais eutrofizado.

Hellawell (1978) enfatiza que as mudanças que ocorrem nas comunidades em consequência do impacto da poluição ambiental dependem da natureza e da severidade da poluição e da susceptibilidade relativa das espécies. Mudanças na presença, ausência ou abundância relativa de espécies, súbitas ou graduais, podem assim refletir as mudanças nas condições ambientais. Alguns organismos têm uma ampla tolerância a diferentes condições ambientais, de forma que seus padrões de distribuição ou abundância são apenas ligeiramente afetados, mesmo por grandes alterações nas variáveis ambientais.

As espécies classificadas como pertencentes ao grupo B, que estiveram presentes em densidades variáveis ao longo de todo o rio, como *Encyonema minutum*, *Eunotia bilunaris*, *Frustulia saxonica*, *F. crassinervia*, *Navicula cryptotenella*, têm provavelmente

ampla tolerância. Existem diferenças quanto à classificação destas espécies. Van Dam *et al.* (1994) e Patrick & Reimer (1966), consideraram estas mesmas espécies como características de ambientes oligossapróbicos com concentrações elevadas de oxigênio. Estas espécies tiveram um padrão de ocorrência indefinido no presente estudo, com picos máximos de abundância em diferentes localidades, independente do gradiente de poluição. Da mesma forma outras espécies que neste estudo foram consideradas no mesmo grupo, como *Cyclotella meneghiniana*, *Diademsis contenta*, *Diademsis confervaceae*, *N. radiosa*, *N. rostellata*, *Nitzschia amphibia*, *Nitzschia palea* var. *tenuirostris*, *Pinnularia braunii*, *Sellaphora seminulum* e *Synedra acus* têm sido frequentemente consideradas espécies típicas de ambientes fortemente poluídos, ou  $\alpha$ - $\beta$  mesossapróbicos (Kobayasi & Mayama 1989; Sládecek 1993; Van Dam *et al.* 1994; Lobo *et al.*, 1986, 2002).

Por outro lado, as espécies *Achnanthes impexa*, *Cocconeis placentula*, *Cymbella turgida*, *Eolimna mínima* e *Eunotia pectinalis*, no presente trabalho foram enquadradas no grupo C, sendo indicadoras de ambientes menos poluídos. De acordo com a literatura estas espécies são também reconhecidas como espécies sensíveis à poluição orgânica (Patrick & Reimer, 1966; Lange-Bertalot, 1979 e Krammer & Lange-Bertalot, 1986).

Outras espécies que neste estudo também foram incluídas no grupo de espécies sensíveis à poluição como *Cocconeis placentula*, *Gomphonema gracile*, *Gomphonema parvulum*, *Lemnicola hungarica*, *Navicula cryptocephala* e *Nitzschia clausii* foram consideradas por Van Dam (1994) e Lobo *et al.* (2002), como espécies moderadamente tolerantes à poluição ou  $\alpha$ -mesossapróbica. As espécies que mais se destacaram no curso superior do rio foram *Eunotia pectinalis* e *Gomphonema parvulum*. A primeira, considerada uma espécie sensível à poluição, característica de ambiente oligo a mesossapróbico, *G. parvulum*, nos rios da bacia hidrográfica do Guaíba, foi considerada  $\alpha$ -mesossapróbica por Lobo *et al.* (2002). Nos arroios Sampaio, Grande e Bonito, município de Mato Leitão, RS, Lobo *et al.* (1999) classificaram esta espécie como pertencentes a ambos, ambientes polissapróbicos e ambientes  $\alpha$ -mesossapróbicos. Em outro estudo no arroio Sampaio, Rodrigues & Lobo (2000) registraram a ocorrência desta espécie em águas moderadamente poluídas, ou  $\beta$ - mesossapróbicas. Em um estudo realizado no rio Monjolinho, São Carlos, SP, Souza (2002) encontrou também esta espécie em locais em que as condições físicas e químicas do rio eram consideradas oligossapróbicas. Entretanto,

Kobayasi & Mayama (1989) e Lobo *et al.* (1995) classificaram a espécie *Gomphonema parvulum* como um táxon altamente tolerante à poluição orgânica, em estudos realizados nos rios do Japão.

Morales (2002) considera que *Gomphonema parvulum*, para o qual são observados diversos morfotipos, pode na realidade constituir diversas espécies; primeiro a morfologia pode variar como resultado da variabilidade genética e, segundo, as variações ecológicas podem resultar na formação de ecótipos, o que explicaria a variabilidade de respostas atribuída à mesma espécie. Estudos aprofundados sobre a fisiologia e ecologia dos morfotipos seriam necessários para esclarecer o problema.

Conclui-se que o rio Gravataí tem um forte gradiente em relação às condições ambientais o qual determina marcantes mudanças na composição de espécies das diatomáceas epilíticas. As alterações na estrutura e na abundância das espécies, aqui definidas como indicadoras, podem ser usadas na caracterização e no monitoramento da qualidade da água nesta bacia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATE, N.; NEWALL, P. Techniques for the use of diatoms in water quality assessment: how many valves? In: DIATOM SYMPOSIUM 15<sup>th</sup> 1998. p. 153-160.
- DESCY, J.P. ; COSTE, M. Utilisation des diatomeés benthiques pour l'évaluation de la qualité des esux courants. 1990. 64p. Repport Final, EC contract B-71-23.
- DESCY, J.P.; ECTOR, L. Use of diatoms for monitoring rivers in Belgium and Luxemburg. *Use of algae for monitoring rivers III* (Ed. J. PRYGIEL, B.A. WHITTON & J. Bukowska), pp. 128-137. Agence de l'Eau Artois-Picardie, Douai. 1999.
- DUFRENE, M. ; LEGENDRE, P. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach by the Ecological Society of America. *Ecological Monographs*. v. 67, n.3, p.345-366, 1997.
- FUNDAÇÃO ZOOBOTÂNICA DO RIO GRANDE DO SUL: Preceituação ecológica para preservação dos recursos naturais da região da Grande Porto Alegre. Porto Alegre, Sulina. 1976. 153 p. il.
- GERMAIN, H. *Flore dès diatomées eaux douces et saumâtres*. Paris: Boubée. 1981.444 p.
- HELLAWELL, J.M. *Biological surveillance of rivers: a biological monitoring handbook*. Water Research Centre. 1978.
- HELLAWELL, J.M. *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. New York: Elsevier, 1986. 546p.
- HILL, M.O. *TWINSpan – A FORTRAN Program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and atributes*. New York: Cornell University, Ithaca,. 1979. 60p.



JOHNSON, R.K., WIEDERHOLM, T. ; ROSENBERG, D.M. Freshwater biomonitoring using individual organisms, population and species assemblages of benthic macroinvertebrates. In: Eds. D. M. ROSENBERG & V.H. RESH, London: Chapman & Hall. 1993. p.40-125.

KATOH, KA comparative study on some ecological methods of evaluation of water pollution. *Environmental Science*, v. 5, p.91-98, 1992.

KOBAYASI, H.; MAYAMA, S. Most pollution tolerant diatoms of severely polluted rivers in the vicinity of Tokyo. *Japanese Journal of Phycology*, Tokyo v. 30, p.188-196, 1982.

KRAMMER K.; LANGE-BERTALOT H. *Bacillariophyceae: Naviculaceae*, In: Süßwassereflora von Mitteleuropa. eds Ettl H., Gerloff I., Heyning H., Mollenhauer D., v.2, n.1 (1): 876 p. Stuttgart, G. Fischer. 1986.

KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. *Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Ephithemiaceae, Surirellaceae*. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Eds Ettl H., Gerloff I., Heynig H., Mollenhauer D., 2 (2):595 p. Stuttgart, G. Fischer. 1988.

KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. *Bacillariophyceae: centrales, fragilariaceae, Eunotiaceae*. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. eds Ettl H., Gerloff I., Heynig H., Mollenhauer D., 2(3): 575 p. Stuttgart, G. Fischer. 1991a.

KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. *Bacillariophyceae: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema*. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Eds. Ettl H., Gerloff I., Heynig H., Mollenhauer D., 2 (4): 473 p. Stuttgart, G. Fischer. 1991b.

KRAMMER, K. *Pinnularia eine Monographie der europäischen Taxa*, Bibliotheca Diatomologica 26: 353p. Stuttgart, J. Cramer. 1992.

LANGE-BERTALOT, H. Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedw. Beih.*, Weiheim, v. 64, p. 285-304. 1979.

LANGE-BERTALOT, H. *Navicula sensu stricto 10 Genera Separated from Navicula sensu lato Frustulia, Diatoms of Europe 2*: 526 p. A.R.G. Gantner Verlag K.G. 2001.

LEITE, E.H. *et al. Qualidade das águas do rio Gravataí*. Porto Alegre: FEPAM Fundação Estadual de Proteção Ambiental Porto Alegre, Relatório Final. 65p. 1992/1994.

LICURSI, M.; GÓMEZ, N. Benthic diatoms and some environmental conditions in three lowland streams. *Ann. Limnol.* v. 38, n. 2, p. 109-118. 2002.

LOBO, E.; KOBAYASI, H. Shannon's diversity index applied to some freshwater diatom assemblages in the Sakawa River System (Kanagawa Pref. Japan) and its use as an indicator of water quality. *The Japanese Journal of Phycology*, Tokio, v.38, n.3, p.229-243. 1990.

LOBO, E.A.; BUSELATO-TONIOLLI, T.C. Tempo de exposição de um substrato artificial para o estabelecimento da comunidade perifítica no curso inferior do Rio Caí, Rio Grande do Sul, Brasil. *Rickia*, São Paulo, v.12, p.:35-51. 1985.

LOBO, E.A.; LEIGHTON, G. Estruturas de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. *Revista de Biología Marinha* v. 22, n.1,p. 143-170. 1986. Kobayasi, H. & Mayama, S. 1989. Evaluation of river water quality by diatoms. *The Korean Journal of Phycology*, 4,121-133.

- LOBO, E.A.; TORGAN, L.C. Análise da estrutura da comunidade de diatomáceas (Bacillariophyceae) em duas estações do sistema Guaíba, RS, Brasil. *Acta Botânica Brasílica*, v.1, n.2, p. 103-119, 1988.
- LOBO, E.A. *Comparative study of the approaches for evaluation of river water quality using epilithic diatom assemblages*. Thesis of Doctor-Tokyo University of Fisheries) Tokyo: Tokyo University of Fisheries. Japão. 237p. 1995.
- LOBO, E.A., KATOH, K.; ARUGA, Y. Response of epilithic diatom assemblages to water pollution in rivers in the Tokyo Metropolitan area. *Freshwater Biology*, v. 34, p. 191-204. 1995.
- LOBO, E. A. *et al.* Pollution Tolerant Diatoms from lotic Systems in the Jacuí Basin, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia. Sér. Bot.* Porto Alegre, n. 47, p. 45-72. 1986.
- LOBO, E. A.; BENDER, P. Aplicabilidade de sistemas de sapróbio para avaliação da qualidade de águas correntes fortemente poluídas, no sul do Brasil, utilizando diatomáceas. *Anais do IV Congresso Latino Americano de Ficologia, 1996*. Minas Gerais: Brasil, n. 1, p. 401-422. 1998.
- LOBO, E. A., BEN DA COSTA, A.; KIRST, A. Avaliação da qualidade da água dos arroios Sampaio, Bonito e Grande, município de Mato Leitão, RS, Brasil, segundo a resolução do CONAMA 20/86. *Revista Redes, Santa Cruz do Sul*, v.4 n.2, p. 129-146. 1999.
- LOBO, E.A.; CALLEGARO, V.L.; BENDER, P. *Utilização de algas diatomáceas epilíticas como indicadoras da qualidade da água em rios e arroios da Região Hidrográfica do Guaíba, RS, Brasil*. Santa Cruz do Sul: EDUNISC. 2002. 127p.

LOBO, E.A.; CALLEGARO, V.L.M. ; HERMANY G. Utilização de algas diatomáceas como organismos bioindicadores, com especial enfoque à problemática da eutrofização de sistemas lóticos sul brasileiros. 2004. (no prelo).

MOURTHÉ-JUNIOR, C.A. *Modificações estruturais na comunidade de diatomáceas em um gradiente de poluição hídrica. Trecho superior da bacia do rio das Velhas (região metropolitana de Belo Horizonte – MG)*. Tese (Mestrado em Ecologia – Universidade Federal de Minas Gerais), Belo Horizonte, MG, UFMG, 87p. 2000.

MORALES, E.A.; JASINSKI A. Abstracts of the 17<sup>th</sup> International Diatom Symposium, Canadá, 90p. 2002.

NEVO, E.; WASSER, S.P. *Biodiversity of Cyanoprocaryotes, Algae and FAngi of Israel: Cyanoprocaryotes and algae of Continental Israel*. Ruggell: A.R.A. Gantner Verlagag, 629p. il. 2000.

PATRICK, R.; REIMER, C.W. The diatoms of the United States. *Academy of Natural Sciences*, Philadelphia v.2, n.1, 688 p. 1966.

PATRICK, R.; REIMER, C.W. The diatoms of the United State. *Academy of Natural Sciences Philadelphia*. v.2, n.1, (1): 213p. 1975.

PRYGIEL, J. ; COSTE, M. The assessment of water quality in the Artois-Picardie water basin (France) by the use of diatoms indices. *Hydrobiologia*. v. 269/270, p. 343-349, 1993.

RODRIGUES, L.M.; LOBO, E. A. Análise da estrutura de comunidades de diatomáceas epilíticas no arroio Sampaio, município de Mato Leitão, RS, Brasil. *Caderno de pesquisas, Ser. Bot.* Santa Cruz do Sul, v.12, n.2, p.5-27. 2000.

SLÁDECEK V. System of water quality from a biological point of view. *Archiv für Hydrobiology, Ergebnisse der Limnologie*, v.7, p.1-218. 1973.

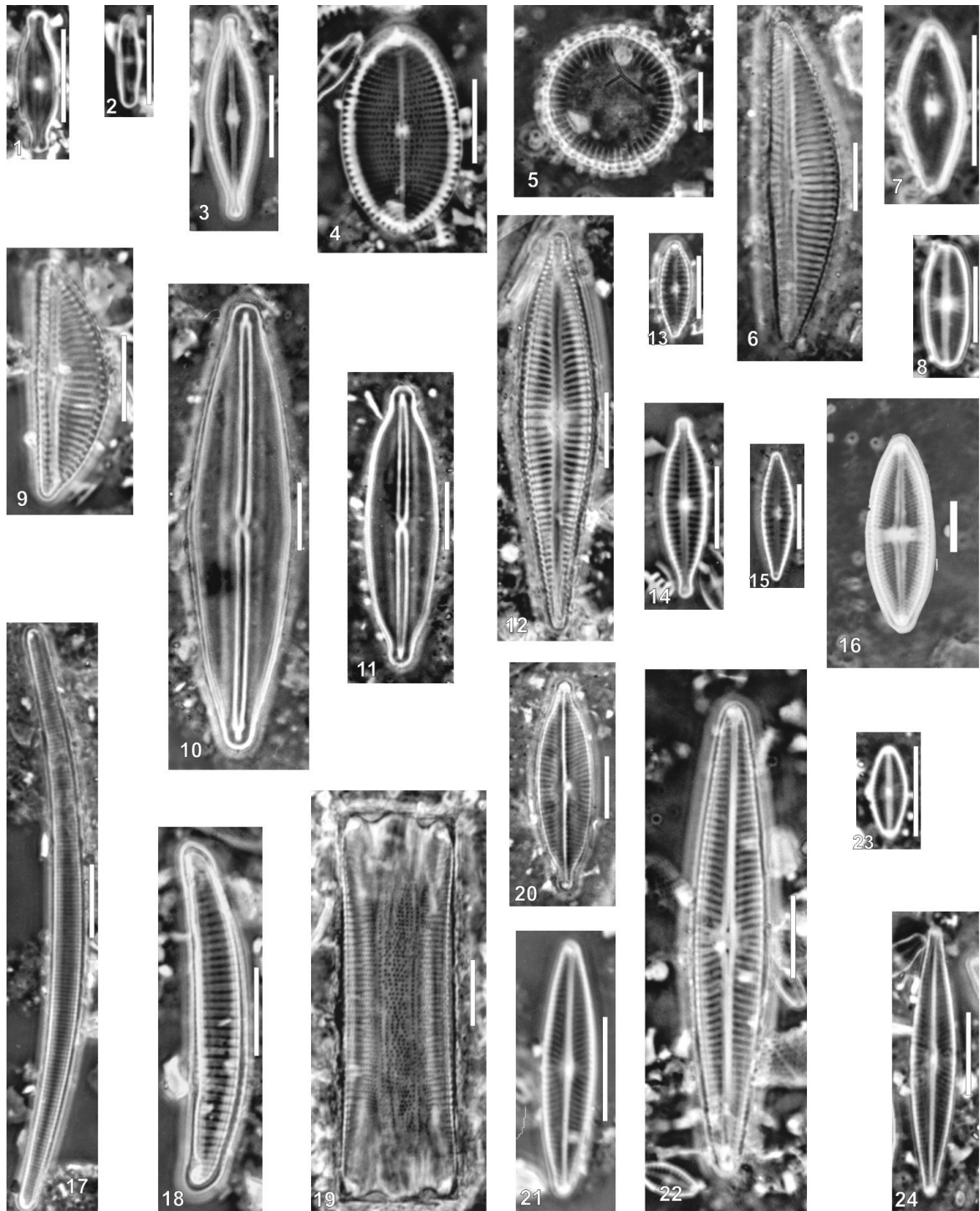
SOUZA, M.G.M. *Variação da comunidade de diatomáceas epilíticas ao longo de um rio impactado no município de São Carlos – SP e sua relação com variáveis físicas e químicas*. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

VAN DAM, H.; MERTENS, A.; SINKELDAM, J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands J. Aquatic Ecology*, v.28, n.1, p. 117-133. 1994.

WHITTON, B.A.; ROTT, E.; FRIEDRICH, G. (Eds.) Use of algae for monitoring rivers. In: *Proc. International Symposium 26-28 May 1991, Germany*, 183p. 1991.

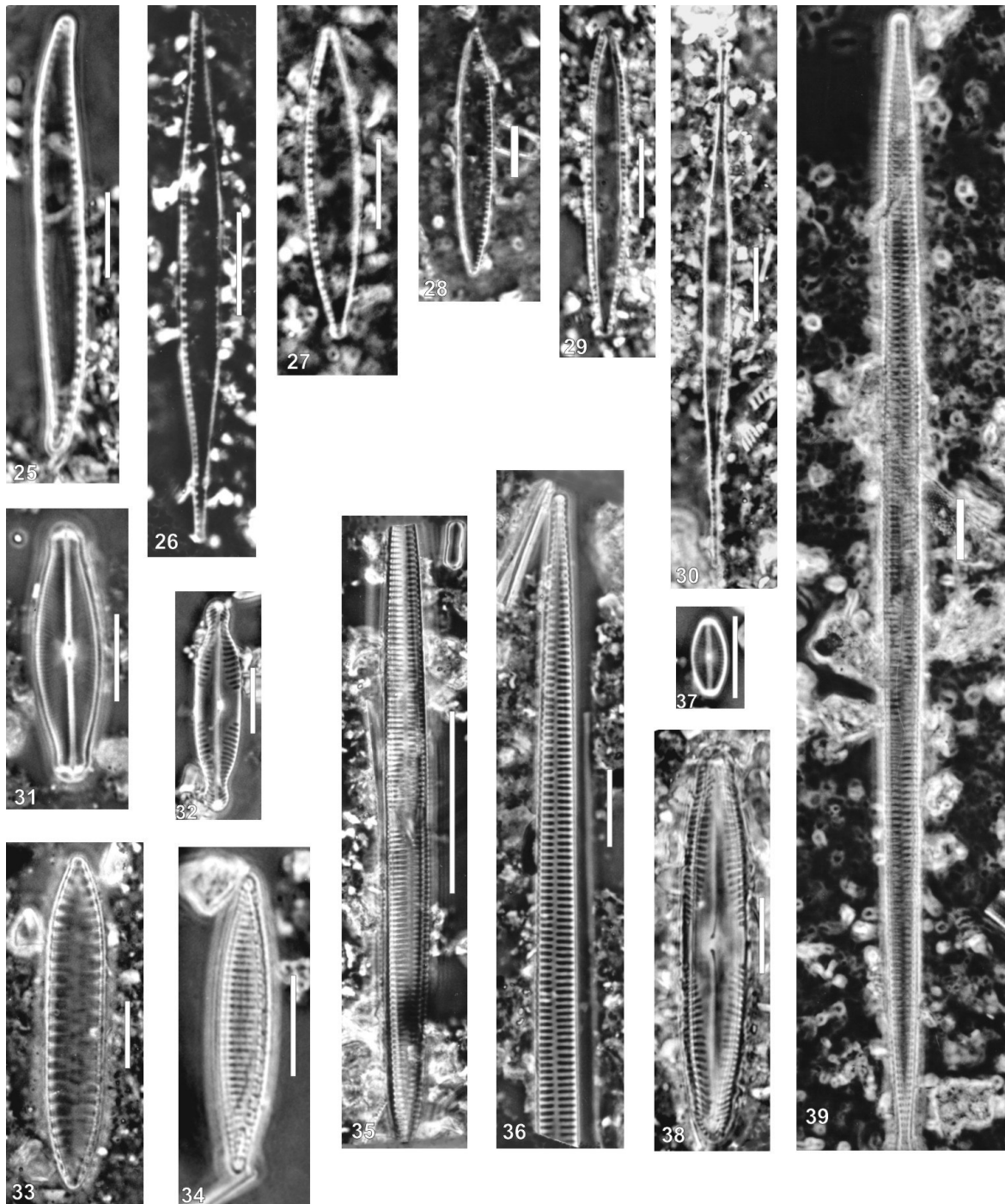
WHITTON, B.A.; ROTT, E. (Eds.) Use of algae for monitoring rivers II. In: *Proc. II International Symposium*. 17-19, September 1995, Innsbruck, Austria, 196p. 1996.

## **PRANCHAS**



**Prancha I:** Espécies abundantes de diatomáceas epilíticas no rio Gravataí, RS, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002. Os números de 1 a 24 correspondem às fotos obtidas em microscopia óptica.

1) *Achnanthes impexa* 2) *Achnantheidium minutissimum* 3) *Brachysira vitrea* 4) *Cocconeis placentula* var. *euglypta* 5) *Cyclotella meneghiniana* 6) *Cymbella turgida* 7) *Diadesmis confervaceae* 8) *Eolimna minima* 9) *Cymbella minuta* 10) *Frustulia rhomboides* 11) *Frustulia crassinervia* 12) *Gomphonema gracile* 13-14-15) *Gomphonema parvulum* 16) *Luticula goeppertiana* 17) *Eunotia bilunaris* 18) *Eunotia pectinalis* 19) *Eunotia pectinalis* (vista pleural) 20) *Navicula rostellata* 21) *Navicula cryptocephala* 22) *Navicula radiosa* 23) *Sellaphora seminulum* 24) *Navicula cryptotenella* (escala 10 µm)



**Prancha II:** Espécies abundantes de diatomáceas epilíticas no rio Gravataí, RS, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002. Os números de 25 a 39 correspondem às fotos obtidas em microscopia óptica.

25) *Nitzschia clausii* 26-30) *Nitzschia palea* var. *tenuirostris* 27-28-29) *Nitzschia palea* 31) *Sellaphora pupula*  
 32) *Pinnularia braunii* 33) *Surirella angusta* 34) *Nitzschia amphibia* 35-36) *Synedra acus* 37) *Sellaphora seminulum* 38) *Pinnularia microstauron* 39) *Synedra acus* (escala 10  $\mu$ m).



## **CAPÍTULO 5**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO GRAVATAÍ, RS, BRASIL,  
PELA APLICAÇÃO DO SISTEMA DE SAPRÓBIOS UTILIZANDO  
DIATOMÁCEAS EPILÍTICAS COMO INDICADORAS.**

RESUMO: O monitoramento biológico da qualidade da água tem sido considerado bastante vantajoso do ponto de vista prático e econômico. A utilização de organismos indicadores baseia-se na observação de que a composição de espécies de algumas comunidades ou a abundância das populações podem ser afetadas de uma forma previsível pela poluição ou contaminação das águas em que eles vivem. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade da água do rio Gravataí utilizando diferentes índices, baseados tanto em variáveis abióticas, como os índices de estado trófico e de saprobidade, quanto alguns índices bióticos, os quais utilizam as diatomáceas epilíticas como indicadoras. Amostragens foram realizadas trimestralmente efetuadas em seis estações de amostragem ao longo do rio Gravataí, RS, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002. Variáveis físicas e químicas da água foram simultaneamente avaliadas. Os resultados indicaram existência de dois trechos do rio com características distintas: o superior-médio, oligotrófico e oligossapróbio e o inferior, eutrófico e polisapróbio. As alterações marcantes entre as duas porções do rio Gravataí são determinadas pela carga poluidora despejada no rio, a qual excede a capacidade de autodepuração, tendo em vista que a vazão e portanto a capacidade de diluição do rio é pequena. As variações na composição e na abundância de espécies selecionadas como indicadoras foram incorporadas em um índice biótico o qual combina as informações ecológicas e as informações físicas e químicas através de pesos ou valores indicativos atribuídos às espécies. Os índices reproduziram as alterações na qualidade da água, mesmo as pequenas, como por exemplo o caráter ligeiramente mais enriquecido da nascente ou banhado. Evidenciaram ainda a forte descontinuidade entre o trecho médio e o inferior. As comparações entre os valores obtidos para o Índice de Qualidade da Água do rio Gravataí, utilizando as espécies e os valores indicativos derivados das análises multivariadas com os parâmetros deste próprio rio, com os valores do mesmo índice obtidos pela utilização dos valores indicativos propostos na literatura, forneceram resultados semelhantes, corroborando o valor do índice regional desenvolvido para o Rio Grande do Sul.

**Palavras-chave:** diatomáceas epilíticas, sistema de sapróbio.

**WATER QUALITY EVALUATION OF GRAVATAÍ RIVER, RS, BRAZIL, WITH EMPHASIS ON THE APPLICATION OF A SAPROBITY INDEX USING EPILITHIC DIATOMS AS INDICATORS.**

**ABSTRACT:** Biological monitoring of water quality has been considered advantageous, from both, practical and economical viewpoint. The use of indicator organisms is based on the observation that the species composition in some communities as well as population abundances are affected, in a predictable way, by water pollution or contamination of the habitats they live on. The present study had as main objective to evaluate the water quality of Gravataí River using some indices, based in abiotic variables as the trophic state index or the saprobity index and also some biotic index that use epilithic diatoms as indicators. Sampling of epilithic diatoms attached to rock artificial substrates was carried out at three months intervals, at six selected localities along Gravataí River (29° 45'a 30° 12'S e 150° 27'a 51° 12'W), during the period of September 2000 august 2002. Main climatological and hydrological variables were simultaneously analysed. The results revealed that there are two distinct portion in the river: The upper-middle stretch oligotrophic and oligosaprobic, and the lower one, eutrophic and polysaprobic. Great alteration in water quality between the two portions are determined by the discharge of heavily polluted effluents, thus exceeding the auto-cleaning river capacity since river flow is small. Changes in the composition and abundance of selected indicator species were incorporated in an index combining both, ecological information about species and information on abiotic environmental variables trough a scale of indicative values. The resulting indices closely reproduced changes in water quality, even fine-grain ones, as for example the slightly enriched head springs. They also evidenced the strong discontinuity found between upper and lower river parts. A comparison among the water quality index obtained by using parameters and species from Gravataí river itself and a regional water quality model recent developed showed great similarity among them, thus indicating that the indicative values suggested in the literature might be a usefool tool for evaluating water quality in the rivers from Rio Grande do Sul State.

**Key-words:** water quality, biotic index, saprobic index

## INTRODUÇÃO

Tanto a quantidade quanto à qualidade dos recursos hídricos estão sujeitas a grandes variações em função de causas naturais e antrópicas. O conceito de desenvolvimento sustentável, difundido no final do século passado, têm modificado as relações entre o homem e a natureza. A disponibilidade e o comprometimento da qualidade das águas doces é considerado um dos principais problemas relacionados ao desenvolvimento sustentável, e um dos grandes desafios a serem enfrentados já neste século.

A ampliação das atividades humanas nas bacias hidrográficas tem como resultado inúmeras descargas de água poluída, com altas concentrações de matéria orgânica que ao serem degradadas elevam as concentrações de nutrientes, particularmente de nitrogênio e fósforo, provocando desequilíbrios nos ciclos biogeoquímicos naturais e uma série de efeitos colaterais indesejáveis. As avaliações qualitativas e quantitativas desses impactos são parte muito importante do esforço para a manutenção dos ecossistemas naturais e para atingir a meta do desenvolvimento sustentável.

Estudos e diagnósticos são requeridos para o monitoramento da qualidade das águas superficiais, o qual é hoje uma das atribuições prioritárias do poder público através dos órgãos ambientais. Torna-se necessário o desenvolvimento de metodologias que permitam avaliar e classificar os recursos hídricos de maneira adequada, gerando as informações que devem subsidiar a tomada das decisões e as ações estratégicas relativas aos usos e à conservação da água.

O monitoramento biológico da qualidade da água tem sido considerado bastante vantajoso do ponto de vista prático e econômico, comparado ao tradicional monitoramento das mudanças químicas e bioquímicas nos cursos de água, decorrentes da poluição. A utilização de organismos indicadores pressupõe que a composição de uma comunidade de organismos e ou, a abundância das populações podem ser afetadas de uma forma previsível pela poluição ou contaminação das águas em que eles vivem (Sládecek, 1973; Abel, 1989).

Existe atualmente ampla evidência de que dentro de certos limites, a presença, a ausência ou a abundância relativa de algumas espécies podem ser utilizadas como

indicadoras da qualidade ambiental (Hellowell, 1978). Assim, as mudanças na composição e na abundância das espécies, tanto graduais quanto súbitas, podem indicar mudanças correspondentes nas condições ambientais.

O primeiro sistema de sapróbios foi desenvolvido na Alemanha por Kolkwitz & Marsson (1908, apud, Schafer, 1985) visando delimitar diferentes zonas de saprobidade ou fases de autopurificação. Este era baseado nas observações empíricas das alterações nas condições ambientais e na zonação de diferentes grupos de bactérias, plantas e animais.

Diversas modificações deste sistema de sapróbios foram posteriormente propostos, variando principalmente as espécies ou grupos indicadores, mas mantendo os mesmos graus de saprobidade ( Fjerdingstad, 1964; Uhlmann, 1975) ou ampliando-os (Sladeczek; 1961).

As diatomáceas, que já haviam sido incluídas de maneira genérica como indicadoras no sistema de sapróbios de Kolkwitz & Marsson (1908, apud, Schafer, 1985), foram gradativamente sendo incluídas como indicadoras, definindo-se associações de espécies características de cada estágio de saprobidade, com base em estudos realizados principalmente em regiões temperadas. (Descy & Coste, 1990; Whitton *et al.*, 1991; Witton & Rott, 1996; Kelly & Witton 1995, 1998, Prygiel *et al.*, 1999, Descy & Ector , 1999, Prygiel, 2002).

Tendo-se a relação de espécies da taxocenose de diatomáceas corretamente identificadas, juntamente com sua importância relativa e posição no sistema de sapróbios, podem ser calculados índices que fornecem a posição média do conjunto, em uma escala de saprobidade (Margalef, 1983). Vários índices baseados nas diatomáceas têm sido desenvolvidos (Pantle & Buck, 1955; Whitton & Kelly, 1995), alguns já utilizados como método de rotina para o controle da qualidade da água (Prygiel & Coste, 1993).

Dentre os diversos índices já propostos, vários autores sugerem que o índice de sapróbio de Pantle & Buck (1955), seria o mais adequado para avaliar a qualidade de água em termos de poluição orgânica.

Na América do Sul, Lobo *et. al.* (1996,1998,2002, 2004) têm utilizado as diatomáceas como indicadoras para a aplicação do sistema de sapróbios, desenvolvendo um índice regional, voltado para a avaliação da qualidade da água dos rios do sul do Brasil, enquanto na Argentina um esforço similar tem sido feito por Gómez (1998, 1999)

para o desenvolvimento de um índice, em escala regional, denominado Índice de Diatomáceas Pampeano (IDP), baseado na comunidade de diatomáceas epipélicas.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a qualidade da água do rio Gravataí utilizando diferentes índices, baseados tanto em variáveis abióticas, como os índices de estado trófico (Carlson modificado por Toledo *et al.* 1983), e de saprobidade (Hamm, 1969), quanto alguns índices bióticos como o de Pantle & Buck (1955), ou derivados deste (Lobo *et al.* no prelo), os quais utilizam diatomáceas epilíticas como indicadoras.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de Estudo

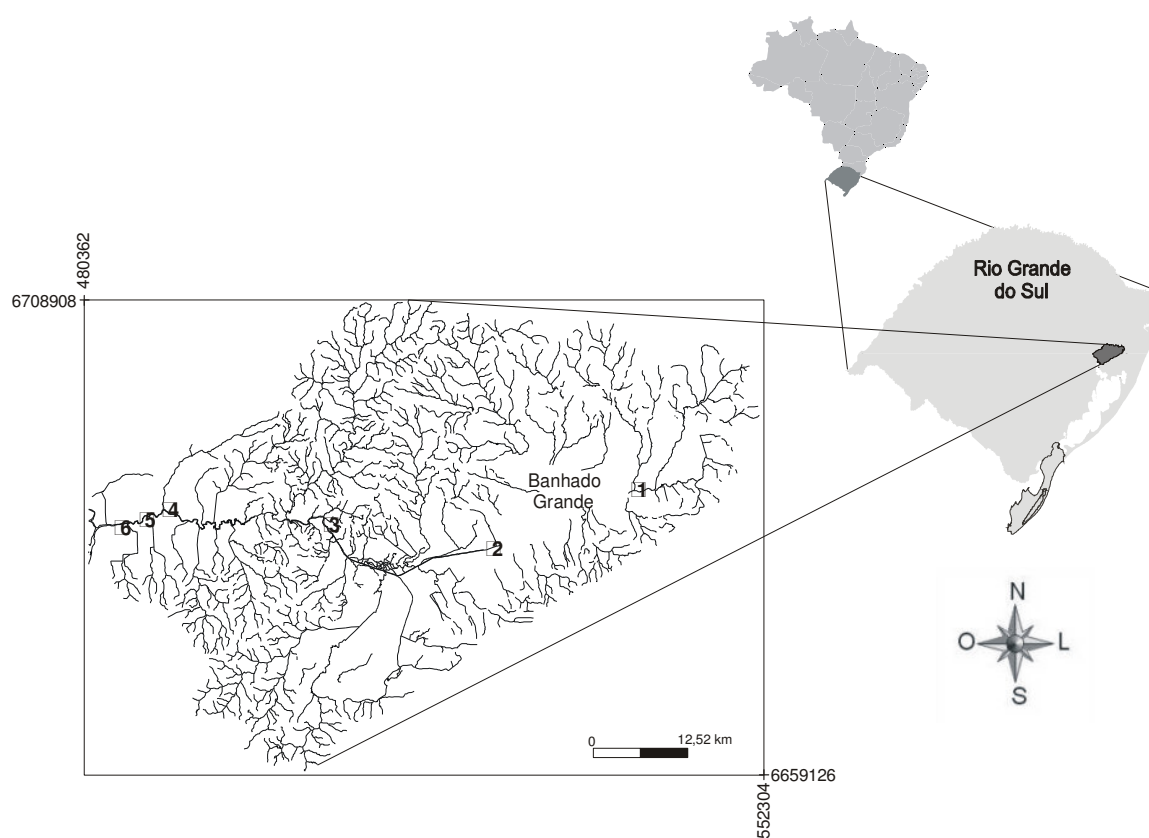
A bacia hidrográfica do rio Gravataí está localizada na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Estende-se entre Porto Alegre e o delta do rio Jacuí a oeste, e a zona de lagunas da costa do Atlântico a leste, entre as longitudes 50°27' e 51°12' oeste. Ao norte faz limite com a bacia hidrográfica do rio dos Sinos, e ao sul com os banhados e arroios que escoam para a laguna dos Patos, entre as latitudes de 29°45' e 30°12' sul (DNOS, 1985).

Esta bacia tem cerca de 2020 km<sup>2</sup> de área, estendendo-se de Porto Alegre até a zona das lagoas, na costa do oceano Atlântico. Inclui total ou parcialmente os municípios de Santo Antônio da Patrulha, Taquara, Glorinha, Gravataí, Alvorada, Viamão, Cachoeirinha, Canoas e Porto Alegre. Situada na região metropolitana de Porto Alegre, RS é responsável pelo abastecimento público de água para cerca de quinhentos mil habitantes, em cinco municípios. Cerca de dois terços desta bacia drena para o Banhado Grande e o restante para o rio propriamente dito. Na porção central, engloba uma área úmida constituída por um conjunto de ecossistemas de banhados, matas paludosas e campos inundáveis conhecida por Banhado Grande, desempenhando importante função na hidrodinâmica desse manancial e contendo grande diversidade biológica (FZB, 1976). O Banhado Grande, que atua como regulador de vazão, originalmente ocupa uma área de 450 Km<sup>2</sup>, sendo reduzido de 50 Km<sup>2</sup>, em função do uso da água para irrigação das culturas de arroz (FEPAM, 1992/94). Apresenta duas regiões com características de ocupação distintas: uma

no curso superior do rio, com intensa atividade agropecuária, e outra no trecho inferior do rio, com uso predominantemente urbano e industrial.

### Coleta das Diatomáceas Epilíticas

Amostras de algas diatomáceas epilíticas foram coletadas no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, com periodicidade trimestral abrangendo as quatro estações do ano, em seis estações de amostragem estabelecidas a montante e a jusante das principais fontes poluidoras na bacia do rio Gravataí (Fig.1).



**Figura 1:** Localização da Bacia Hidrográfica do rio Gravataí, no estado do Rio Grande do Sul, e das seis estações de amostragem ao longo do rio Gravataí. E1=arroyo Chico Lomã, município de Santo Antônio da Patrulha; E2= Fazenda Juca Barcelos, município de Glorinha; E3= Balneário Passo dos Negros, município de Gravataí; E4=Captação da base aérea, município de Porto Alegre/Canoas; E5=Arroyo da Areia, município de Porto Alegre/Canoas; E6= Foz do rio Gravataí, município de Porto Alegre.

Na estação 2 as amostragens foram reduzidas, tendo sido realizadas apenas no outono de 2001 e 2002 e no inverno de 2002, pelo fato de que nos outros períodos os suportes contendo os substratos não foram encontrados.

As diatomáceas epilíticas foram amostradas em substratos de pedras (seixo rolado) previamente colocados na sub-superfície do rio (profundidade de 20 cm), utilizando, como suporte, flutuadores de isopor, instalados em seis estações de amostragem localizadas ao longo do rio. Na colocação dos suportes e substratos, embora colocados próximo às margens foram evitados os locais sombreados. O tempo de exposição das pedras no rio foi de aproximadamente quatro semanas, conforme os procedimentos recomendados por Lobo & Buselato-Toniolli (1985) e as amostragens foram realizadas a cada três meses. As amostragens das diatomáceas epilíticas na estação 2 foram acidentalmente reduzidas pelo desaparecimento dos suportes contendo os substratos.

As coletas para análise quantitativa foram feitas por meio de raspagem das pedras, com uma escova de dente, correspondendo a uma área de 25 cm<sup>2</sup>. Em cada estação de amostragem, três pedras foram raspadas (75 cm<sup>2</sup>) e lavadas com água destilada formando uma amostra composta fixada com formaldeído 4%. Após este procedimento, a amostra composta foi homogeneizada, retirando-se uma alíquota de 40mL. O material foi oxidado com permanganato de potássio e ácido clorídrico concentrado. Uma alíquota (1mL) da amostra oxidada foi depositada e montada em lâmina permanente para posterior observação, utilizando-se a resina Naphrax®. Para a contagem das algas foram utilizados os procedimentos descritos por Kobayasi & Mayama (1982) e Lobo (1995a). Para cada amostra foram realizadas contagens em transecções, sendo contadas no mínimo 400 valvas, conforme a metodologia estabelecida por Bate & Newall (1998). Os resultados foram expressos em número de ind/cm<sup>2</sup>.

Para a identificação dos táxons ao nível específico e infra-específico, as diatomáceas epilíticas foram observadas e fotografadas em microscópio ótico binocular, com aumento de 1000 vezes. As amostras do material quantitativo e qualitativo foram registradas sob os números de HAS de 103699 a 103813 e estão depositadas no Herbário Prof. Dr. Alarich R. H. Schultz (HAS), do Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (MCN/FZB). Na identificação das diatomáceas foram utilizadas as seguintes obras taxonômicas: Patrick & Reimer (1966, 1975), Germain (1981), Krammer



(1992), Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, 1991b), Lange-Bertalot (1979, 2001) e Lobo *et. al.* (2002).

Para a determinação das espécies dominantes e abundantes foi seguido o critério de Lobo & Leighton (1986), sendo consideradas dominantes as espécies cujas densidades atingiram valores acima de 50% da densidade total da amostra e espécies abundantes, aquelas cujas densidades superaram a densidade média das diferentes espécies em cada amostra.

### Índice de Estado Trófico

Para a classificação segundo o grau de trofia das seis estações de amostragens, localizadas ao longo do rio Gravataí, foi adotado o índice de estado trófico de CARLSON (1977), modificado por TOLEDO JR *et al.* (1983)

O Índice de Estado Trófico (IET) segundo Toledo *et al.* (1983) foi calculado segundo a equação:

$$\text{IET (PO}_4\text{)} = 10 \times \left( 6 - \frac{\ln (21,67 / \text{PO}_4)}{\ln 2} \right)$$

nas quais, P é a concentração de ortofosfato total dissolvido.

Conforme o valor do índice obtido, os corpos de água ou trecho deste podem ser classificados nas seguintes categorias ou graus de trofia.

Oligotrófico	< 44
Mesotrófico	44 – 54
Eutrófico	> 54

## Índices de Sapróbios

Para classificar o ambiente quanto a saprobidade foram utilizadas as médias das variáveis ambientais DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; DSO: Déficit de saturação do oxigênio(%) e N-NH<sub>4</sub>: concentração do íon amônio, conforme as estações amostradas nos diferentes períodos do ano.

**Tabela I** Classificação dos níveis de saprobidade da água em função das variáveis físicas e químicas proposto por Hamm (1969), para algumas variáveis ambientais selecionadas: DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; DSO: Déficit de saturação do oxigênio(%) e N-NH<sub>4</sub>: concentração do íon amônio.

Grau de saprobidade	IS	DBO (mg/L)	DSO (%)	N-NH <sub>4</sub> (ug/L)
oligossapróbico	1.0-1.7	0.0-1.9	0-14	0-80
$\beta$ -mesossapróbico	1.8-2.6	2.0-6.9	15-49	81-470
$\alpha$ -mesossapróbico	2.7-3.4	7.0-22.0	50-89	471-780
polissapróbico	3.5-4.0	>22.0	> 90	>780

## Índices Bióticos

A partir da análise quantitativa das taxocenoses de diatomáceas epilíticas nas seis estações de amostragem localizadas ao longo do rio Gravataí foram calculados os índices bióticos. Os cálculos para estes índices foram baseados na equação de Pantle & Buck (1955) ( $IS = \sum (s \cdot h) / \sum h$ , onde: S=valor do índice de saprobidade das espécies e h= é a frequência de ocorrência de cada uma das espécies na amostra em questão).

O valor indicativo atribuído para cada espécie foi baseado nos valores propostos por Lobo *et al.* (2002), mas modificado de acordo com a ocorrência e abundância das espécies no rio Gravataí, classificando-as em três grupos diferenciais de acordo com seus padrões de distribuição ao longo de um gradiente de poluição orgânica: Grupo A (espécies mais tolerantes à poluição), ao qual foi atribuído o valor 4. Para as espécies do grupo B (espécies tolerantes à poluição) foi atribuído o valor 2,5 e para as espécies do grupo C (espécies menos tolerantes à poluição) foi atribuído o valor 1.

A classificação das águas do rio Gravataí em Classes de Uso foi também realizada de acordo com a classificação estabelecida pela Resolução CONAMA no. 20 (1986), utilizando-se as variáveis: concentração de oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio em cinco dias, turbidez, concentração de fosfato total dissolvido e densidade de coliformes fecais, conforme os limites apresentados na Tabela II.

**Tabela II:** Parâmetros e limites da resolução CONAMA n. 20 de 18 de julho de 1986, utilizados para a classificação das águas doces continentais brasileiras.

Parâmetros	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
OD	>6,0 mg/L	5-6 mg/L	4-5 mg/L	2-4 mg/L
DBO-5	<3 mg/L	3-5 mg/L	6-10 mg/L	>10 mg/L
Turbidez	<40 UNT	40-100 UNT	<100 UNT	>100 UNT
Fosfato Total (mg/L)	0.025	0.025	0.025	0.025
Coliformes fecais	< 200NMP/100 mL	< 1000NMP/100 mL	< 4000NMP/100 mL	>4000NMP/100 mL

### Variáveis Ambientais

Simultaneamente às coletas de algas foram realizadas medições das variáveis temperatura da água e do ar, condutividade, turbidez, pH, concentração de oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio após 5 dias (DBO-5), demanda química de oxigênio (DQO), concentrações de amônio, nitrogênio orgânico total, ortofosfato dissolvido, fosfato total, cloretos e o número de coliformes fecais, segundo as metodologias estabelecidas por APHA, 1992. (dados fornecidos pela Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul - FEPAM e pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto de Porto Alegre - DMAE).

## **Análises Estatísticas**

A análise de correspondência canônica (ACC) é uma técnica direta de gradiente que representa simultaneamente as variáveis ambientais e os dados biológicos em um espaço bidimensional, tendo como método de estimativa a média ponderada e o modelo de resposta unimodal (Ter Braak & Prentice, 1988). Este tipo de ordenação foi realizado com a finalidade de determinar as principais variáveis ambientais responsáveis pela modificação da comunidade periférica.

Os primeiros eixos canônicos foram testados em nível de significância através do teste de Monte Carlo (999 permutações;  $p \leq 0,05$ ), que determina a probabilidade dos autovalores calculados terem ou não distribuição ao acaso (Ter Braak, 1986).

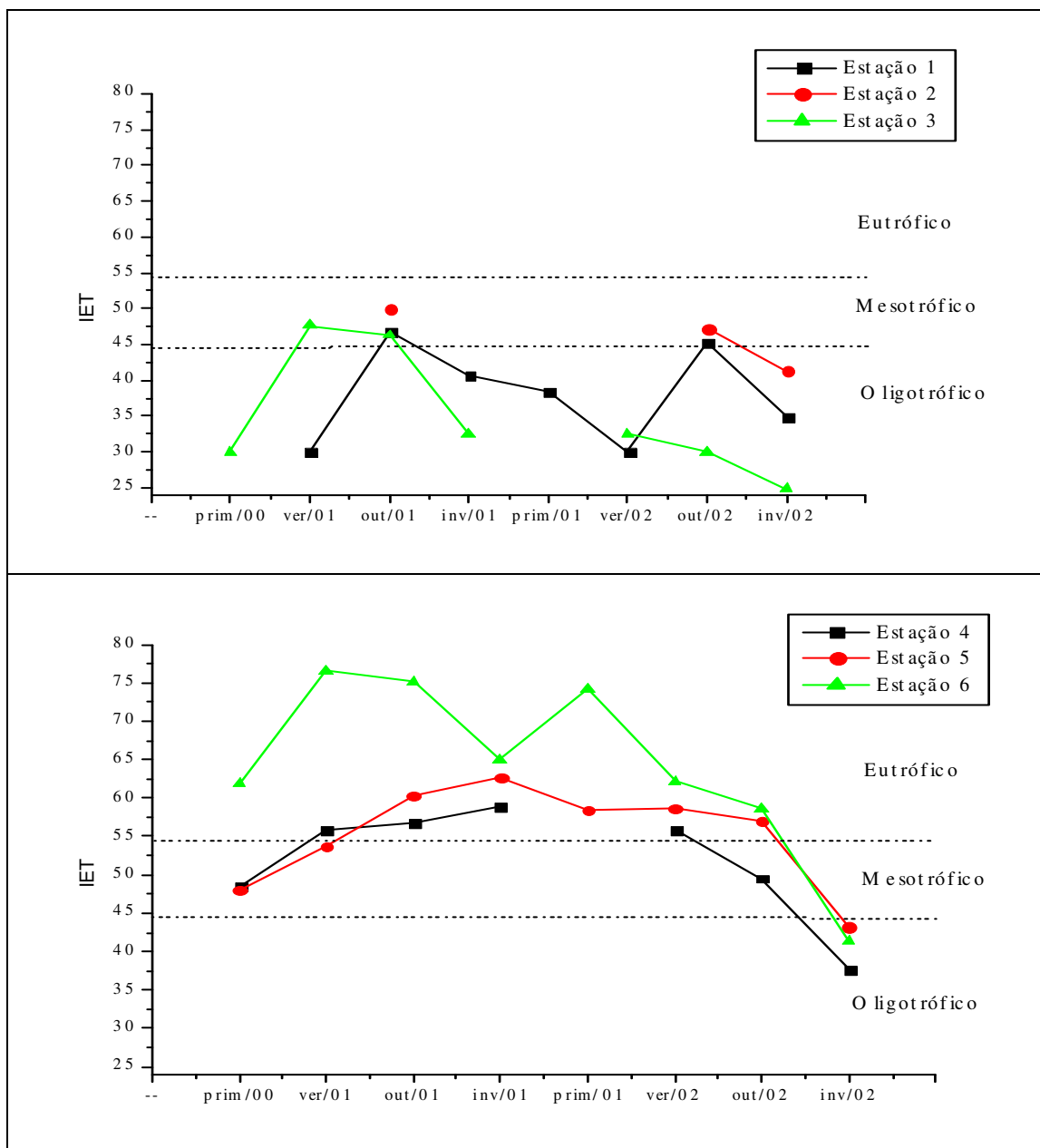
## **RESULTADOS**

Os valores médios das variáveis ambientais medidas no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, para as seis localidades amostradas no rio Gravataí, são apresentados na Tabela III. Observa-se que ocorrem variações entre as localidades, caracterizando dois trechos distintos: o primeiro, com menor amplitude de variação, abrangendo as estações 1, 2 e 3 e o segundo com maior amplitude de variação, no trecho posterior, onde se localizam as estações 4, 5 e 6. As variáveis, temperatura da água, pH e demanda química de oxigênio tiveram pequena variação, e sem um padrão longitudinal definido. Para a variável turbidez existe pouca variação nas cinco primeiras localidades, havendo, no entanto, marcante decréscimo de turbidez na última estação de amostragem, a estação 6. Observa-se um declínio nas concentrações de oxigênio dissolvido e um aumento na demanda bioquímica de oxigênio, na concentração de nutrientes e na densidade de coliformes, da nascente à foz. O maior gradiente ocorre entre as estações 3 e 4, para a maioria das variáveis quantificadas.

**Tabela III:** Valores médios e desvios-padrão (Dp), das variáveis físicas, químicas e microbiológicas monitoradas ao longo das seis estações de amostragem, no rio Gravataí no período de setembro de 2000 a agosto de 2002. E1 a E6 correspondem as estações de amostragem.

	E1		E2		E3		E4		E5		E6	
	média	Dp	média	Dp	média	Dp	média	Dp	média	Dp	média	Dp
TEMPAR (°C)	23,28	5,31	23,76	5,73	25,40	5,87	25,78	7,08	25,48	7,07	22,9	5,99826
TEMPAG (°C)	22,52	4,92	20,81	4,22	23,00	5,05	22,34	4,87	22,75	4,95	21,76	5,01273
PROF (m)					5,44	1,14	4,28	1,11	4,69	1,34	4,688	0,60644
TRANSP (cm)					0,27	0,10	0,22	0,10	0,22	0,10	0,26	0,1
TURB (UNT)	72,70	43,60	55,57	31,83	71,58	30,33	66,26	20,79	67,06	26,53	37,76	16,2799
COND (µS/cm)	73,12	36,44	52,84	17,03	49,81	16,20	104,09	45,45	124,98	56,21	139,092	66,2063
CLORETO (mg Cl/L)	8,04	4,07	5,85	1,68	7,13	2,71	11,25	5,28	11,91	5,70	13,384	4,50968
pH	6,22	1,36	6,30	0,35	6,37	0,41	6,40	0,45	6,45	0,43	7,02	0,26771
OD (mg O2/L)	5,65	2,13	4,74	1,77	4,70	2,01	2,50	1,53	2,00	1,23	3,45263	2,31861
DBO (mg O2/L)	1,45	0,80	1,20	0,52	1,36	0,95	3,64	1,71	5,43	3,23	6,808	4,37511
DQO (mg O2/L)	35,70	13,13	32,28	9,95	38,74	9,78	40,87	10,63	42,39	11,34	38,844	9,16352
NH3 (mg N/L)	0,30	0,14	0,15	0,07	0,36	0,53	2,16	1,99	2,87	2,78	3,37	2,70213
NORG (mg N/L)	1,08	0,65	0,65	0,19	0,89	0,35	1,49	1,06	2,40	2,53	1,784	1,0111
Nitrogênio total	1,12	0,75	0,77	0,26	1,27	0,84	3,82	2,77	4,97	4,64	5,2652	3,01222
PO4O (mg PO4/L)	0,06	0,04	0,03	0,02	0,05	0,08	0,26	0,21	0,30	0,25	0,816	0,61188
PO4T (mg PO4/L)	0,21	0,19	0,17	0,23	0,16	0,14	0,51	0,35	0,62	0,41	1,32	1,1393
COLI FECAIS (NMP/100 mL)	312,79	248,49	270,62	206,90	858,71	1000,71	49304,55	59380,82	95175	99623	175120	186048

Os índices de estado trófico para as diferentes localidades amostradas e sua variação ao longo das estações do ano são apresentados na Fig. 2. Observa-se que as estações 1, 2 e 3, localizadas no trecho superior e mediano do rio Gravataí, apresentam características oligotróficas (Fig. 2a). Apenas nos períodos de outono observaram-se condições de mesotrofia para estas estações de amostragem. Por outro lado, o trecho inferior do rio, que compreende as estações 4, 5 e 6, tem características predominantemente eutróficas (Fig. 2b). Observam-se também variações sazonais e interanuais nas condições de trofia das águas no trecho inferior do rio Gravataí, sendo que nos períodos de primavera de 2000 e principalmente no outono e inverno de 2002 houve marcante redução no grau de trofia em todas as localidades no rio Gravataí.



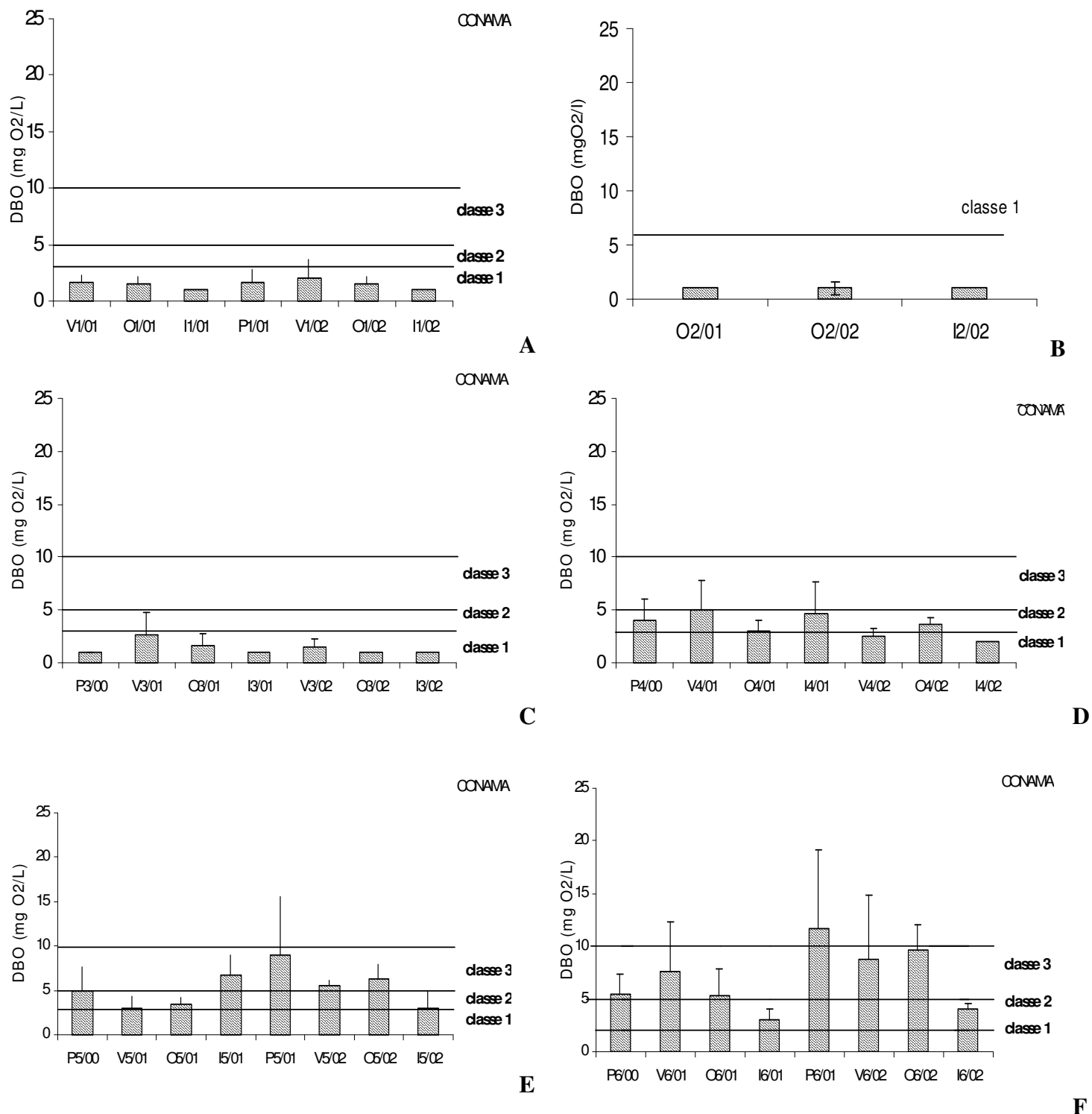
**Figura 2:** Índices de estado trófico (segundo Carlson, 1977, modificado por Toledo et al., 1983) nas seis estações amostradas no rio Gravataí, RS, em diferentes estações do ano, no período de setembro de 2000 a agosto de 2002.

Os valores médios de demanda bioquímica de oxigênio, densidade de coliformes e concentração de fosfato total dissolvido, obtidos para o rio Gravataí para as seis estações e períodos amostrados foram comparados aos parâmetros estabelecidos pela resolução

CONAMA (1986), para a classificação das águas doces em classes de usos. Os resultados são apresentados nas Figuras 3 a 5. Observa-se que, de acordo com os valores de DBO 5 nas estações 1, 2 e 3, os valores médios encontrados variam de 1 a 2,67 mg O<sub>2</sub>/L, não ultrapassando os valores estabelecidos para a classe 1 (3 mg O<sub>2</sub>/L) da resolução nº 20 do CONAMA (1986). Na estação 4 os valores médios variam de 2,0 mg O<sub>2</sub>/L a 5 mg O<sub>2</sub>/L pertencendo as classes 1 e 2 (5 mg O<sub>2</sub>/L) do Conama (1986). Nas estações 5 e 6 os valores médios variaram de 3,0 a 11,73 mg O<sub>2</sub>/L (primavera de 2001) pertencendo as classes 2 (5 mg O<sub>2</sub>/L) e 3 (10 mg O<sub>2</sub>/L), conforme mostra os gráficos A até F da figura 3.

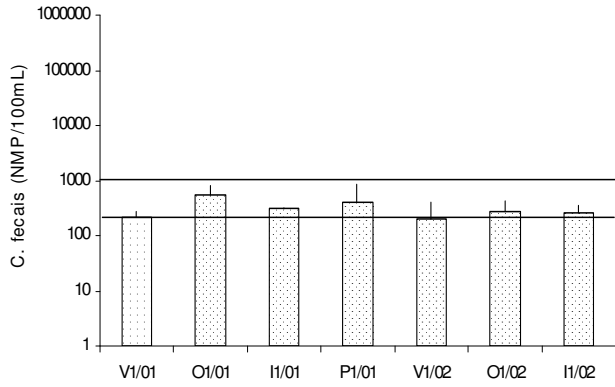
A figura 4 representa os valores médios de coliformes fecais, apresentando uma variação média de 127 NMP/100 mL no outono de 2002 na estação 1 até 2033 NMP/100mL na estação 3 primavera de 2000 pertencentes as classes 1 (200 NMP/100mL) e classe 2 (1000 NMP/100mL). Para as estações 4, 5 e 6 os valores de coliformes atingiram os valores médios de 15.000 NMP/100 mL no outono de 2001 a 200.000 NMP/100mL no verão de 2001, valores que ultrapassaram os limites estabelecidos para a classe 3 (4000 NMP/100 mL) e 4 (superiores a 4000 NMP/100 mL)

A figura 5, representa os valores médios de ortofosfato total, que apresentaram valores médios variando de 0,01 mg PO<sub>4</sub>/L a 0,16 mg PO<sub>4</sub>/L, nas estações 1, 2 e 3. Entretanto, para as estações 4, 5 e 6 os valores médios variaram de 0,09 mg PO<sub>4</sub>/L a 1,37 mg PO<sub>4</sub>/L, sendo que os valores ultrapassam os limites estabelecidos para a classe 3 (0,025 µg/L) da legislação do Conama (1986).

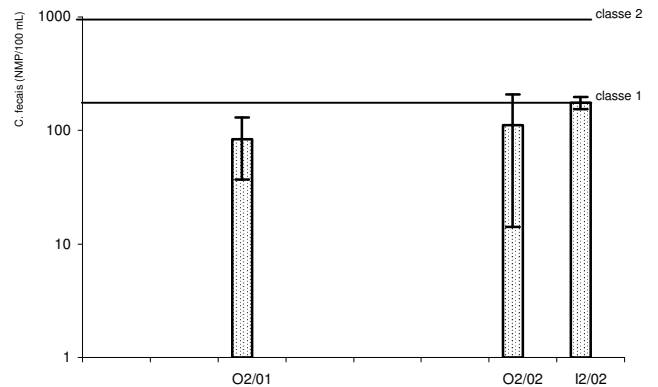


**Figura 3:** Valores registrados de DBO-5 (mg O<sub>2</sub>/L) nas diferentes estações de amostragem e estações do ano no rio Gravataí, RS. **A**-Estação 1, **B**- Estação 2, **C**- Estação 3, **D**- Estação 4, **E**--Estação 5, **F**- Estação 6. V/01-verão de 2001; O/01 - outono de 2001; I/01 - inverno de 2001 P/01 - primavera de 2001; V/02 - verão de 2002; O/02 - outono de 2002; I/02- inverno de 2002.

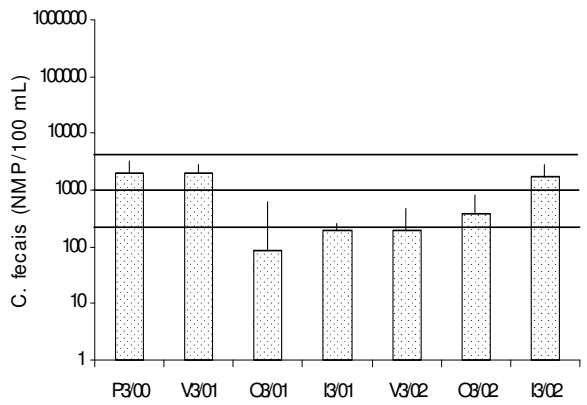




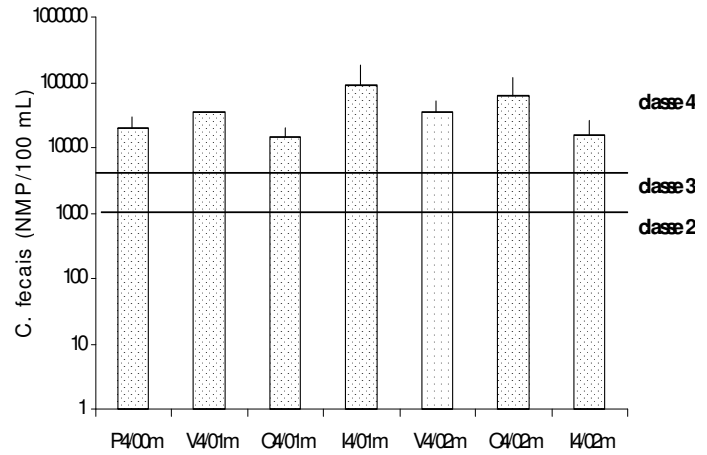
A



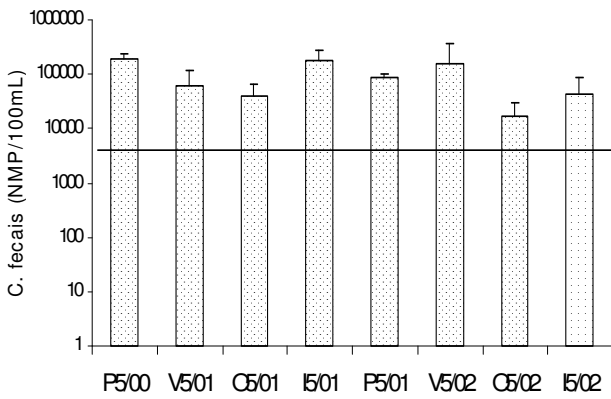
B



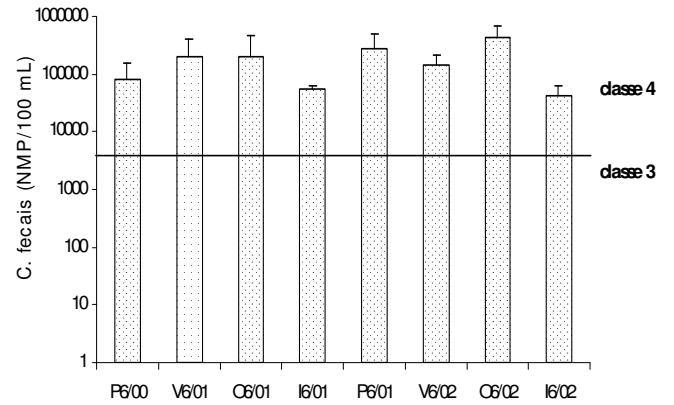
C



D

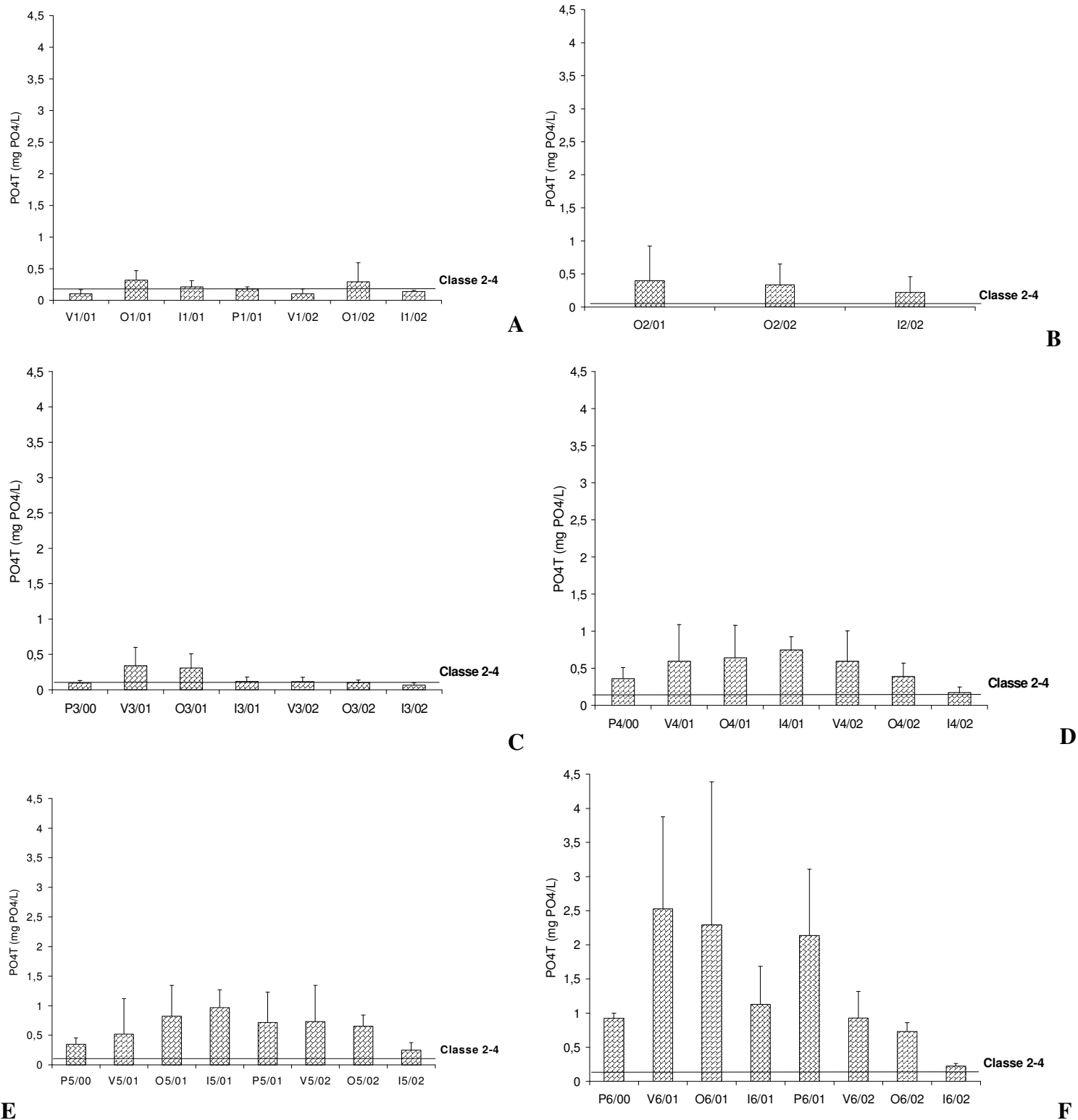


E



F

**Figura 4:** Valores registrados de coliformes fecais (NMP/ 100 mL) nas diferentes estações de amostragem e estações do ano no rio Gravataí, RS. **A-** Estação 1, **B-** Estação 2, **C-** Estação 3, **D-** Estação 4, **E-** Estação 5, **F-** Estação 6. V/01 – verão de 2001; O/01 – outono de 2001; I/01 – inverno de 2001 P/01 - primavera de 2001; V/02 – verão de 2002; O/02 – outono de 2002; I/02- inverno de 2002.



**F**  
**Figura 7:** Valores registrados de PO4T (mg Po4/L) nas diferentes estações de amostragem e estações do ano no rio Gravataí, RS. **A-** Estação 1, **B-** Estação 2, **C-** Estação 3, **D-** Estação 4, **E-** Estação 5, **F-** Estação 6. V/01--verão de 2001; O/01 – outono de 2001; I/01 – inverno de 2001 P/01 - primavera de 2001; V/02 – verão de 2002; O/02 – outono de 2002; I/02- inverno de 2002.

Os índices de saprobidade calculados com base nas variáveis demanda bioquímica de oxigênio, concentração de amônio e concentração de fosfato total dissolvido, de acordo com a classificação de Hamm (1969), são apresentados na Tabela IV. Os resultados evidenciam que de acordo com a variável química utilizada, uma mesma localidade pode ser classificada em níveis de saprobidade diferentes. Revelam, no entanto, uma menor saprobidade para as estações localizadas nos trechos superior e médio do rio Gravataí e saprobidade mais elevada no trecho inferior. Assim, as estações 1, 2 e 3, são classificadas como oligossapróbias com base na demanda bioquímica de oxigênio,  $\beta$ -mesossapróbias com base nas concentrações de amônio ou  $\alpha$ - ou  $\beta$ -mesossapróbias de acordo com as concentrações de fosfato total dissolvido. As estações 4, 5 e 6 foram predominantemente classificadas como mesossapróbias com base na demanda bioquímica de oxigênio, mas como polissapróbias de acordo com as concentrações de amônio e de fosfato total dissolvido. De maneira geral, os índices de saprobidade revelam um gradiente, com aumento de saprobidade da nascente à foz.

**Tabela IV** – Índice de sapróbios (IS) proposto por Hamm (1969), para algumas variáveis ambientais selecionadas: saturação de oxigênio dissolvido na água (DSO %); DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; N-NH<sub>4</sub>: concentração do íon amônio.

Período	DSO %	classificação	DQO mg/L	classificação	N-NH <sub>4</sub> (ug/L)	classificação
Prim3/00	93	oligossapróbico	39,6	$\alpha$ -mesossapróbico	250	$\beta$ -mesossapróbico
Prim4/00	53	b-mesossapróbico	41	$\alpha$ -mesossapróbico	1560	polissapróbico
Prim5/00	39	b-mesossapróbico	41,33	$\alpha$ -mesossapróbico	1830	polissapróbico
Prim6/00	31	b-mesossapróbico	34,37	$\alpha$ -mesossapróbico	1800	polissapróbico
Ver1/01	64	oligossapróbico	34,67	$\alpha$ mesosapróbico	350	$\beta$ -mesossapróbico
Ver3/01	68	b-mesossapróbico	43	$\alpha$ mesosapróbico	1100	polissapróbico
ver4/01	40	b-mesossapróbico	44	$\alpha$ mesosapróbico	2910	polissapróbico
ver5/01	28	b-mesossapróbico	48,67	$\alpha$ mesosapróbico	3470	polissapróbico
ver6/01	19	a-mesossapróbico	40,6	$\alpha$ mesosapróbico	4230	polissapróbico
out1/01	51	oligossapróbico	31,68	$\alpha$ mesosapróbico	330	$\beta$ -mesossapróbico
out2/01	54	oligossapróbico	32,67	$\alpha$ mesosapróbico	190	$\beta$ -mesossapróbico
out3/01	63	oligossapróbico	36,33	$\alpha$ mesosapróbico	290	$\beta$ -mesossapróbico
out4/01	32	b-mesossapróbico	37,67	$\alpha$ mesosapróbico	2570	polissapróbico
out5/01	22	b-mesossapróbico	44,2	$\alpha$ mesosapróbico	2760	polissapróbico
out6/01	52	b-mesossapróbico	40,07	$\alpha$ mesosapróbico	2170	polissapróbico
inv1/01	41	oligossapróbico	25,67	$\alpha$ mesosapróbico	280	$\beta$ -mesossapróbico
inv3/01	50	oligossapróbico	31	$\alpha$ mesosapróbico	210	$\beta$ -mesossapróbico
inv4/01	26	b-mesossapróbico	39,33	$\alpha$ mesosapróbico	810	polissapróbico
inv5/01	16	b-mesossapróbico	37,33	$\alpha$ mesosapróbico	480	$\alpha$ -mesossapróbico
inv6/01	42	b-mesossapróbico	38,77	$\alpha$ mesosapróbico	2970	polissapróbico

Continuação

tabela IV...

Período	DSO %	classificação	DQO mg/L	classificação	N-NH <sub>4</sub> (ug/L)	classificação
prim1/01	81	oligossapróbico	43,07	α mesosapróbico	440	β-mesosapróbico
prim5/01	15	a-mesosapróbico	42,23	α mesosapróbico	3510	polissapróbico
prim6/01	67	a-mesosapróbico	40,5	α mesosapróbico	5130	polissapróbico
ver1/02	70	b-mesosapróbico	33,67	α mesosapróbico	210	β-mesosapróbico
ver3/02	38	oligossapróbico	49,33	α mesosapróbico	310	β-mesosapróbico
ver4/02	13	b-mesosapróbico	46,33	α mesosapróbico	3180	polissapróbico
ver5/02	16	b-mesosapróbico	50,67	α mesosapróbico	4020	polissapróbico
ver6/02	21	a-mesosapróbico	46,33	α mesosapróbico	4220	polissapróbico
out1/02	50	oligossapróbico	31,33	α mesosapróbico	280	β-mesosapróbico
out2/02	43	oligossapróbico	18,33	α mesosapróbico	80	oligossapróbico
out3/02	42	oligossapróbico	36	α mesosapróbico	260	β-mesosapróbico
out4/02	14	b-mesosapróbico	51	α mesosapróbico	3330	polissapróbico
out5/02	11	b-mesosapróbico	37,67	α mesosapróbico	5020	polissapróbico
out6/02	3	a-mesosapróbico	44,77	α mesosapróbico	5870	polissapróbico
inv1/02	84	oligossapróbico	31,67	α mesosapróbico	160	β-mesosapróbico
inv2/02	49	oligossapróbico	25,5	α mesosapróbico	90	β-mesosapróbico
inv3/02	32	oligossapróbico	32,33	α mesosapróbico	130	β-mesosapróbico
inv4/02	30	b-mesosapróbico	31,67	α mesosapróbico	590	α-mesosapróbico
inv5/02	29	b-mesosapróbico	37	α mesosapróbico	1860	polissapróbico
inv6/02	42	b-mesosapróbico	28,37	α mesosapróbico	1330	polissapróbico

As diatomáceas epilíticas, selecionadas como indicadoras, com base nos gradientes de variáveis relacionadas com a eutrofização e nos gradientes de mudanças na composição de espécies e na abundância relativa das mesmas, estão representadas na Figura 8. Pode-se observar a sucessão de espécies ao longo do gradiente de eutrofização do rio Gravataí. As espécies que mais se destacaram como indicadoras das águas menos eutrofizadas foram *Gomphonema parvulum* e *Sellaphora seminulum* com alta abundância relativa. Para a condição eutrofizada, destacou-se como indicadora a espécie *Nitzschia palea*. A Figura 8 sumariza ainda o gradiente das principais variáveis abióticas relacionadas à eutrofização, indicando que as concentrações de fosfato total dissolvido, a demanda bioquímica de oxigênio e condutividade aumentam da nascente à foz, enquanto a concentração de oxigênio dissolvido diminui. Permite ainda observar a marcada transição entre as estações 3 e 4.

- ⇒ 1 *Gomphonema parvulum* *Sellaphora seminulum*  
*Brachysira vitrea* *Cocconeis placentula*  
*Eunotia pectinalis* *Eunotia bilunaris*  
*Gomphonema gracile* *Nitzschia palea*
- ⇒ 2 *Gomphonema parvulum* *Nitzschia clausii*  
*Eunotia pectinalis* *Sellaphora seminulum* *Frustulia saxonica*  
*Frustulia crasinervia* *Brachysira vitrea* *Achnathes impexa* *Diploneis smithii*
- ⇒ 3 *Sellaphora seminulum* *Gomphonema parvulum*  
*Nitzschia palea* *Frustulia saxonica* *Cymbella turgida*  
*Achnathes impexa* *Frustulia crassinervia* *Nitzschia clausii*  
*Navicula cryptotenella*
- ⇒ 4 *Nitzschia palea* *Sellaphora seminulum* *Gomphonema parvulum*  
*Eunotia pectinalis* *Synedra acus* *Ulnaria ulna* *Sellaphora pupula*  
*Eunotia bilunaris* var. *mucophila* *Fragilaria crassinervia*  
*Encyonema minutum* *Eunotia bilunaris* *Frustulia saxonica*  
*Navicula cryptocephala* , *Nitzschia clausii*
- ⇒ 5 *Nitzschia palea* *Synedra ulna*  
*Gomphonema parvulum* *Sellaphora seminulum*  
*Sellaphora pupula*  
*Eunotia bilunaris* var. *mucophila*  
*Eunotia pectinalis* *Pinnularia microstauron*  
*Surirella angusta* *Encyonema minutum*
- ⇒ 6 *Nitzschia palea* *Sellaphora seminulum*  
*Luticola goeppertiana* *Nitzschia palea* var. *tenuirostris*  
*Gomphonema parvulum* *Pinnularia microstauron*  
*Luticola mutica* *Navicula subminuscula*  
*Navicula cryptocephala*

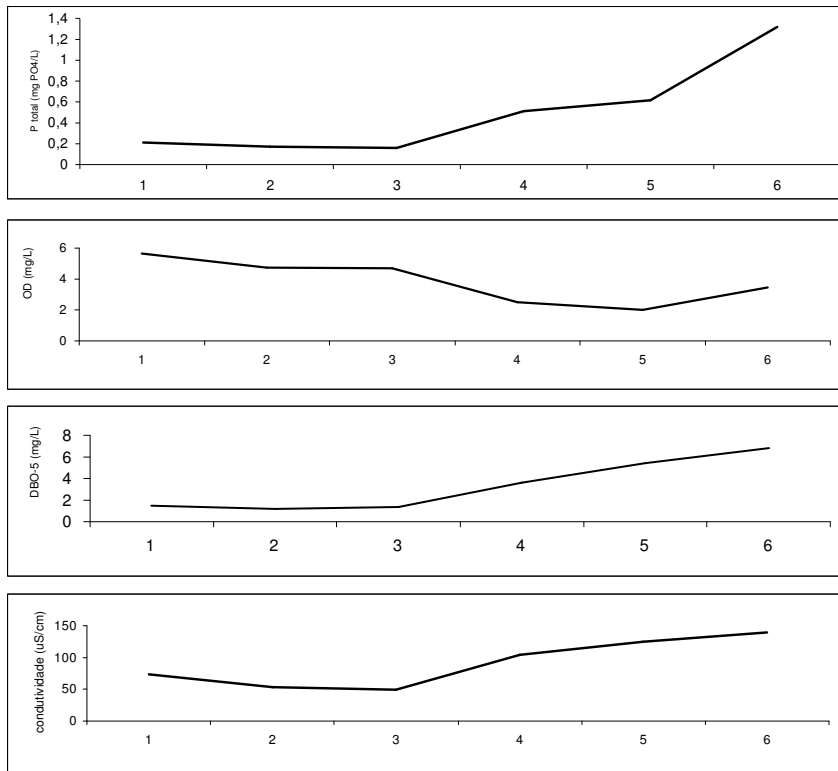


Figura 8: Ocorrência (ordem decrescente) de espécies de diatomáceas epilíticas, relacionadas com

o ortofosfato total (mg PO<sub>4</sub>/L), OD (mg/L), DBO-5 (mg/L) e condutividade (μS/cm), no período de setembro de 2000 a agosto de 2002, nas seis estações de amostragem do rio Gravataí, RS.

As espécies de diatomáceas epilíticas encontradas neste estudo estão relacionadas na tabela V, juntamente com os valores de sapróbio, atribuídos de acordo com os resultados obtidos da análise das espécies indicadoras. Também são destacadas as espécies consideradas indicadoras de poluição (Salomoni *et al.*, c, neste volume), e os valores indicativos de tolerância à poluição, atribuídos com base nos resultados das análises multivariadas (Figura 6) realizadas para as variáveis abióticas e bióticas do rio Gravataí (bactérias coliformes e diatomáceas epilíticas) e também aqueles propostos por Lobo *et al.* (no prelo). As espécies *Luticola mutica*, *Eolimna subminuscula*, *Nitzschia sp.*, *Luticola goepertiana*, *Sellaphora pupula*, *Cyclotella meneghiniana*, *Pinnularia microstauron*, *Pinnularia braunii*, *Diademis confervaceae*, *Sellaphora seminulum* foram classificadas no grupo A e consideradas melhor indicadoras de poluição, recebendo valor indicativo 5. As espécies *Synedra ulna*, *Pinnularia divergens*, *Nitzschia amphibia*, *Nitzschia palea*, *Nitzschia palea var. tenuirostris*, *Surirella angusta*, *Frustulia saxonica*, *Navicula radiosa*, *Frustulia crassinervia*, *Synedra acus*, *Navicula cryptotenella*, *Eunotia bilunaris*, *Achnanthes minutíssima*, *Encyonema minutum* foram classificadas no grupo B, consideradas espécies com moderada tolerância à poluição, recebendo peso 3 e as espécies *Navicula cryptocephala*, *Navicula rostellata*, *Achnanthes sp.*, *Brachysira vitrea*, *Nitzschia clausii*, *Cymbella turgida*, *Gomphonema gracile*, *Achnanthes impexa*, *Eunotia pectinalis*, *Gomphonema parvulum*, *Eolimna minima* e *Cocconeis placentula* foram classificadas no grupo C, recebendo peso 1, sendo consideradas espécies com muito baixa tolerância à poluição.

**Tabela V:** Lista da ocorrência de espécies abundantes no rio Gravataí, RS. **A-** s: valor de sapróbio para o rio Gravataí, baseado em Lobo *et. al.* (2002), valores atribuídos conforme a distribuição das espécies indicadoras ao longo do rio e *v*: valor indicativo das espécies atribuindo os valores 1, 3 e 5 para os três grupos encontrados na ACC (análise de correspondência canônica). **B-** s: valor de sapróbio para o rio Gravataí, baseado em Lobo *et. al.* (2002) e *v*: valor indicativo das espécies baseado em Lobo (2004, prelo).

Espécies	A		B	
<i>Achnanthes hungarica</i>	1	<b>1</b>	1	<b>1</b>
<i>Achnanthes impexa</i>	1	<b>1</b>	1	<b>1</b>
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	1	<b>3</b>	1	<b>5</b>
<i>Achnanthes sp.</i>	1	<b>1</b>	1	<b>1</b>
<i>Brachysira vitrea</i>	1	<b>1</b>	1	<b>1</b>
<i>Cocconeis placentula</i>	1	<b>1</b>	1	<b>3</b>
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	1	<b>5</b>	1	<b>3</b>
<i>Cymbella turgida</i>	1	<b>1</b>	1	<b>1</b>
<i>Diadsmis contenta</i>	1	<b>1</b>	1	<b>3</b>
<i>Encyonema minutum</i>	1	<b>3</b>	1	<b>1</b>
<i>Eolimna minima</i>	1	<b>1</b>	1	<b>4</b>
<i>Eunotia bilunaris</i>	2,5	<b>3</b>	2,5	<b>1</b>
<i>Eunotia bilunaris var. mucophila</i>	1	<b>3</b>	1	<b>1</b>
<i>Eunotia pectinalis</i>	1	<b>1</b>	1	<b>1</b>
<i>Frustulia saxonica</i>	2,5	<b>3</b>	2,5	<b>1</b>
<i>F. crasinervia</i>	2,5	<b>3</b>	2,5	<b>1</b>
<i>Gomphonema clevei</i>	1	<b>1</b>	1	<b>3</b>
<i>Gomphonema gracile</i>	1	<b>1</b>	1	<b>1</b>
<i>Gomphonema parvulum</i>	1	<b>1</b>	1	<b>1</b>
<i>Luticula goeppertiana</i>	4	<b>5</b>	4	<b>1</b>
<i>Luticula mutica</i>	4	<b>5</b>	4	<b>1</b>
<i>Navicula cryptocephala</i>	2,5	<b>1</b>	2,5	<b>1</b>
<i>Navicula cryptotenella</i>	2,5	<b>3</b>	2,5	<b>1</b>
<i>Navicula radiosa</i>	1	<b>3</b>	1	<b>1</b>
<i>Navicula rostellata</i>	1	<b>1</b>	1	<b>4</b>
<i>Navicula subminuscula</i>	4	<b>5</b>	4	<b>1</b>
<i>Nitzschia amphibia</i>	1	<b>3</b>	1	<b>2</b>
<i>Nitzschia clausii</i>	1	<b>1</b>	1	<b>1</b>
<i>Nitzschia palea</i>	4	<b>3</b>	4	<b>3</b>
<i>N. palea var. tenuirostris</i>	2,5	<b>3</b>	2,5	<b>1</b>
<i>Nitzschia sp.</i>	1	<b>5</b>	1	<b>1</b>
<i>Pinnularia braunii</i>	1	<b>5</b>	1	<b>1</b>
<i>Pinnularia divergentissima</i>	1	<b>3</b>	1	<b>1</b>
<i>Pinnularia microstauron</i>	2,5	<b>5</b>	2,5	<b>1</b>
<i>Sellaphora pupula</i>	4	<b>5</b>	4	<b>1</b>
<i>Sellaphora seminulum</i>	1	<b>5</b>	1	<b>5</b>
<i>Surirella angusta</i>	2,5	<b>3</b>	2,5	<b>1</b>
<i>Synedra ulna</i>	2,5	<b>3</b>	2,5	<b>1</b>

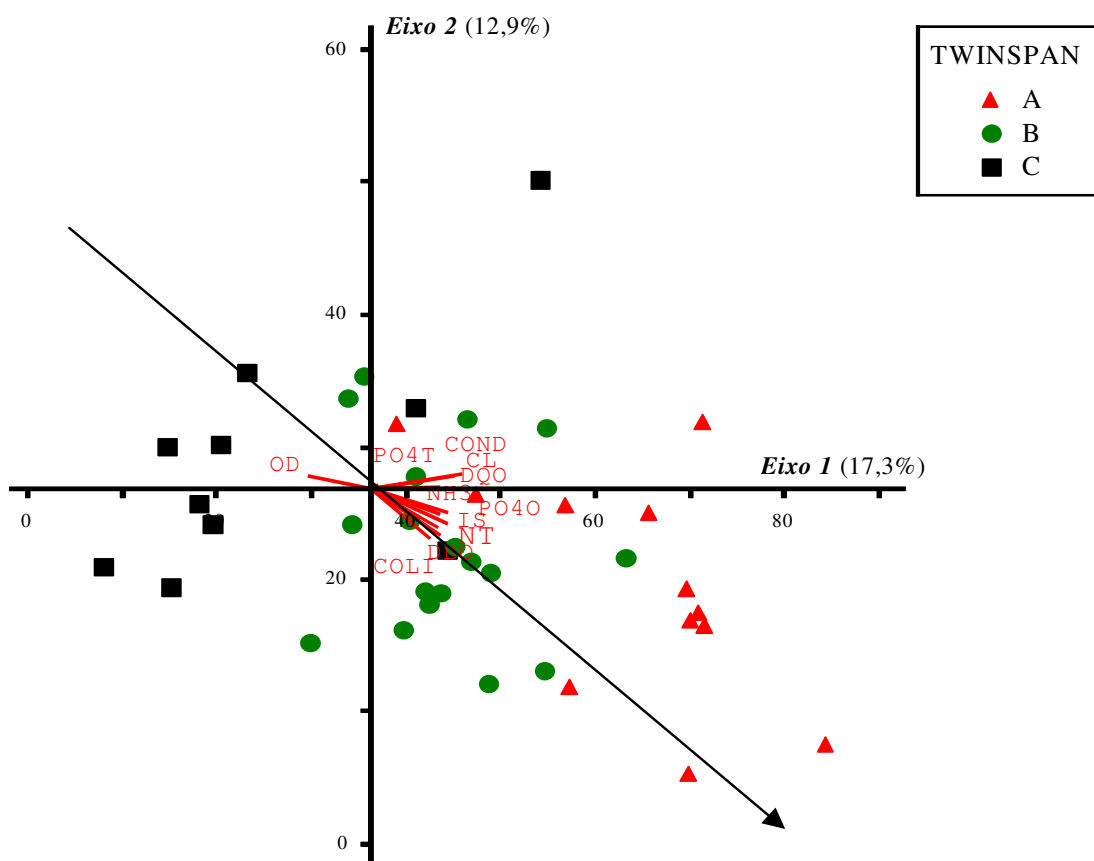
O resultado da análise de correspondência canônica (CCA), evidencia que o eixo 1 tem 17,3% da variação explicada. O coeficiente canônico destacou a variável ambiental

cloretos (0,417) como elemento de maior importância para explicar a variabilidade dos dados ao longo do eixo, associando-se ao mesmo de forma positiva.

Na correlação “intra-set” por sua vez destacaram-se a condutividade, os cloretos, a DBO-5, DQO, amônio, nitrogênio total, ortofosfato, coliformes fecais e o índice de sapróbios, como variáveis significativamente correlacionadas positivamente ao eixo 1.

No eixo 2, com 12,9 % de variação explicada, o coeficiente canônico apontou uma alta correlação com a DBO-5 (-0,594), associada com a extremidade negativa do eixo.

O percentual de variância acumulada foi de 17,3 % (eixo 1) e 30,1 (eixo 2). Os valores das correlações lineares de Pearson foram respectivamente 0,913 e 0,837 para os eixos 1 e 2. Os autovalores do teste de Monte Carlo explicaram 0,010 para o eixo 1; 0,004 para o eixo 2 e 0,001 para o eixo 3.



**Figura 9:** Gráfico de ordenação (eixos 2x1) baseado na análise canônica de correspondência (ACC) das amostras de diatômicas (abundância em  $\text{cm}^2$ ) em 40 estações de amostragem correlacionadas com as variáveis ambientais mais importantes para a



ordenação dos eixos 1 e 2 (**CL**: cloretos; **COLI**: coliformes fecais; **COND**: condutividade; **DBO**: demanda bioquímica de oxigênio após cinco dias; **DQO**: demanda química de oxigênio; **I. S.**: índice sapróbico; **NH3**: amônia; **NT**: nitrogênio total; **OD**: oxigênio dissolvido; **PO4O**: ortofosfato; **PO4T**: fosfato total). Os símbolos indicam os grupos TWINSPLAN ao qual pertence as estações de amostragem. A seta maior indica o gradiente de poluição.

**Tabela VI.** Coeficientes canônicos e correlações “intra-set” de nove variáveis ambientais com os eixos 1, 2 e 3 da ACC, realizada com 38 variáveis biológicas.

Variáveis	Coeficiente Canônico			Coeficiente de Correlação intraset		
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3
Condutividade	0,231	0,194	-0,166	0,816	0,158	0,075
Cloretos	0,417	0,379	-0,069	0,887	0,173	0,021
Oxigênio Dissolvido	-0,053	0,059	-0,156	-0,623	0,144	-0,289
DBO <sub>5</sub>	-0,067	-0,594	-0,342	0,686	-0,567	0,046
DQO	0,092	0,330	0,118	0,685	0,008	0,056
Amônia	-0,012	-0,210	-0,333	0,757	-0,301	-0,078
Nitrogênio total	-0,079	-0,154	0,544	0,653	-0,482	0,383
Ortofosfato	0,219	0,369	0,178	0,689	-0,318	0,212
Fosfato total	-0,192	0,103	0,242	0,077	0,046	0,634
Coliformes fecais	0,050	-0,143	-0,281	0,580	-0,608	0,054
Índice Sapróbico	0,170	-0,259	0,227	0,755	-0,429	0,347

**Tabela VII** Correlações de Pearson (r) e Kendall (tau) com os eixos do ordenamento.

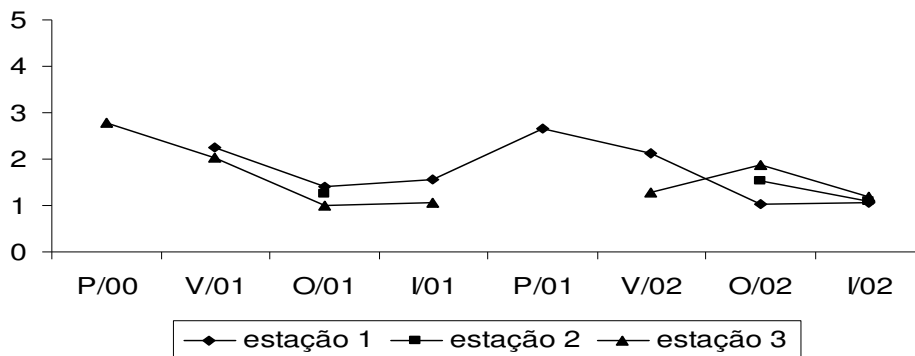
Eixos	1			2			3		
	r	r-sq	tau	r	r-sq	tau	r	r-sq	tau
Condutividade	0,904	0,816	0,746	-0,236	0,056	-0,197	0,234	0,055	0,169
Cloretos	0,880	0,774	0,701	-0,183	0,034	-0,171	0,150	0,023	0,148
Oxigênio Dissolvido	-0,694	0,482	0,499	0,386	0,149	0,248	-0,390	0,152	-0,266
DBO <sub>5</sub>	0,779	0,606	0,601	-0,661	0,437	-0,518	0,153	0,023	0,062
DQO	0,646	0,417	0,519	-0,081	0,007	-0,102	0,231	0,053	0,094
Amônia	0,791	0,626	0,566	-0,443	0,196	-0,301	0,184	0,034	0,036
Nitrogênio orgânico	0,741	0,549	0,592	-0,554	0,307	-0,403	0,434	0,188	0,195
Ortofosfato	0,641	0,411	0,492	-0,401	0,161	-0,315	0,372	0,138	0,143
Fosfato total	0,329	0,108	0,245	-0,139	0,019	-0,106	0,596	0,355	0,314
Coliformes fecais	0,617	0,381	0,459	-0,680	0,463	-0,482	0,176	0,031	0,050
Índice Sapróbico	0,833	0,693	0,691	-0,544	0,296	-0,383	0,453	0,205	0,298

Os resultados da aplicação do Índice Qualidade da Água com base na equação proposta por Wegl (1983) para o rio Gravataí, com base no valor indicativo das diatomáceas epilíticas derivadas do presente estudo são apresentados na Figura 10. Os

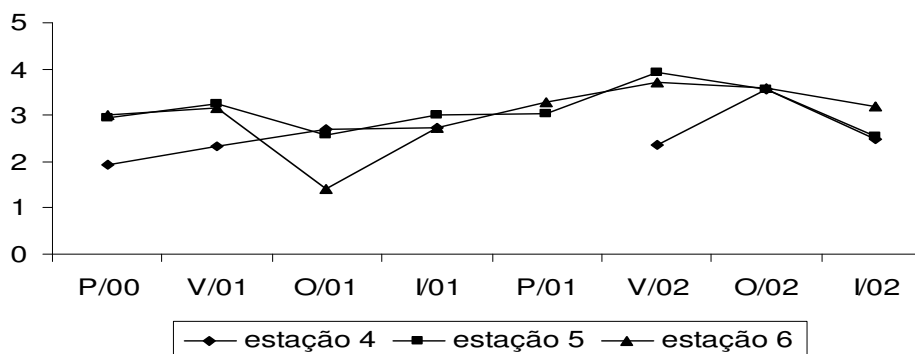
valores dos índices de qualidade de água obtidos para as estações 1, 2 e 3, variaram entre 1,01 e 2,77. Estes valores foram mais baixos do que aqueles obtidos para as estações 4, 5 e 6, cujos valores variaram entre 1,4 e 3,9 (Fig.10a e 10b).

A análise das figuras revela ainda a variação sazonal dos valores dos índices de qualidade de água, indicando valores menores nos períodos de outono e inverno e valores mais elevados nos períodos de primavera e verão. Os valores mais elevados foram observados na primavera, no trecho superior e médio (estações 1, 2 e 3) e no verão, no trecho inferior do rio (estações 4, 5 e 6).

Nas figuras 10c e 10d são apresentados os resultados obtidos na aplicação deste mesmo índice, utilizando-se os valores indicativos para as espécies de diatomáceas epilíticas propostos no modelo regional de Lobo *et al.* (2004, no prelo). Observa-se que tanto o padrão de variação quanto os valores dos índices são altamente similares.

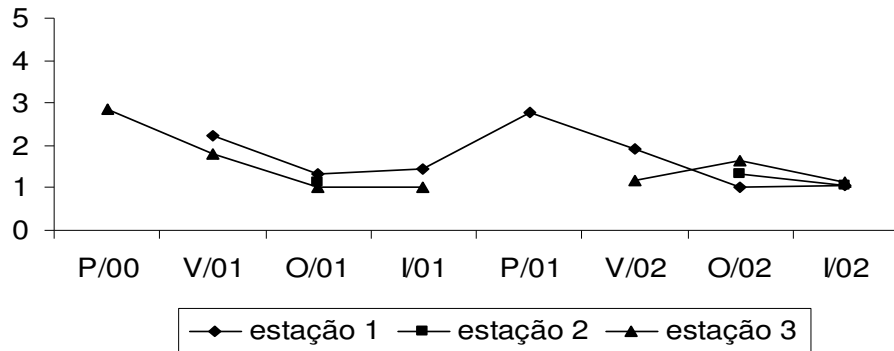


A

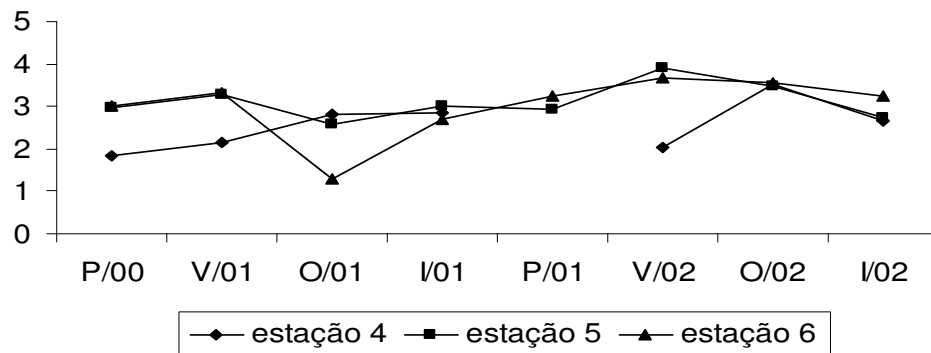


B

Continuação da Figura 10



C



D

**Figura 10:** **A-** Variação dos valores do Índice de Qualidade da Água (IC) obtidos para o rio Gravataí, baseado na análise das espécies indicadoras e valores indicativos (vi) baseados na análise CCA e grupo Twinspan para as estações 1, 2 e 3. **B-** Variação dos valores do Índice de Qualidade da Água (IC) obtidos para o rio Gravataí, baseado na análise das espécies indicadoras e valores indicativos (vi) baseados na análise CCA e grupo Twinspan para as estações 4, 5 e 6; **C-** Valores de IC para o rio Gravataí, baseados no modelo proposto por Lobo *et. al.* (2004), nas estações 1,2 e 3. **D-** Valores de IC para o rio Gravataí, baseados no modelo proposto por Lobo *et. al.* (2004), nas estações 4, 5 e 6.

## DISCUSSÃO

Desde o início do século passado diferentes parâmetros e modelos têm sido desenvolvidos visando a avaliação da qualidade das águas doces, baseados nas características físicas e químicas das águas, nas comunidades biológicas ou em combinações de ambos. Devido à complexidade do problema, é hoje reconhecido que a conservação e a recuperação dos recursos hídricos exige a criação de um banco de dados diferenciado para cada sistema, ou bacia hidrográfica, e para diferentes distritos ou regiões (Tundisi & *et al.* 1999).

Neste estudo, a análise das características físicas e químicas da água e a aplicação dos modelos baseados neste tipo de variáveis (índice de estado trófico, índice de sapróbios de Hamm) permitiram identificar um gradiente de alterações na qualidade da água, da nascente à foz, para o rio Gravataí. Há uma crescente eutrofização, com aumentos na quantidade de material oxidável e na concentração de nutrientes, tanto das formas de nitrogênio como de fósforo. Quantitativamente os dados revelaram uma descontinuidade no gradiente natural previsto para o perfil longitudinal de um rio (Margalef, 1983; Schaffer, 1985) que prevê mudanças gradativas, como os graduais aumentos nas concentrações de nutrientes, na quantidade de material suspenso e na condutividade da água. Entre as localidades de Balneário Passo dos Negros no Município de Gravataí e a localidade Captação da Base Aérea no município de Porto Alegre, as quais neste estudo corresponderam as estações de amostragem 3 e 4 respectivamente., observaram-se incrementos de quase uma ordem de magnitude nas concentrações de nutrientes e na demanda bioquímica de oxigênio, provavelmente decorrentes das descargas de águas residuárias domésticas e industriais.

As indústrias da sub-bacia do Gravataí geram uma carga orgânica bruta de aproximadamente 2516 ton/ano de DBO-5, e apesar do tratamento implantado nas indústrias a carga remanescente lançada ainda contém 1100 ton/ano de DBO. Adicionalmente, a carga residuária doméstica gerada é de 19.524 ton/ano de DBO (FEPAM, 1998).

Pode-se, portanto, considerar que as alterações marcantes entre as duas porções do rio Gravataí são determinadas pelas contribuições oriundas do centro urbano da cidade de

Porto Alegre. A carga poluidora despejada no rio excede a capacidade de autodepuração, tendo em vista que a vazão, e portanto a capacidade de diluição do rio, é pequena. A ruptura do contínuo fluvial pode ser evidenciada tanto pela aplicação do índice do estado trófico de Carlson (1977, modificado por Toledo *et al.*, 1983), que revela a passagem do rio da condição oligotrófica para a condição eutrófica, quanto pela aplicação do índice de sapróbios de Hamm (1969). Embora estes índices sejam capazes de reproduzir as alterações de grande porte na qualidade da água, eles fornecem diagnósticos variáveis quando são comparadas localidades com gradientes não tão acentuados, como se pode observar entre as estações do trecho superior-médio ou das estações do trecho inferior do rio, que ora eram classificadas como oligotróficas, ora mesotróficas no primeiro caso, e ora mesotróficas ora eutróficas no segundo. Estes índices, baseados nas características físicas e químicas, são grandemente influenciados por alterações de alta intensidade mas de duração de curto prazo, como os pulsos de inundação em períodos de elevada pluviosidade ou picos de seca ou despejos acidentais de poluentes. Assim como as variáveis físicas e químicas, eles refletem as condições momentâneas no corpo de água, como podem ser observadas pelas mudanças no grau de trofia ou no grau de saprobidade obtidas nas diferentes estações do ano. Desta forma observou-se um aumento do grau de trofia na porção médio-superior do rio Gravataí no período de outono em ambos os ciclos sazonais estudados, passando de oligotrófico a mesotrófico, e um aumento no grau de saprobidade, com mudança de oligossapróbico a beta-mesossapróbico, devido à menor precipitação pluviométrica e conseqüentemente menores vazões do rio.

A incorporação de informações ecológicas, baseadas na tolerância de organismos indicadores de diferentes grupos taxonômicos, tem sido uma possibilidade mais promissora para a avaliação da qualidade da água, pelo fato da presença e da abundância das populações refletirem de forma integrada o conjunto de condições pretéritas de um dado ambiente, de modo mais fidedigno do que as determinações instantâneas de parâmetros abióticos (Abel, 1979).

As variações na composição e na abundância de espécies selecionadas como indicadoras do grau de poluição podem ser incorporadas em índices bióticos, os quais combinam as informações ecológicas e as informações físicas e químicas, através de pesos ou valores indicativos atribuídos às espécies, derivados de análises multivariadas (Lobo *et*

*al.*, 1995), surgindo então como uma abordagem alternativa, que poderia minimizar as fraquezas dos índices abióticos. Muitas espécies de diatomáceas epilíticas são reconhecidas como potenciais indicadoras de poluição orgânica e eutrofização nos sistemas aquáticos (Kobayasi & Mayama, 1989; Rott et al. , 1998; Prygiel, 2002).

Índices gerados com base em extensivos bancos de dados obtidos para uma dada região, e testados para diferentes tipos de rios, podem ser uma ferramenta muito útil para a classificação de rios ou de suas partes quanto à qualidade da água (Prygiel, 2002; Lobo *et al.*, 2002).

No presente estudo, a seleção de espécies de diatomáceas indicadoras de poluição dentre a taxocenose encontrada no rio Gravataí (Salomoni *et al.*, neste volume) e a utilização destas para o cálculo do índice de Wegl (1983), visando a avaliação da qualidade da água ao longo deste rio, permitiu discriminar de uma forma mais realística as alterações ou gradientes observados. Os índices reproduziram o caráter ligeiramente mais enriquecido da nascente ou banhado, um ambiente semi-lótico, em relação à segunda localidade, que representa, dentre as localidades amostradas, a primeira de caráter estritamente lótico.

A comparação entre os valores obtidos para o Índice de Qualidade da Água do rio Gravataí, utilizando as espécies e valores indicativos derivados das análises multivariadas com os parâmetros deste próprio rio, com os valores do mesmo índice obtidos pela utilização dos valores indicativos propostos por Lobo *et al.* (2004), revelou semelhança. Os valores indicativos de Lobo *et al.* (2004), são o resultado de um levantamento em vários rios da região sul do Brasil, buscando a formulação de um Índice Regional que possa ser aplicado para monitorar a qualidade da água de qualquer rio da região. Pelos resultados da sua aplicação ao rio Gravataí, o modelo parece bastante adequado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEL, P.D. Water pollution biology Ellis Horwood Limited . Publishers Chichester 190p. 1989.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n°. 20, 18 de junho de 1986. Diário Oficial da União, Brasília, 30 de julho 1986.

DESCY, J.P. ; COSTE, M. Utilisation des diatomeés benthiques pour l'évaluation de la qualité des esux courants. 1990. 64p. Repport Final, EC contract B-71-23.

DESCY, J.P.; ECTOR, L. Use of diatoms for monitoring rivers in Belgium and Luxemburg. *Use of algae for monitoring rivers III* (Ed. J. PRYGIEL, B.A. WHITTON & J. Bukowska), pp. 128-137. Agence de l'Eau Artois-Picardie, Douai. 1999.

DNOS. *Planejamento Integrado dos Recursos Hídricos da Bacia doRio Gravataí*. Projeto de cooperação técnica Brasil - Alemanha. Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas. 3 vol. II. 1985.

FEPAM/DPD, 1998. Qualidade dos recursos hídricos superficiais da bacia do Guaíba – subsídios para o processo de Enquadramento. Simpósio Internacional sobre Gestão de Recursos Hídricos, Gramado, RS.

FJERDINGSTAD, E. Pollution of streams estimated by benthal phytomicro-organisms. *Int. Revue ges. Hydrobiology.*, n. 49, p. 63-131, 1964.

GERMAIN, H. 1981. *Flore dès diatomées eaux douces et saumâtres*. Paris: Boubée. 444 p.

HAMM, A. Die Ermittlung der Gewässergüteklassen bei FliBgewäsern nach dem Gewässergütsystem und Gewässegütsenomogramm. München. Beitr. Abwass. Fisch. U. Flubbiol. 15:46-49. *Apud* Silva-Benavides, A.M. (1996). The use of water chemistry and benthic diatom communities for qualification of a polluted tropical river in Costa Rica. *Revista biologia Tropical* v.44 n.2, p.395-416, 1969.

HELLAWELL, J.M. *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. New York: Elsevier, 1986. 546p.

KELLY, M.G.; WHITTON, B.A. The tropic diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology* n.7, p.433-444, 1995.

KELLY, M.G. Use of tropic diatom index to monitor eutrophication in rivers. *Wat. Res.* V. 32, p. 236-242. 1998.

KOBAYASI, H.; MAYAMA, S. Most pollution tolerant diatoms of severely polluted rivers in the vicinity of Tokyo. *Japanese Journal of Phycology*, Tokyo v. 30, p.188-196, 1982.

KRAMMER K.; LANGE-BERTALOT H. *Bacillariophyceae: Naviculaceae*, In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. eds Ettl H., Gerloff I., Heyning H., Mollenhauer D., v.2, n.1 (1): 876 p. Stuttgart, G. Fischer. 1986.

KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. *Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Ephithemiaceae, Surirellaceae*. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Eds Ettl H., Gerloff I., Heynig H., Mollenhauer D., 2 (2):595 p. Stuttgart, G. Fischer. 1988.

KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. *Bacillariophyceae: centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. eds Ettl H., Gerloff I., Heynig H., Mollenhauer D., 2(3): 575 p. Stuttgart, G. Fischer. 1991a.

KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. *Bacillariophyceae: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema*. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Eds. Ettl H., Gerloff I., Heynig H., Mollenhauer D., 2 (4): 473 p. Stuttgart, G. Fischer. 1991b.

KRAMMER, K. *Pinnularia eine Monographie der europäischen Taxa*, Bibliotheca Diatomologica 26: 353p. Stuttgart, J. Cramer. 1992.

LANGE-BERTALOT, H. Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedw. Beih.*, Weiheim, v. 64, p. 285-304. 1979.

LANGE-BERTALOT, H. *Navicula sensu stricto 10 Genera Separated from Navicula sensu lato Frustulia, Diatoms of Europe 2*: 526 p. A.R.G. Gantner Verlag K.G. 2001.



LOBO, E. A.; *et al.* Pollution Tolerant Diatoms from lotic Systems in the Jacuí Basin, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia*. Sér. Bot. Porto Alegre, n. 47, p. 45-72, 1996.

LOBO, E.A.; BUSELATO-TONIOLLI, T.C. Tempo de exposição de um substrato artificial para o estabelecimento da comunidade perifítica no curso inferior do Rio Caí, Rio Grande do Sul, Brasil. *Rickia*, São Paulo, v.12, p.:35-51. 1985.

LOBO, E.A.; LEIGHTON, G. Estruturas de las fitocenosis planctonicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. *Revista de Biología Marinha* v. 22, n.1,p. 143-170. 1986.

LOBO, E.A.; TORGAN, L.C. Análise da estrutura da comunidade de diatomáceas (Bacillariophyceae) em duas estações do sistema Guaíba, RS, Brasil. *Acta Botânica Brasílica*, v.1, n.2, p. 103-119, 1988.

LOBO, E.A. *Comparative study of the approaches for evaluation of river water quality using epilithic diatom assemblages*. Thesis of Doctor-Tokyo University of Fisheries) Tokyo: Tokyo University of Fisheries. Japão. 237p. 1995.

LOBO, E.A.; CALLEGARO, V.L.; BENDER, P. *Utilização de algas diatomáceas epilíticas como indicadoras da qualidade da água em rios e arroios da Região Hidrográfica do Guaíba, RS, Brasil*. Santa Cruz do Sul: EDUNISC. 2002. 127p.

LOBO, E.A.; CALLEGARO, V.L.M. ; HERMANY G. Utilização de algas diatomáceas como organismos bioindicadores, com especial enfoque à problemática da eutrofização de sistemas lóticos sul brasileiros. 2004. (no prelo).

MARGALEF, R. *Limnologia*. Barcelona: Omega, 1983. 1010p.

PANTLE, R. BUCK, H. Die biologisch Oberwachung der Gewässer and die Darstellung der Ergebnisse. *Gas-u. Wassefach*, 96:604. 1955.

PATRICK, R.; REIMER, C.W. The diatoms of the United States. *Academy of Natural Sciences*, Philadelphia v.2, n.1, 688 p. 1966.

PATRICK, R.; REIMER, C.W. The diatoms of the United State. *Academy of Natural Sciences* Philadelphia. v.2, n.1, (1): 213p. 1975.

PRIGIEL, J Management of the diatoms monitoring networks in France. *Journal of Applied Phycology*. 2002.

PRYGIEL, J. ; COSTE, M. The assessment of water quality in the Artois-Picardie water basin (France) by the use of diatoms indices. *Hydrobiologia*. v. 269/270, p. 343-349, 1993.

RODRIGUES, L.M.; LOBO, E. A. Análise da estrutura de comunidades de diatomáceas epilíticas no arroio Sampaio, município de Mato Leitão, RS, Brasil. *Caderno de pesquisas, Ser. Bot.* Santa Cruz do Sul, v.12, n.2, p.5-27. 2000.

ROTT, E.M. The effect of local Waste-water Inflows on the structure of diaoms Assemblages in Fast-flowing Strems. In: *Diatoms-Symposium 10<sup>th</sup>* p. 553-561, 1988.

SCHÄFER, A. *Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais*. Porto Alegre: Ed. da Universidade. 1985. 532p.

SLÁDECEK V. System of water quality from a biological point of view. *Archiv für Hydrobiologie, Ergebnisse der Limnologie*, v.7, p.1-218. 1973.

SOUZA, M.G.M. *Variação da comunidade de diatomáceas epilíticas ao longo de um rio impactado no município de São Carlos – SP e sua relação com variáveis físicas e químicas*. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

TER BRAAK, C.J.F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* n. 67, p. 1167-1179, 1986.

TER BRAAK, C.J.F.; PRENTICE, I.C. The theory of gradient analysis. *Adv. Ecol. Res.*, n. 18, p. 271-313, 1988.

TOLEDO, J, A.P. *et al.* A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: 12 ° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Camboriú, DENG –22: 1-34. 1983.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M.; ROCHA O. Limnologia de águas interiores, impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B, TUNDISI, J. G. Águas doces no Brasil, capital ecológico, uso e conservação. cap. 6, p.195-223, 2002.

UHLMANN, D. *Hydrobiologie*. VEB Gustav Fisher Verlag, Jena,. 1975. 345p.

WEGE, R. Index für die Limnosaprobität. *Wasser und Abwasser band*, v. 26, p.1-175, 1983.

WHITTON, B.A.; ROTT E. (eds.) Use of Algae for Monitoring Rivers. In: *Proc. II International Symposium*. 17-19 September 1995, Innsbruck, Austria, 196p, 1996.

## CONCLUSÕES GERAIS

⇒ As características físicas, químicas e microbiológicas do rio Gravataí, avaliadas neste estudo, revelaram que há um gradiente espacial bem marcado, caracterizando mudanças graduais no trecho superior, médio e inferior do rio, conforme esperado pelo modelo do contínuo fluvial. Ocorre, no entanto, uma descontinuidade na porção média ocasionada pela entrada excessiva de resíduos domésticos e industriais, os quais alteram as concentrações de nutrientes, a composição iônica e o teor de oxigênio disponível na água, indicando um alto grau de eutrofização.

⇒ Existe uma sazonalidade nas características físicas e químicas do rio Gravataí, controlada predominantemente pelos fatores climatológicos regionais.

⇒ Existem evidências que na última década tem ocorrido uma marcante alteração na qualidade da água do rio Gravataí, em virtude da contaminação por águas residuárias domésticas e industriais.

⇒ Ocorrem mudanças sazonais quanto à representatividade das famílias na taxocenose de diatomáceas epilíticas no rio Gravataí, assim como nas relações de dominância entre as espécies.

⇒ Existem mudanças sazonais também na abundância total da comunidade de diatomáceas epilítica, com maiores densidades ocorrendo no outono, sendo esta provavelmente a época mais favorável para este grupo, em virtude da turbulência determinada pela vazão mais elevada.

⇒ Existe uma sucessão das espécies dominantes ao longo do rio Gravataí determinado pelo forte gradiente nas condições ambientais, envolvendo marcantes mudanças na composição e na abundância das espécies de diatomáceas epilíticas. A variabilidade espacial é mais acentuada do que a temporal.

⇒ As diatomáceas epilíticas no rio Gravataí puderam ser classificadas em três grupos quanto ao grau de poluição. No primeiro grupo, situam-se as espécies que possuem maior tolerância à poluição, como *Luticola goeppertiana*, *Luticola mutica*, *Eolimna subminuscula*, *Nitzschia palea* e *Sellaphora pupula*. No segundo grupo, as espécies tolerantes à poluição e com ampla distribuição como *Eunotia bilunaris*, *Frustulia crassinervia*, *Frustulia saxonica*, *Navicula cryptocephala*, *Nitzschia palea* var. *tenuirostris*, *Navicula cryptotenella*, *Surirella angusta*, *Pinnularia microstauron* e *Ulnaria ulna* e, no terceiro grupo, as espécies com menor tolerância à poluição, como *Eunotia pectinalis* e *Gomphonema parvulum*.

⇒ A aplicação de um índice de qualidade da água regional, baseado na abundância e no valor indicativo, derivado das espécies do rio Gravataí, descreve de forma adequada alterações obtidas para a comunidade de diatomáceas epilíticas em decorrência do gradiente de poluição. A comparação deste índice com aquele derivado da aplicação direta do índice regional, como proposto por Lobo *et al.* (2004), evidencia grande similaridade entre eles, indicando, portanto, que o modelo proposto pelos autores é adequado.

**REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES**

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18.ed. Washington, DC. 1992.

ATLAS AMBIENTAL DE PORTO ALEGRE. Porto Alegre, Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 205p. 1998.

BATE, N.; NEWALL, P. Techniques for the use of diatoms in water quality assessment: how many valves? In: DIATOM SYMPOSIUM 15<sup>th</sup> 1998. p. 153-160.

BEHNING, A. *Das leben der wolga: zugleich eine Einfuhrung in die flussbiologie*. In: THIENEMANN, A., (Ed.) *Die binnengewasser*. Stuttgart, 162p. 1928.

CATTANEO, A.; AMIREAULT, M.C. How artificial are artificial substrata for periphyton? *J.N. Am. Benthol. Soc.* v. 11, p. 244-256, 1992.

CAZAUBON, A. Impact de la dérivation du Haut-Tavignano (Corse Centrale) sur la communauté épilithiques. In: 8<sup>th</sup> *Diatom - Symposium*. p. 355-365. 1984.

CAZAUBON, A.; LOUDIKI, M. Microrepartition des algues épilithiques sur les cailloux d' un torrent Corse, le Rizzanèse. *Ann. Limnol.* v. 22, p. 3-16. 1986.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n°. 20, 18 de junho de 1986. Diário Oficial da União, Brasília, 30 de julho 1986.

COX, E.J. Observation on some benthic diatoms from North German lakes: the effect of substratum and light regime. *Verh. Int. Ver. Limnol.*v. 22, p. 924-928. 1984.

DIGBY, P.G.N.; KEPTON, R.A. *Multivariate analysis of ecological communities*. London e New York, Chapman and Hall, 1987. 206p.

DNOS. *Planejamento Integrado dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gravataí*. Projeto de cooperação técnica Brasil - Alemanha. Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas. 3 vol. II. 1985.

DUFRENE, M. ; LEGENDRE, P. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach by the Ecological Society of America. *Ecological Monographs*. v. 67, n.3, p.345-366, 1997.

FUNDAÇÃO ZOOBOTÂNICA DO RIO GRANDE DO SUL: Preceituação ecológica para preservação dos recursos naturais da região da Grande Porto Alegre. Porto Alegre, Sulina. 1976. 153 p. il.

GERMAIN, H. *Flore des diatomées eaux douces et saumâtres*. Paris: Boubée. 1981.444 p.

GUASCH, H.; SABATER, S. Seasonal variations in photosynthesis-irradiance responses by biofilm in Mediterranean streams. *Journal Phycology* v. 31, p. 727-735, 1995.

HAMM, A. Die Ermittlung der Gewässergüteklassen bei Fließgewässern nach dem Gewässergütesystem und Gewässergütemogramm. München. Beitr. Abwass. Fisch. U. Flubbiol. 15:46-49. *Apud* Silva-Benavides, A.M. (1996). The use of water chemistry and benthic diatom communities for qualification of a polluted tropical river in Costa Rica. *Revista biologia Tropical* v.44 n.2, p.395-416, 1969.

HILL, M.O. TWINSPAN – A FORTRAN Program for Arranging Multivariate Data in an Ordered Two-way Table by classification of the Individuals and Attributes. Cornell University, Ithaca, New York. 60p. 1979.

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. *Identificação das alternativas possíveis e prováveis para a regularização das vazões do rio Gravataí*. Capítulo 7. Porto Alegre., 2002.

ISERENTANT, R, BLANCHE D. A transplantation experiment in running water to measure the response rate of diatoms to changes in water quality. In Ricard M (ed.) Proc. 8th Int. Diatom Symposium (Paris 1984), *Koeltz Scientific Books*, Koenigstein, p. 347-354. 1986.

KAWECKA, B. Ecological characteristics of sessile algal communities in the Olczyski stream (Trata Mts. Poland) with special consideration of light and temperature. *Acta Hydrobiological* Krakow v. 27, p. 299-310, 1985.

KELLY, M.G.; WHITTON, B.A. The tropic diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology* n. 7, p.433-444, 1995.

KELLY, M.G. Use of tropic diatom index to monitor eutrophication in rivers. *Wat. Res.* V. 32, p. 236-242. 1998.

KOBAYASI, H.; MAYAMA, S. Most pollution tolerant diatoms of severely polluted rivers in the vicinity of Tokyo. *Japanese Journal of Phycology*, Tokyo v. 30, p.188-196, 1982.

\_\_. 1989. Evaluation of river water quality by diatoms. *The Korean Journal of Phycology.*, Tokyo, v. 4 p.121-133.

KRAMMER K.; LANGE-BERTALOT H. *Bacillariophyceae: Naviculaceae*, In: Süßwassseflora von Mitteleuropa. eds Ettl H., Gerloff I., Heyning H., Mollenhauer D., v.2, n.1 (1): 876 p. Stuttgart, G. Fischer. 1986.

KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. *Bacilariophyceae: Bacillariaceae, Ephithemiaceae, Surirellaceae*. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Eds Ettl H., Gerloff I., Heynig H., Mollenhauer D., 2 (2):595 p. Stuttgart, G. Fischer. 1988.



KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. *Bacillariophyceae: centrales, fragilariaceae, Eunotiaceae*. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. eds Ettl H., Gerloff I., Heynig H., Mollenhauer D., 2(3): 575 p. Stuttgart, G. Fischer. 1991a.

KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. *Bacillariophyceae: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema*. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Eds. Ettl H., Gerloff I., Heynig H., Mollenhauer D., 2 (4): 473 p. Stuttgart, G. Fischer. 1991b.

KRAMMER, K. *Pinnularia eine Monographie der europäischen Taxa*, Bibliotheca Diatomologica 26: 353p. Stuttgart, J. Cramer. 1992.

LANGE-BERTALOT, H. Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedw. Beih.*, Weiheim, v. 64, p. 285-304. 1979.

LANGE-BERTALOT, H. *Navicula sensu stricto 10 Genera Separated from Navicula sensu lato Frustulia, Diatoms of Europe 2*: 526 p. A.R.G. Gantner Verlag K.G. 2001.

LEITE, E.H. *et al.*. *Qualidade das águas do rio Gravataí*. FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Porto Alegre, 1992/1994 , Relatório Final. 65p.

LOBO, E.A.; BUSELATO-TONIOLLI, T.C. Tempo de exposição de um substrato artificial para o estabelecimento da comunidade perifítica no curso inferior do Rio Caí, Rio Grande do Sul, Brasil. *Rickia*, São Paulo, v.12, p.:35-51. 1985.

LOBO, E.A.; LEIGHTON, G. Estruturas de las fitocenosis planctonicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. *Revista de Biología Marinha* v. 22, n.1,p. 143-170. 1986.

LOBO, E.A.; TORGAN, L.C. Análise da estrutura da comunidade de diatomáceas (Bacillariophyceae) em duas estações do sistema Guaíba, RS, Brasil. *Acta Botânica Brasílica*, v.1, n.2, p. 103-119, 1988.

LOBO, E.A. *Comparative study of the approaches for evaluation of river water quality using epilithic diatom assemblages*. Thesis of Doctor-Tokyo University of Fisheries) Tokyo: Tokyo University of Fisheries. Japão. 237p. 1995.

LOBO, E.; KOBAYASI, H. Shannon's diversity index applied to some freshwater diatom assemblages in the Sakawa River System (Kanagawa Pref. Japan) and its use as an indicator of water quality. *The Japanese Journal of Phycology*, Tokio, v.38, n.3, p.229-243. 1990.

LOBO, E.A., KATOH, K.; ARUGA, Y. Response of epilithic diatom assemblages to water pollution in rivers in the Tokyo Metropolitan area. *Freshwater Biology*, v. 34, p. 191-204. 1995.

LOBO, E. A. *et al.* Pollution Tolerant Diatoms from lotic Systems in the Jacuí Basin, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia. Sér. Bot.* Porto Alegre, n. 47, p. 45-72. 1996.

LOBO, E. A. Approaches for evaluation of river water pollution using epilithic diatom assemblages. *Diatoms*, Bristol, v.13 p.105-111, 1997.

LOBO, E. A.; BENDER, P. Aplicabilidade de sistemas de sapróbio para avaliação da qualidade de águas correntes fortemente poluídas, no sul do Brasil, utilizando diatomáceas. *Anais do IV Congresso Latino Americano de Ficologia, 1996*. Minas Gerais: Brasil, n. 1, p. 401-422. 1998.

LOBO, E. A., BEN DA COSTA, A.; KIRST, A. Avaliação da qualidade da água dos arroios Sampaio, Bonito e Grande, município de Mato Leitão, RS, Brasil, segundo a

resolução do CONAMA 20/86. *Revista Redes, Santa Cruz do Sul*, v.4 n.2, p. 129-146. 1999.

LOBO, E.A.; CALLEGARO, V.L.; BENDER, P. *Utilização de algas diatomáceas epilíticas como indicadoras da qualidade da água em rios e arroios da Região Hidrográfica do Guaíba, RS, Brasil*. Santa Cruz do Sul: EDUNISC. 2002. 127p.

LOBO, E.A.; CALLEGARO, V.L.M. ; HERMANY G. Utilização de algas diatomáceas como organismos bioindicadores, com especial enfoque à problemática da eutrofização de sistemas lóticos sul brasileiros. 2004. (no prelo).

LOWE, R.L.; GALE, W.F. Monitoring river periphyton with artificial benthic substates. *Hydrobiologia* v. 69, n. 3, p. 235-244. 1980.

MOURTHÉ-JUNIOR, C.A. *Modificações estruturais na comunidade de diatomáceas em um gradiente de poluição hídrica. Trecho superior da bacia do rio das Velhas (região metropolitana de Belo Horizonte – MG)*. Tese (Mestrado em Ecologia – Universidade Federal de Minas Gerais), Belo Horizonte, MG, UFMG, 87p. 2000.

NIELSEN, T.S., FUNK, W.H., GIBBONS, H.L. et al. A comparison of Perifiton Growth on Artificial and Natural Substrates in the Upper Spokane River. *Northwest Science*, PULLMn, Washington. V..58, n. 4, 1984. .

PATRICK, R. & REIMER, C.W. The diatoms of the United States. *Academy of Natural Sciences*, Philadelphia v.2, n.1, 688 p. 1966.

PATRICK, R. & REIMER, C.W. The diatoms of the United State. *Academy of Natural Sciences* Philadelphia. v.2, n.1, (1): 213p. 1975.

PIELOU, E.C. Shannon's formula as a measur of specific diversity: its use e misure. *American Naturalist*, Lancaster, v.100, p.463-465, 1966.

PRIGIEL J. 2002. Management of the diatoms monitoring networks in France. *Journal of Applied Phycology* water basin (France) by the use of diatoms indices. *Hydrobiologia*. 269/270: 343-349.

PRYGIEL, J. ; COSTE, M. The assessment of water quality in the Artois-Picardie water basin (France) by the use of diatoms indices. *Hydrobiologia*. v. 269/270, p. 343-349, 1993.

RODRIGUES, L.M.; LOBO, E. A. Análise da estrutura de comunidades de diatomáceas epilíticas no arroio Sampaio, município de Mato Leitão, RS, Brasil. *Caderno de pesquisas, Ser. Bot.* Santa Cruz do Sul, v.12, n.2, p.5-27. 2000.

ROEMER, S.C., HOAGLAND, K.D., ROSOWSKI, J.R. 1984. Development of a freshwater periphyton community as influenced by diatom mucilages. *Can. J. Bot.* v. 62 p. 1799-1813, 1984.

ROUND, F.E. Diatoms in river water-monitoring studies. *Journal of Applied Phycology*, 3: 129-145. 1991.

ROUND, F.E. *A Review and Methods for the use of epilithic Diatoms for Detecting and monitoring Changes in River Water Quality*. HMOS Publisher, London. 63p. 1993

SCHÄFER, A. *Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais*. Porto Alegre: Ed. da Universidade. UFRGS, 1985. 533 p.

SLÁDECEK V. System of water quality from a biological point of view. *Archiv für Hydrobiologie, Ergebnisse der Limnologie*, v.7, p.1-218. 1973.

SLÁDECKOVÁ, A. Limnological investigation methods for the periphyton ("Aufwuchs") community. *Bot. Ver.*, v. 28, p. 286-350. 1962.

SMITH, D.H. Program Divers for species diversity analysis. 120p. 1993.

SOUZA, M.G.M. *Variação da comunidade de diatomáceas epilíticas ao longo de um rio impactado no município de São Carlos – SP e sua relação com variáveis físicas e químicas*. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

SUMITA, M.; WATANABE, T. New General Estimation of River Pollution Using New Diatoms Community Index (NDCI) as Biological Indicators Based on Specific composition of Epilithic Diatoms Communities. Applied to Asano-gawa and Sai-gawa Rivers in Ishikawa Prefecture. *Journal Limnology*. p. 329-40. 1983.

TER BRAAK, C.J.F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* n. 67, p. 1167-1179, 1986.

TER BRAAK, C.J.F.; PRENTICE, I.C. The theory of gradient analysis. *Adv. Ecol. Res.*, n. 18, p. 271-313, 1988.

TOLEDO, J, A.P. *et al.* A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: 12 ° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Camboriú, DENG –22: 1-34. 1983.

WATANABE, T. *Etude de la relation entre le periphyton et la qualite chimique de l'eau des rivieres: utilisation de bioessais "in situ" (substrats artificiels) pour caracterise5r l'etat de pollution des eaux*. Tese (Doutorado) Toulouse, Universite Paul Sabatier. 127p. 1985.

WATANABE, T. Perifiton: Comparação de metodologias empregadas para caracterizar o nível de poluição das águas. *Acta. Limnological Brasiliensia* v. 3, p. 593-615, 1990.

WETZEL, R.G. Recommendation for future research on periphyton. In: WETZEL, R.G. (Ed.). *Periphyton of freshwater ecosystems*. The Hague, Dr. W. Junk, 1983. p. 339-346. (Developments in Hydrobiology, 17). 1983.

WHITTON, B.A.; ROTT, E. (Eds.) Use of algae for monitoring rivers. In: *Proc. II International Symposium*. 17-19, September 1995, Innsbruck, Austria, 196p. 1996.