

ANÁLISE QUANTITATIVA DA DESCARGA DOS RIOS AFLUENTES DA LAGOA DOS PATOS

ANA CAROLINA VAZ¹, OSMAR O MÖLLER JR.² E TABAJARA LUCAS DE ALMEIDA³^{1, 2 e 3} Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Caixa Postal 474 - Rio Grande/ RS – Brasil - CEP 96201-900¹ Lab. de Oceanografia Física - Depto de Física.² Lab. de Oceanografia Física - Depto de Física. Email: dfsomj@furg.br³ Departamento de Matemática. Email: taba2508@gmail.com

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho é caracterizar as vazões médias mensais dos diversos rios que compõem a Bacia hidrográfica da Lagoa dos Patos. Para tal desenvolveu-se uma metodologia específica que permitiu a recuperação de dados médios mensais, cobrindo um período de 57 anos, de vazão dos rios Jacuí, Taquari e Camaquã. Também é feita a análise das variações de longo período do fluxo fluvial associadas à "El Niño"/"La Niña". Através destes, observa-se a marcante sazonalidade que há no padrão de escoamento, baixo no verão e alto nos meses de fim de inverno/início de primavera. A soma das descargas médias anuais dos rios afluentes ao sistema Guaíba e Camaquã resulta em 1770 m³/s. Incluindo-se o canal de São Gonçalo que tem um fluxo médio de 700 m³/s, verifica-se que a descarga média de água doce da Lagoa dos Patos atinge 2.400 m³/s. Grandes variações interanuais são observadas ressaltando-se que durante eventos de "El Niño" ocorrem descargas fluviais muito maiores que as normais. As vazões mais baixas estão associadas com "La Niña".

PALAVRAS-CHAVE: Descarga, Lagoa dos Patos, Rio Jacuí, Rio Taquari, Rio Camaquã.

ABSTRACT

QUANTITATIVE ANALISES OF THE RIVER DISCHARGE INTO THE PATOS LAGOON ESTUARINE SYSTEM

The main objective of this paper is to establish the mean monthly contribution of each one of the tributaries of Patos Lagoon. A specific methodology was applied to recover missing data and 3 time series covering 57 years of monthly data for Jacuí, Taquari and Camaquã rivers could be formed. A seasonal behavior that presents a peak in late winter/early spring was depicted from the records. The sum of the annual mean flow of Jacuí, Taquari and Camaquã rivers is 1770 m³/s. When the mean flow of São Gonçalo channel (700 m³/s) is included, the total river discharge of Patos Lagoon attains 2400 m³/s. Large year-to-year variations are likely to occur and they are mostly tied with events of "El Niño", when above normal values are recorded, and "La Niña" that presents river flows well below average.

KEY WORDS: Discharge, Patos Lagoon, Jacuí River, Taquari River, Camaquã River

1 – INTRODUÇÃO

A Lagoa dos Patos representa um dos mais importantes recursos hídricos para o estado do Rio Grande do Sul. Serve de via navegável para o transporte de diversos produtos e de ligação entre os dois portos mais importantes do estado, Rio Grande e Porto Alegre. Em suas margens desenvolvem-se inúmeras cidades onde, sem contar a população de Porto Alegre, chega-se à casa dos 700.000 habitantes.

Esta laguna é o local da costa do Rio Grande do Sul mais importante para o crescimento de diversas espécies de peixes e principalmente, do camarão rosa (Muelbert & Weiss 1991, Vieira & Castello 1996, Castello & Möller 1978), que economicamente é o decápodo mais importante da região.

Como a maioria das lagoas costeiras estranguladas, sua dinâmica depende essencialmente do vento e da descarga fluvial, não sendo a maré uma componente importante na circulação estuarina (Kjerfve 1986, Möller *et al.* 1991, Möller *et al.* 1996).

Pela laguna estar situada numa planície, ela recebe a ação direta dos ventos, que são particularmente fortes durante outono e inverno (Möller *et al.* 1991). Ventos de nordeste são predominantes ao longo do ano, mas durante outono e inverno ventos de oeste e sudoeste também são importantes (Tomazelli 1993). Experimentos realizados por Möller *et al.* (1996), Möller (1996) e Möller *et al.* (2001) demonstraram que a dinâmica da lagoa é claramente dominada pela ação de ventos em escalas temporais associadas à passagem de sistemas frontais. A lagoa responde ao vento local através do mecanismo de oscilação "set up/set down". As trocas entre esta e o oceano adjacente são dirigidas por gradientes de pressão resultantes da combinação do efeito de forças locais e não locais com ventos de SW/NE direcionando fluxos para a lagoa e para o oceano, respectivamente.

O aporte de água doce é uma importante força física e ecológica em sistemas lagunares e estuarinos, e ocorre principalmente através da descarga fluvial, a qual é usualmente a fonte dominante de entrada de material proveniente da bacia de drenagem (Kjerfve e Magill 1989). Também é um fator importante na formação de

gradientes longitudinais de salinidade durante processos de mistura de águas, representando a parte baroclínica da circulação lagunar (Simpson *et al.* 1990, Uncles & Stephens 1990).

Os rios tributários da Lagoa dos Patos (Fig. 1) seguem um ritmo de escoamento típico daqueles de médias latitudes: alta descarga no fim de inverno e início de primavera, seguida de uma baixa a moderada descarga durante verão e outono. Nesta estrutura sazonal geral há grandes variações interanuais (Möller 1996).

A entrada de água doce domina a circulação no estuário durante o período sazonal de forte escoamento, sendo o fluxo residual direcionado para o oceano (Möller & Castaing 1999). Nestes períodos de altas descargas a laguna pode permanecer doce por vários meses (Paim & Möller 1986).

As flutuações de salinidade são essencialmente influenciadas pelas condições meteorológicas, i.e., a intensidade das chuvas e a direção e força dos ventos (Kantin 1983). De acordo com as diferentes combinações entre a intensidade deste aporte e a direção do vento incidente sobre a Lagoa dos Patos, os perfis salinos do estuário podem variar de homogêneo a altamente estratificado (Niencheski & Baumgarten 1996), tendo seus valores de salinidade oscilando de 0 a 34 (Castello 1985).

Diversos trabalhos como os de Herz (1977), Costa *et al.* (1989), Möller *et al.* (1991), Möller (1996), Möller *et al.* (1996), Möller *et al.* (2001) vêm explicando o papel desempenhado pelo vento na dinâmica da laguna, cujo mecanismo de atuação já está bem compreendido, ao passo que os efeitos da descarga fluvial no sistema continuam sendo pouco explorados. Uma das razões está ligada à falta de séries de descarga fluvial longas o suficiente para análises que englobem períodos sazonais e interanuais característicos desta variável, somente disponibilizadas recentemente pela ANA (Agência Nacional de Águas - <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb/>), através de um banco de dados. Entretanto em nenhum destes estudos foi feita uma quantificação da descarga e uma análise de longas séries temporais.

Dentro do estuário, importantes propriedades e características como a estratificação, circulação, níveis de nutrientes e de oxigênio dissolvido estão estritamente associadas às variações no fluxo dos seus tributários, o que torna essencial o conhecimento dos padrões e a quantificação desta descarga. No entanto, a caracterização da descarga fluvial dos principais tributários da Lagoa dos Patos somente é feita em um relatório técnico do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, apresentado por Bordas *et al.* (1984), onde as médias mensais são calculadas a partir de uma série composta por 13 anos de dados cobrindo o período de 1941 a 1953.

Convém salientar que os rios também possuem a qualidade de serem integradores de precipitação sobre grandes áreas, sendo esta propriedade utilizada com a finalidade de verificar a correlação da ocorrência de eventos como “El Niño” e “La Niña” e anomalias de precipitação (Depetris 1996). O fenômeno de Oscilação Sul/ El Niño (ENOS) é considerado a flutuação climática interanual natural mais forte existente (Philander 1990). Pode ser descrito como uma oscilação irregular de baixa frequência entre um estado quente (“El Niño”) e frio (“La Niña”) das águas do Oceano Pacífico (Timmermann *et al.* 1999), resultante de interações de larga escala entre os oceanos e a atmosfera e gerando conseqüências diretas em mudanças climáticas e impactos ambientais (Allan 2000).

A quantificação da descarga fluvial média dos afluentes da laguna possibilita a identificação destas anomalias tendo em vista que a Lagoa dos Patos recebe afluentes que drenam uma área de aproximadamente 201.700 Km² (Vieira 1988) e que nesta região as diferenças interanuais de precipitação são relevantes. Estudos realizados por Kousky & Cavalcanti (1983), Moron *et al.* (1995), Ropelewski & Halpert (1987) e Grimm *et al.* (1998 e 2000), demonstraram uma forte correlação entre anomalias de precipitação na região sul do Brasil e a ocorrência destes eventos de longo período.

Assim, o principal objetivo deste trabalho é o de estabelecer as médias mensais para os rios Jacuí, Taquari e Camaquã, tendo por base um período de 56 anos de dados. Como a obtenção dos dados de descarga é difícil, estes se tornam um fator limitante para a realização de diversos estudos, especialmente na região do estuário da Lagoa dos Patos. Tem-se como objetivo secundário produzir um modelo de estimativa da descarga dos rios Jacuí, Taquari e Camaquã a partir do rio Uruguai, cujos registros atuais podem ser facilmente obtidos. É apresentada a metodologia empregada e são também analisadas as variações de longo período associadas aos processos de “El Niño” e “La Niña”.

2 – DESCRIÇÃO DA ÁREA

Os rios afluentes da Lagoa dos Patos (Fig. 1) pertencem à Bacia Atlântica, drenam uma área total de mais de 200.000 Km² e dividem-se em dois grandes complexos, formados por diversas sub-bacias. O maior destes é o Complexo Patos, formado pelos rios Vacacaí, Taquari, Jacuí, Caí, Sinos, Gravataí, Camaquã, Guaíba e arroios; possuindo uma área de drenagem de 150.432 Km². O outro é o Complexo Mirim, formado pela Lagoa Mirim, pelos rios Jaquarã, Taquari, Cebolati, Piratini, Pelotas e pelos arroios Sarandi Grande, Santa Vitória, Rio Grande e Grande e pelo Canal do São Gonçalo; que formam uma área de drenagem de 51.194 Km². (Vieira 1988). Uma boa descrição dos rios utilizados neste estudo pode ser encontrada em Rochefort (1958), Herz (1977), IBGE (1977), Veeck (1997) e Vieira (1998).

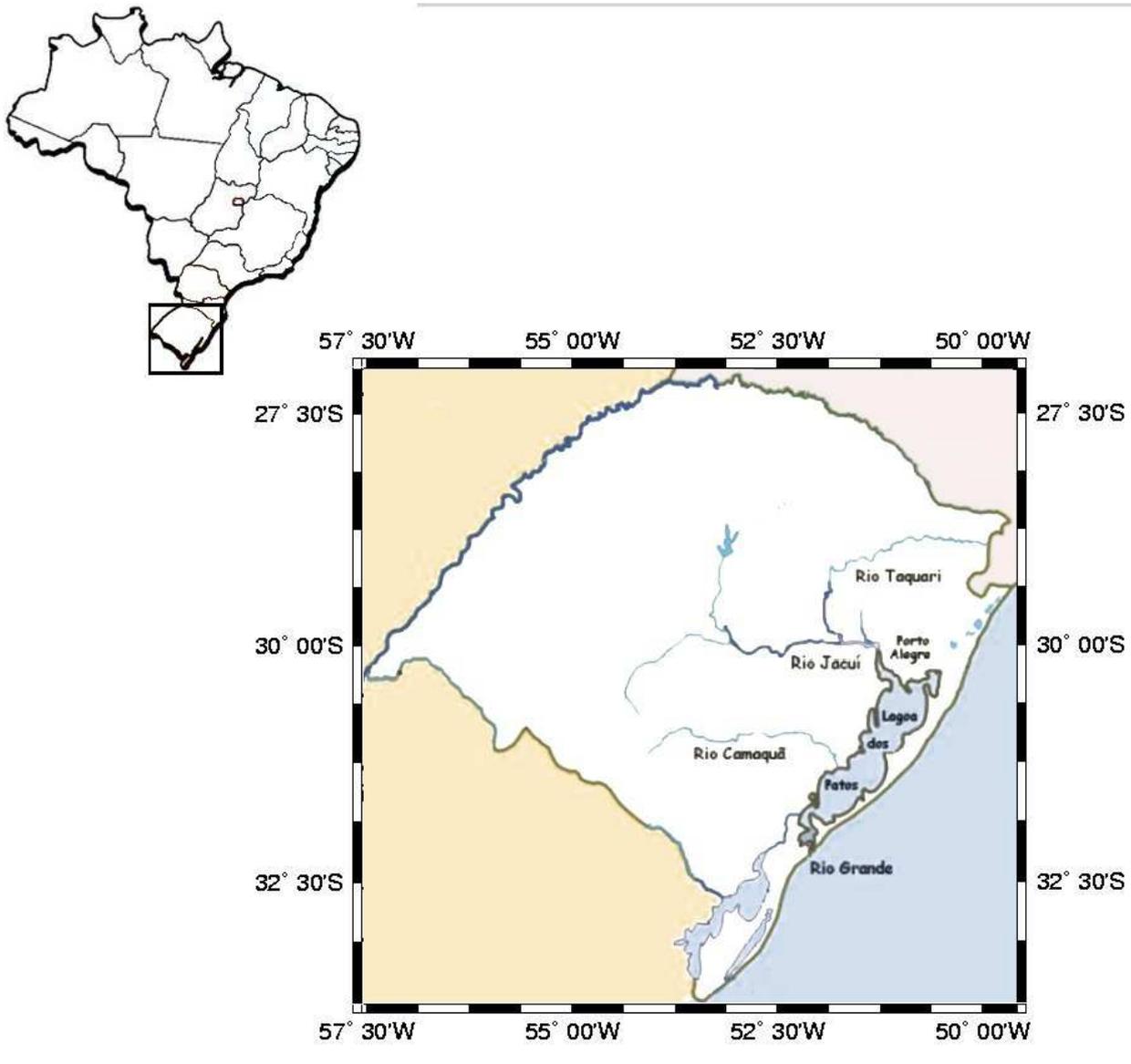


FIGURA 1 – Localização da Lagoa dos Patos e de sua bacia hidrográfica (destaque aos rios Jacuí, Taquari e Camaquã)

O estado do Rio Grande do Sul apresenta o clima Mesotérmico do tipo Temperado. A altura média de precipitação anual varia de 1250 mm a 2000 mm, apresentando uma distribuição espacial uniforme, sendo uma das regiões mundiais mais bem regadas por chuvas. As temperaturas se caracterizam pelas marcantes diferenças entre o verão e inverno, com temperaturas médias anuais variando de 14°C a 18°C (IBGE 1977).

Na caracterização dos regimes pluviométricos, o aspecto da precipitação mais importante é a dominância das chuvas bem distribuídas no ano (IBGE 1977), embora as estações com pico úmido ocorram em diferentes momentos nas distintas regiões do estado, indicando regimes locais de precipitação (Grimm 1998). Os máximos de precipitação podem ocorrer em qualquer estação, mas as chuvas de outono-inverno são mais eficazes na alimentação dos lençóis aquíferos uma vez que, devido às baixas temperaturas nesta época, as perdas por evapo-transpiração são reduzidas (IBGE 1977). As diferenças interanuais no regime pluviométrico são relevantes nesta região, existindo uma forte correlação entre a ocorrência de eventos de longo período (Oscilação Sul/El Niño) e anomalias de precipitação, com descrito por Ropelewski & Halpert (1987), Rao & Hada (1990), Pisciotano *et al.* (1994), Diaz *et al.* (1998) e Grimm *et al.* (1998).

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos junto ao antigo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e à Agência Nacional de Águas (ANA). Informações a respeito da obtenção dos mesmos podem ser encontradas na home-page da ANEEL (www.aneel.gov.br) e da ANA (www.ana.gov.br). A primeira etapa do tratamento dos mesmos consistiu na digitação de registros que se encontravam em planilhas de papel e a conversão dos arquivos recebidos em formato ASCII para planilhas eletrônicas. Após, todos os dados foram consistidos e verificados, obtendo-se assim séries temporais de descarga de cinco diferentes afluentes da Lagoa dos Patos, a saber: rio Taquari – Estação Encantado, de 1942 a 1975 e de 1983 a 1996; rio Camaquã, Estação Passo do Mendonça de 1964 a 1996; rio Jacuí, Estação rio Pardo de 1940 a 1954 e de 1964 a 1999; rio Uruguai 1973 a 1997. Com relação ao Canal de São Gonçalo, não existem dados disponíveis.

A maior dificuldade no tratamento destas séries temporais surgiu pela de falta de simultaneidade e falhas nos registros para cada um dos rios mencionados, havendo a necessidade de utilizar uma metodologia que permitisse completá-las da melhor forma possível.

Foi verificado que a partir de 1973, uma das mais completas séries de descarga fluvial é a do rio Uruguai, que se situa em uma bacia vizinha à dos rios Jacuí e Taquari. A comparação visual das séries permitiu verificar que há uma grande semelhança entre as mesmas. Análises de correlação cruzada realizadas entre os diferentes registros, adotando um nível de 99% de significância, comprovaram que as descargas realmente apresentavam um padrão semelhante de comportamento. As melhores correlações encontradas estão descritas a seguir: entre os rios Jacuí e Uruguai (n=128) foi encontrado um coeficiente de correlação de 0,84 e entre os rios Jacuí e Camaquã (n=212) de 0,81. Já as análises realizadas entre os rios Taquari e Jacuí (n=60) resultaram em um coeficiente de 0,81 e entre os rios Taquari e Uruguai (n=124) de 0,76.

Através de análises de regressão linear entre as séries dos rios que melhor se correlacionaram, foram obtidas as equações que estão listadas na Tabela 1. Estas foram utilizadas sempre que havia a necessidade de completar qualquer uma das séries de descarga fluvial. A Tabela 1 também mostra qual o período que foi estimado para cada afluente e qual rio foi utilizado para esta estimativa. Convém salientar que a série do rio Jacuí é a única que não apresenta dados estimados.

TABELA 1 – Rios e fórmulas das regressões lineares utilizadas no processo de estimativas de valores. Anos em que o método de estimativa foi utilizado.

Rio	Anos Completados	Fórmula
Taquari	1940-1941	$=74,12901+0,5089*\text{Jacuí}$
	1976-1982	$=111,5825+0,064854*\text{Uruguai}$
Camaquã	1940-1955	$=63,64298+0,323234*\text{Jacuí}$

Após as séries estarem completas, foram calculadas médias de descarga fluvial por mês, tanto para as séries originais de cada rio como para as estimadas, e testadas suas diferenças pelo teste “t” de Student ($p > 0,01$). Não houve diferença significativa entre as séries originais e estimadas dos rios Taquari ($p = 0,124$) e Camaquã ($p = 0,348$).

Um índice que, basicamente, mede a intensidade da Oscilação Sul (OS), foi usado com a finalidade de realizar análises de correlação entre as ocorrências de fases extremas com as variações nos dados de descarga. A OS é relacionada com variações de pressão na região do Oceano Pacífico. Quando a pressão é alta sobre este, tende a ser baixa na região da Indonésia, o que implica numa precipitação maior que a normal nesta última região. A OS pode ser representada por um índice que indica sua intensidade e fase, o qual é definido pela diferença entre os desvios da pressão normal ao nível do mar de duas estações pertencentes aos dois centros de ação (Kousky & Cavalcanti, 1983). No presente trabalho foi utilizado o IOS (Índice de Oscilação Sul), obtido na página virtual do Australian Bureau of Meteorology (<http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtm1.shtml>), calculado pelo método de Troup, que é a padronização da anomalia do Nível Médio de Pressão no Mar (NMPM), tirado da diferença entre as pressões médias de Tahiti e Darwin. Ele é calculado como abaixo:

$$IOS = 10 * \frac{[Pdif - Pdifmed]}{DP(Pdif)}$$

Onde:

Pdif = (média mensal do NMPM no Tahiti) -(média mensal do NMPM em Darwin)

Pdifmed = Média de longo termo do Pdif para o mês em questão

DP(Pdif) = Desvio Padrão de longo termo para o Pdif do mês em questão.

A multiplicação por 10 é uma convenção. Usando essa convenção, o alcance do IOS varia de -35 a +35 (10xhPa), e o valor do IOS pode ser cotado como um número inteiro. O IOS é geralmente calculado numa base mensal, que foi a utilizada neste trabalho.

Este índice nos dá uma simples medida da força e fase da OS. Quando a circulação atmosférica típica está ocorrendo, o padrão do IOS está próximo de zero. Quando o padrão é fortemente positivo, demonstra ocorrência de evento de “La Niña” (fase positiva da Oscilação Sul) e quando é negativo está associado a “El Niño” (fase negativa da Oscilação Sul).

Com a finalidade de verificar a relação de eventos de El Niño/Oscilação Sul (ENOS) com a descarga, cada ano foi classificado segundo o tipo de evento ocorrente no mesmo: “El Niño”, La Niña ou Neutro, baseando-se na classificação utilizada por Grimm *et al.* (1998). Com estas divisões foram realizadas análises estatísticas sobre a relação da descarga com os eventos ENOS.

4 – RESULTADOS

As séries temporais das vazões dos rios que compõem a bacia versante à Lagoa dos Patos (Fig. 2), no período 1940 a 1997, mostram que não foi possível recuperar algumas partes dos registros, notadamente para os rios Jacuí e Camaquã no período de 1955 a 1963.

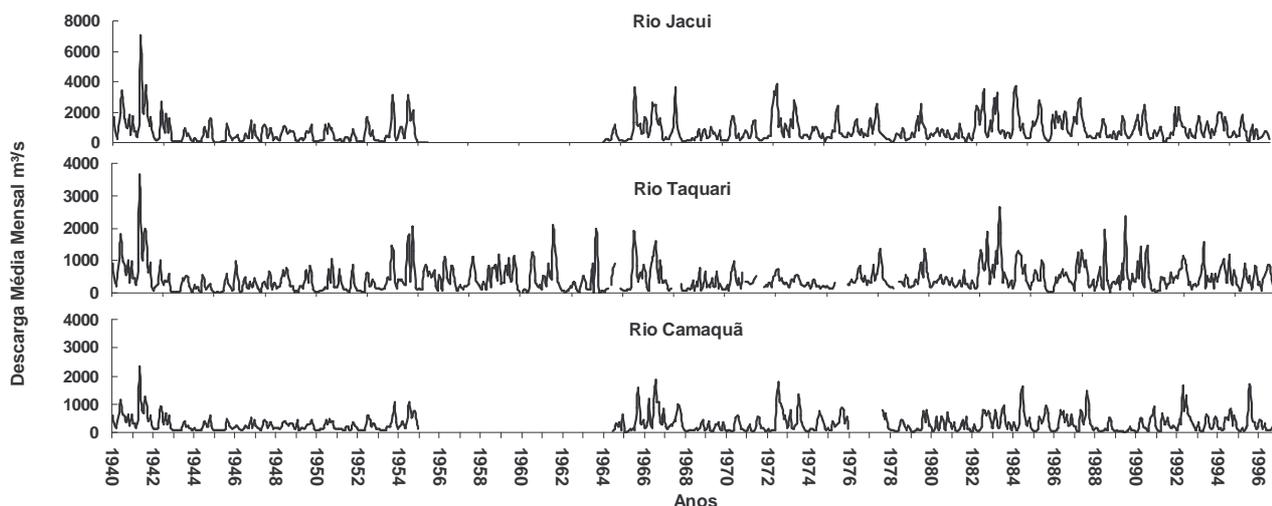


FIGURA 2 – Soma das descargas médias mensais (m³/s) dos rios Jacuí, Taquari e Camaquã, (1940-1954,1964-1975,1977-1996). Série composta pelos dados originais e estimados através das correlações.

Com base nestes dados foram calculadas as médias mensais de descarga para cada rio e os resultados são apresentados no histograma da Figura 3. Esta exibe o valor médio e o desvio padrão mensal do fluxo fluvial para cada tributário. Pode-se notar, também, o marcante padrão sazonal de descarga do Rio Jacuí, com os maiores valores da descarga ocorrendo nos meses de final de outono, inverno e início de primavera, principalmente de junho a outubro, com médias neste período variando de 1081 m³/s (setembro) a 1263 m³/s (julho). Nos meses de verão (dezembro a março) as descargas variam de 377 m³/s (janeiro) a 403 m³/s (dezembro).

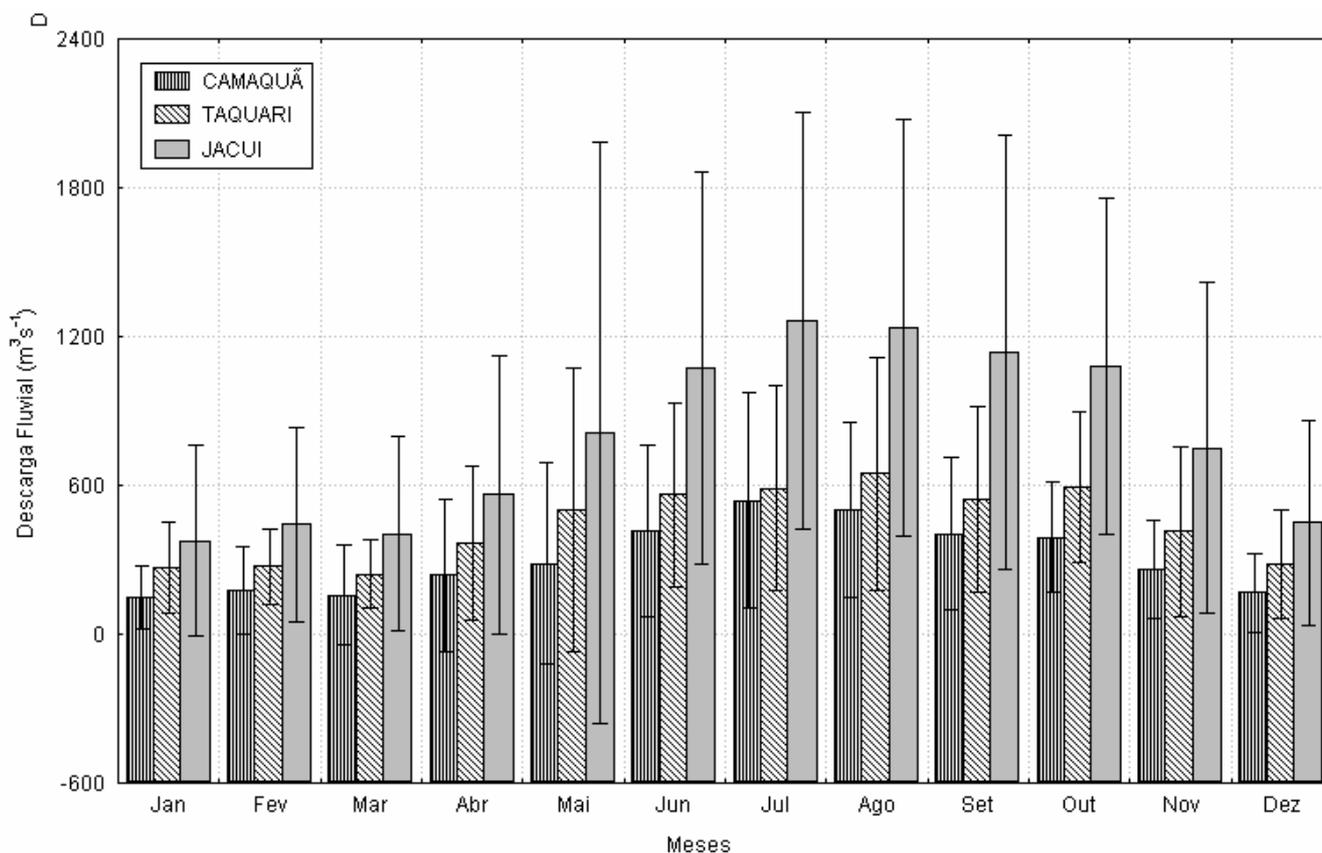


FIGURA 3 – Histograma das médias de descarga mensais do rio Jacuí (1940-1954 e 1964-1999), Taquari (1940-1997) e Camaquã (1940-1954,1964-1975,1977-1996), exibindo sobre cada barra o desvio padrão relativo à descarga mensal.

O rio Taquari (Fig. 3) exibe o mesmo padrão sazonal, com os maiores valores de seu fluxo ocorrendo de maio a outubro (do fim do outono ao início da primavera). As médias máximas ocorrem em agosto, com 706 m³/s e as mínimas em maio com 575 m³/s. Os meses de verão (dezembro a março) apresentam suas descargas reduzidas à metade destes valores, variando de 307 m³/s (março) a 282 m³/s (dezembro).

O rio Camaquã (Fig. 3) apresenta marcada distinção sazonal, embora a grandeza de seus valores seja menor em relação aos dois rios anteriores. De junho a outubro os valores variam de 389 m³/s (outubro) a 538 m³/s (julho). No verão os valores variam de 146 m³/s (janeiro) a 174 m³/s (fevereiro).

A Tabela 2 exibe a estatística básica da soma das descargas médias mensais dos rios Jacuí, Taquari e Camaquã (média mensal, desvio padrão, valores mínimos e máximos). Nela é clara a existência de um pico de descarga nos meses de agosto/setembro e outro em novembro, que corresponde ao inverno e primavera. De acordo com Grimm *et al.* (1998), na parte sudeste do Rio Grande do Sul a estação chuvosa é o inverno, o que caracteriza um regime de média latitude, onde a precipitação ocorre devido à penetração de frentes associadas com a migração de ciclones extratropicais.

TABELA 2 – Número de anos com dados referentes ao mês; Descarga Média Mensal, Mínima, Máxima e Desvio Padrão da soma das descargas do rio Jacuí, Taquari e Camaquã.

	N	Média (m ³ /s)	Mínimo (m ³ /s)	Máximo (m ³ /s)	Desvio Padrão (m ³ /s)
Janeiro	44	805.30	110	3175	572.57
Fevereiro	45	849.16	124	2279	572.31
Março	45	796.91	129	3062	605.11
Abril	45	1094.20	110	4735	1029.83
Mai	44	1653.27	137	13018	2178.73
Junho	43	2195.12	213	6549	1534.52
Julho	44	2447.84	506	6064	1570.67
Agosto	46	2464.85	197	7034	1500.59
Setembro	43	2049.63	443	6062	1304.71
Outubro	43	1982.00	544	5415	1123.88
Novembro	44	1321.68	305	5972	1065.98
Dezembro	45	874.67	163	3326	689.02

A média anual da descarga do rio Jacuí é 801 m³/s, do rio Taquari é de 452 m³/s e do Camaquã é de 307 m³/s, cuja soma resulta em 1540 m³/s. Considerando-se que os rios Jacuí e Taquari contribuem com 85% do volume introduzido através do rio Guaíba (Herz, 1977), a vazão média anual dos demais rios deste complexo (Sinos, Caí e Gravataí) é de aproximadamente 230 m³/s. Considerando, também, que o aporte médio anual do Canal de S. Gonçalo é de 700 m³/s (Bordas *et al.*, 1984) verifica-se que a descarga média de água doce da Lagoa dos Patos está em torno de 2.400 m³/s.

Verifica-se na Figura 4 que o aporte de água doce que os rios Jacuí, Taquari e Camaquã lançam nesta laguna é, na maior parte do tempo, na faixa de até 1030 m³/s (47% de 531 dados). Eventos com grandes picos de descarga são exceção, como a única ocorrência de aproximadamente 13000 m³/s na média mensal de maio de 1941, onde o rio Jacuí sozinho contribuiu com 7030 m³/s.

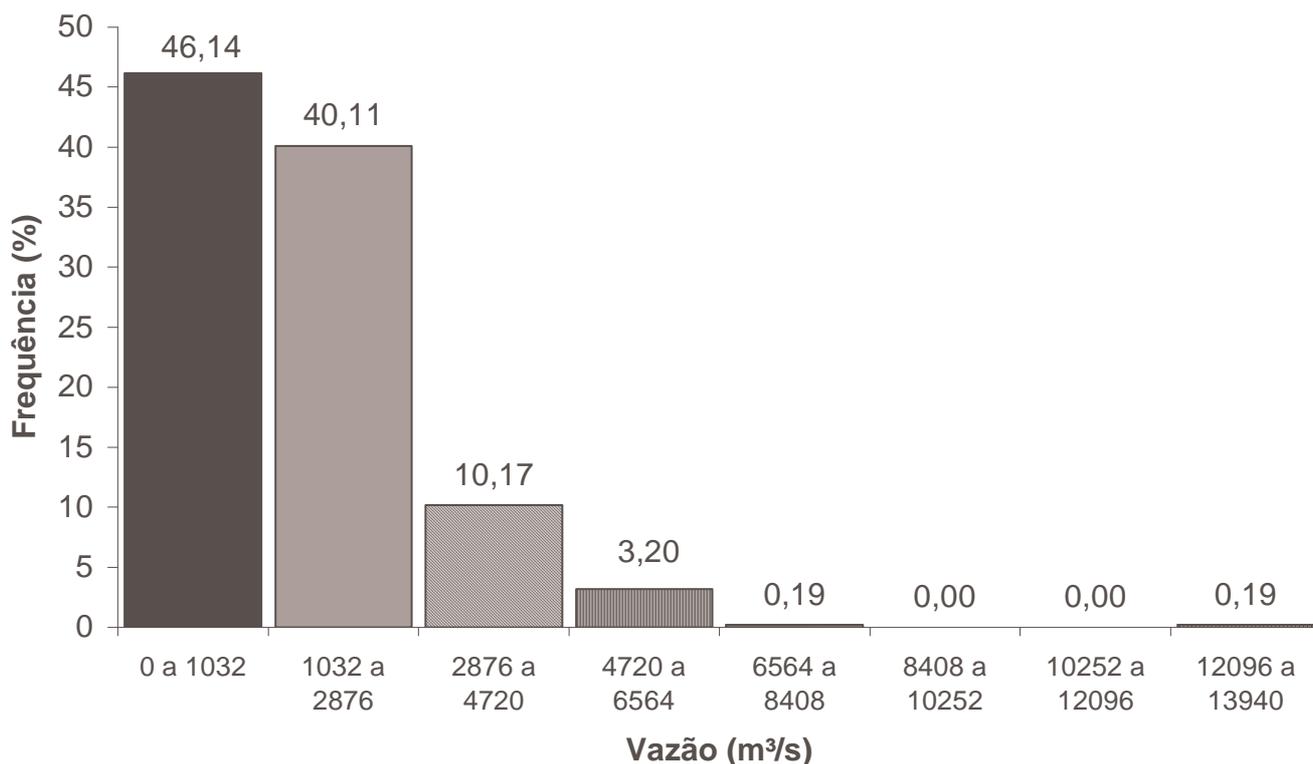


FIGURA 4 – Frequência de ocorrência de descargas médias mensais (m³/s) na Lagoa dos Patos, considerando a soma dos valores dos rios Jacuí, Taquari e Camaquã.

Uma análise de correlação cruzada realizada entre o IOS e a soma da descarga média mensal dos três afluentes indica um coeficiente de $-0,51$ (significante a 99%) e uma defasagem de 3 a 4 meses entre a ocorrência de um evento (quente ou frio) no Pacífico e a resposta dada em termos de descarga destes rios. Isto é coerente com o que foi discutido por Grimm (1998) e Rao & Hada (1990).

Outros rios nesta região da América do Sul também são influenciados por estes tipos de eventos. Os rios Negro e Uruguai apresentam uma clara tendência de terem descargas abaixo da média em anos de “La Niña”, durante o período de junho a dezembro, enquanto eventos de “El Niño” impõem uma suave tendência de aumento desta entre novembro e fevereiro (Mechoso & Pérez, 1992). Aceituno (1988) também identificou que a descarga do rio Paraná é negativamente correlacionada com o IOS.

O período de novembro a fevereiro é o apontado por Rao & Hada (1990), Pisciotano *et al.* (1994), Ropelewski & Halpert (1987), Diaz *et al.* (1998), e Grimm *et al.* (1998) como o que apresenta maior correlação entre o IOS e a precipitação nesta região. Desta forma, foi realizada a soma da descarga média mensal dos três principais afluentes para estes meses. Estes valores categorizados por tipo de evento ENOS ocorrente podem ser observados na Figura 5 que exibe um gráfico de caixa onde pode-se notar a clara tendência da ocorrência de menores descargas em anos de “La Niña” e maiores em anos de “El Niño”.

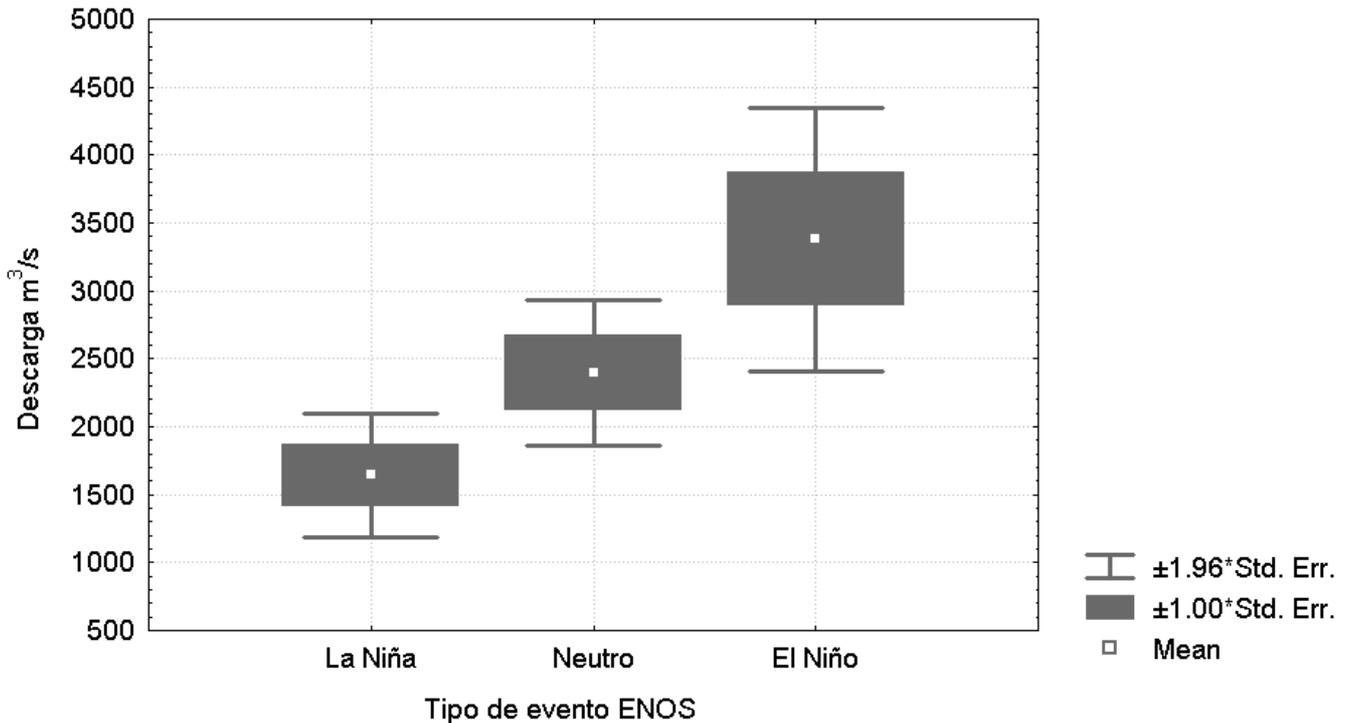


FIGURA 5 – Box Plot Categorizado por tipo de evento ENOS da soma da descarga média mensal dos rios Jacuí, Taquari e Camaquã (de Set a Nov), com a distribuição da média, erro padrão da amostra e da população.

Rio Uruguai e Bacia Hidrográfica da Lagoa dos Patos

A visualização dos dados de descarga do rio Uruguai em comparação com o rio Jacuí (Fig. 6) permite verificar que existe uma estreita correlação entre eles. Um dos maiores desafios para a realização de trabalhos nesta região que utilizem séries temporais é a obtenção dos dados. Visando amenizar este problema, foi criado um modelo estatístico para previsão da descarga do rio Jacuí. Este foi realizado a partir de dados do rio Uruguai, devido a estreita correlação existente entre as séries (0,81 para 128 dados) e também por estes registros serem mais completos e estarem disponíveis de forma mais rápida do que qualquer rio da bacia da Lagoa dos Patos.

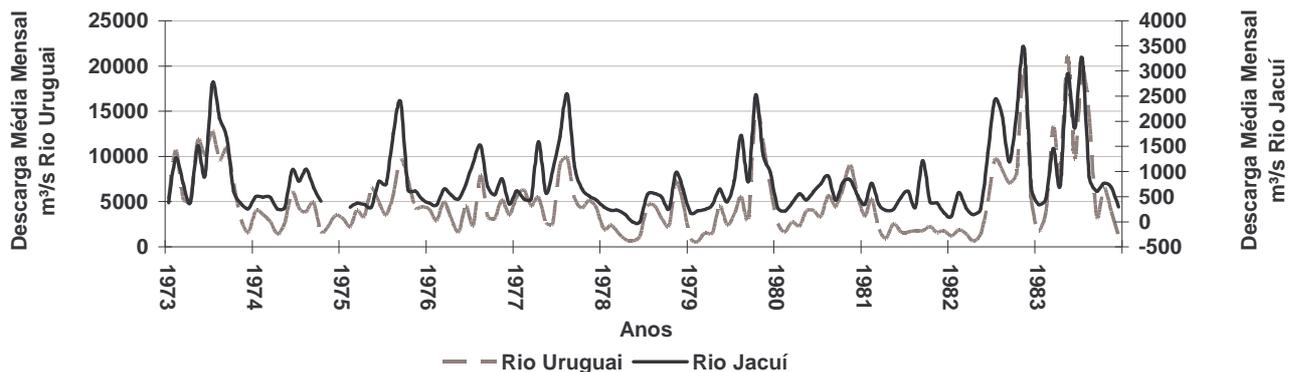


FIGURA 6 – Descarga Média Mensal (m^3/s) dos rios Jacuí e Uruguai (1973-1983).

Diversos esquemas foram testados e o que melhor se adequou foi a do cálculo de correlação com os valores agrupados por mês. A descarga do rio Jacuí corresponde à do rio Uruguai dividida por um coeficiente que varia mensalmente. Assim, para janeiro este é de 8,88, fevereiro 7,77, março 7,44, abril 6,53, maio 8,55, junho 5,67, julho 4,71, agosto 5,86, setembro 5,57, outubro 7,38, novembro 7,42 e dezembro 8,63.

Um teste feito com este método pode ser observado na Figura 7, onde são comparados os valores estimados pelo modelo e os valores medidos para o mesmo período. A correlação entre eles é alta, havendo um coeficiente de 0,87 para uma amostra de 128 valores.

Em alguns casos os picos estão um pouco superestimados, mas os resultados do t-Student ($p=0,84$) mostram que em termos de médias mensais não ocorrem diferenças significativas entre as originais e as calculadas a partir do preenchimento das séries.

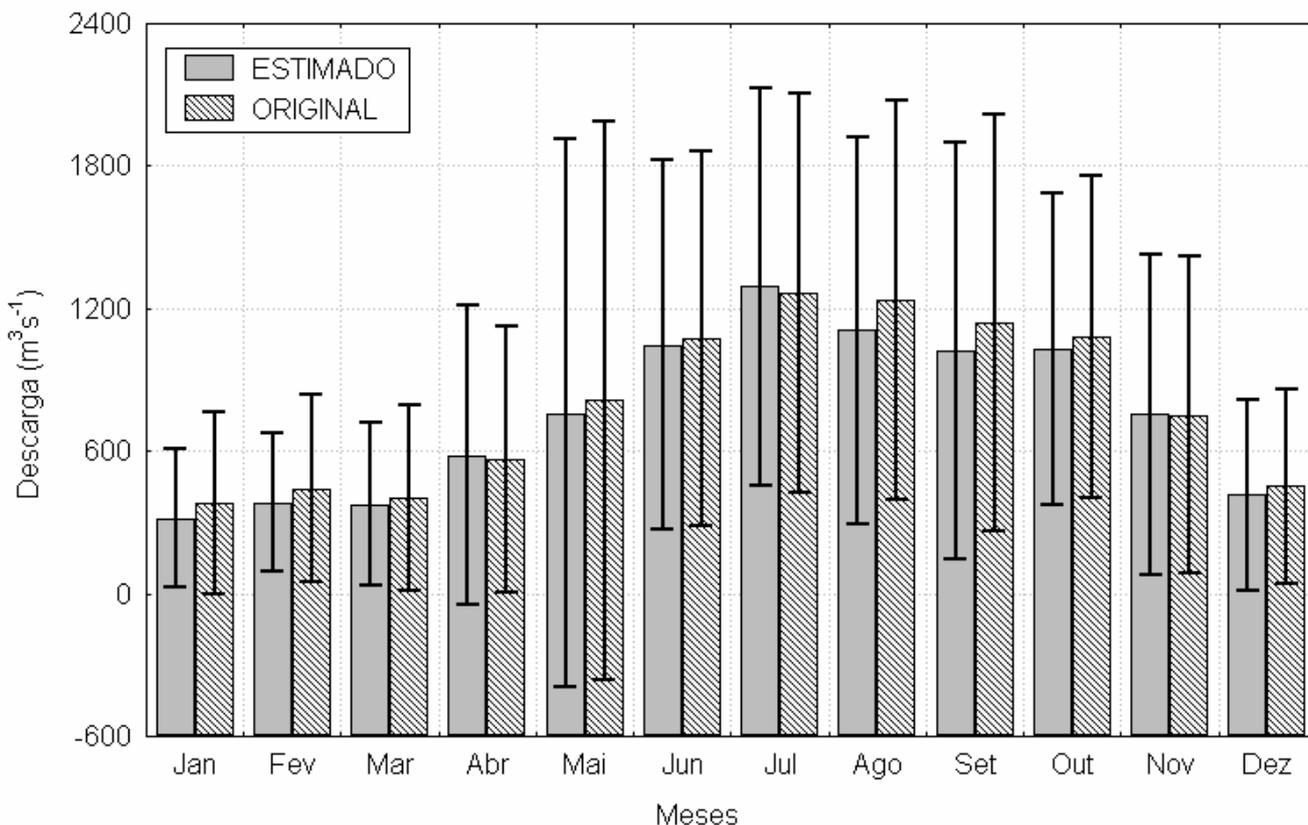


FIGURA 7 – Histograma das médias de descarga mensais do rio Jacuí originais (1940-1955) e estimadas (1940-1955 e 1984-1996).

4 – CONCLUSÃO

No presente trabalho é apresentada uma metodologia diferenciada para recuperar informações sobre descarga dos rios que compõem a Bacia da Lagoa dos Patos. Os resultados indicam que a contribuição média mensal dos diversos rios deste sistema é da ordem de 2.400 m³/s com fortes variações sazonais. O pico de descarga ocorre no inverno e início de primavera e os meses de descargas fluviais mais reduzidas são os de verão e outono. A diferença mais marcante na comparação dos resultados aqui obtidos com aqueles de Bordas *et al.* (1984), calculados para um período de 14 anos de dados, reside na localização do pico de descarga dos rios Jacuí e Taquari. Para esses autores o pico de descarga era localizado no mês de outubro, aparecendo agora em julho e agosto coincidente com o período de mais chuvas na região. Além disso, as descargas são crescentes a partir do mês de maio o que, para um período de 14 anos, pode ter integrado médias relativas a efeitos de “El Niño” cujo efeito se torna mais diluído se um período mais longo de dados for considerado.

Variações interanuais são observadas e diferenças significativas são encontradas em períodos de “El Niño” quando a vazão atinge valores em muito superiores a média. A correlação da vazão total dos rios da Bacia da Lagoa dos Patos com o IOS é altamente significativa com uma defasagem de 3 a 4 meses entre cada um.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer: a ANA e a ANEEL pela cedência dos dados de descarga fluvial; ao Dr. Alberto Piola pelos dados de descarga do rio Uruguai e por sugestões dadas ao longo deste trabalho.

Agradecemos, também, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela Bolsa PIBIC de 2000 a 2003 (ACV), pelos contratos 475538/2003-0 e 302173/2004-8 (OMJ) e ao Instituto Interamericano de Investigações de Mudanças Globais (IAI, CRN-061).

LITERATURA CITADA

- ACEITUNO, P. 1988. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate. *Mon. Wea. Rev.*, 116, 505-524.
- ALLAN, J. 2000. ENSO and climatic variability in the past 150 years. In: DIAZ, H. F. & MARKAF, V. (eds.). "El Niño" and the Southern Oscillation: multiscale variability and global and regional impacts. Cambridge University Press, Reino Unido, chap. 1:3-55.
- AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLOGY, S.O.I. Archives - 1876 to present. <http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtm1.shtml> acessado [20 de agosto de 2000].
- BORDAS M. P., A. B. CASALAS, A. SILVEIRA, M. GONÇALVES. 1984. Circulação e dispersão em sistemas costeiros e oceânicos. Caso da Lagoa dos Patos. Relatório Técnico IPH/UFRGS, Brasil.
- CASTELLO, J. P. 1985. La ecología de los consumidores del estuario da Lagoa dos Patos, Brasil. In: YAÑES-ARANCIBIA, A. (ed.). Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration. DR (R) UNAM Press, Mexico, chap 17:383-406.
- COSTA C., U. SEELIGER, P. KINAS. 1988. The effect of wind velocity and direction on the salinity regime in the Lower Patos Lagoon Estuary. *Ciênc. Cult.*, 40(9):909-912.
- DEPETRIS, P. 1994. ENSO - Controlled Flooding in the Paraná River (1904 - 1991). *Naturwissenschaften*, 83:127-129.
- DIAZ A. F., C. D. STUDZINSKI & C. R. MECHOSO. 1998. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. *J. Climate*, 11 (2): 251-271
- GRIMM, A., S. E. T. FERRAZ, J. GOMES. 1998. Precipitation Anomalies in Southern Brazil associated with "El Niño" and "La Niña" Events. *J. Climate*, 11:2863-2880.
- GRIMM, A. M., V. R. BARTROS & M. E. DOYLE 2000. Climate variability in Southern South America associated with "El Niño" and "La Niña" events. *J. Climate*, 13(1): 35-58.
- HERZ, R. 1977. Circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos. Tese de Doutorado. Univ. São Paulo, Brasil, 290 pp.
- IBGE 1977. Geografia do Brasil. Região Sul, Vol. 5, 534 pp.
- KANTIN, R. 1983. Hydrologie et qualité des eaux de la region sud de la Lagune dos Patos (Brasil) et de la plateforme continentale adjacente. Tese de Doutorado. Universidade de Bordeaux, França, 185 pp.
- KJERFE, B. 1986. Comparative oceanography of coastal lagoons. In: WOLFE, D. A. (ed.), Estuarine Variability, Academic Press, New York: 63-81.
- KJERFVE, B. & MAGIL K E. 1989. Geographic and hydrographic characteristics of shallow coastal lagoons. *Mar. Geol.* 88:187-199.
- KOUSKY, V. E. & I. F. CAVALCANTI. 1984. Eventos Oscilação do Sul – "El Niño": Características, evolução e anomalias de precipitação. *Ciênc. Cult.*, 36(11):1888-1899.
- MECHOSO, C. R. & G. PÉREZ-IRIBARREN. 1992. Streamflow in southeastern South América and the Southern Oscillation. *J. Climate*, 5:1535-1539.
- MÖLLER, O. O., P. S. G. PAIM & I. D. SOARES. 1991. Effects and mechanisms of water circulation in the Patos Lagoon Estuary. *Bull. Inst. Géol.*, 49:15-21.
- MÖLLER, O. O. 1996. Hydridynamique de la Lagune dos Patos (30°S, Brésil). Mesures et modélisation. Tese de Doutorado. Universidade de Bordeaux, França, 204 pp.
- MÖLLER, O. O., J. A. LORENZZENTTI, J. L. STECH & M. M. MATA. 1996. The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics. *Cont. Shelf Res.*, 16(3):335-351.
- MÖLLER, O. O. & P. CASTING. 1999. Hydrographical Characteristics of the Estuarine Area of Patos Lagoon (30°S, Brazil). In: PERILLO, G. M. E.; PICCOLO, M. C.; QUIVIRA, M. P. (eds.) Estuaries of South America. Chap 5: 83-100.
- MÖLLER, O. O., P. CASTING., J. C. SALOMON & P. LAZURE. 2001. The Influence of Local and Non-Local Forcing Effects on the Subtidal Circulation of Patos Lagoon. *Estuaries*, 24(2):297-311.
- MORON, V., S. BIGOT & P. ROUCOU. 1995. Rainfall variability in subequatorial America and Africa and relationships with the main sea-surface temperature modes (1951-1990). *Int. J. Climatol.*, 15(12):1297-1322.
- NIENCHESKI, L. F. & M. G. BAUMGARTEN. 1996. Environmental Chemistry. In: SEELIGER, U., ODEBRECHT, C. & CASTELLO, J. P. (eds.) Subtropical Convergence Environments, the Coast and Sea in the Southwestern Atlantic, Springer, Berlin, chap. 4: 20-23.
- PISCIOTTANO G., A. DÍAZ, G. CAZES & C. R. MECHOSO. 1994. "El Niño"- Southern Oscillation Impact on Rainfall in Uruguay. *J. Climate*, 7:1286-1303.
- PAIM, P. S. & MÖLLER, O. O. 1986. Material em suspensão e dissolvido no estuário da Lagoa dos Patos – Fase III. Relatório Técnico, FURG/CIRM, 133 pp.
- PHILANDER, G. 1990. "El Niño", La Niña, and the South Oscillation. San Diego: Academic Press, 293 pp.
- RAO, V. B. & HADA, K. 1990. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the southern oscillation. *Theoretical and Applied Climatology*, 42: 81-91.
- ROPELEWSKI, C. F. & M. S. HALPERT. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the "El Niño"/ Southern Oscillation. *Mon. Weather Rev.*, 115(8):1606-1626.
- ROCHFORT, M. 1958. Rapports entre la pluviosité et l'écoulement dans le Brésil subtropical et le Brésil tropical atlantique. Université de Paris, França, 205 p.
- SIMPSON, J. H., J. BROWN, J. MATTHEWS & G. ALLEN. 1990. Tidal straining, density currents and stirring in the control of estuarine stratification. *Estuaries*, 13:125-132.
- TOMMAZELLI L. J. 1993. O regime de ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul. *Pesquisas*, 20:18-26.
- TIMMERMANN, A., J. OBERHUBER, A. BACHER, M. ESCH, M. LATIF & E. ROECKNER. 1999. Increased El Nino frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. *Nature*, 398:684-697.
- UNCLES, R. J. & J. A. STEPHENS. 1990. Computed and observed currents, elevations, and salinity in a branching estuary. *Estuaries*, 13:133-144.
- VEECK, L. 1997. Influência do Rio Guaíba sobre a Lagoa dos Patos: uma abordagem dinâmica a partir de balanços de massa. Monografia de Graduação. Fund. Univ. Federal de Rio Grande, Brasil: 13-30 .
- VIEIRA, E. F., S. L. S. RANGEL. 1988. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: geografia física, vegetação e dinâmica socio-demográfica. Sagra Editora, Brasil. 256 p.

Data de recebimento: 08/03/2002

Data de aceite: 08/06/2006

