

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**PREVISÃO HIDROCLIMÁTICA PARA O GERENCIAMENTO DO
BANHADO DO TAIM**

Maria Angélica Gonçalves Cardoso

*Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul como
requisito parcial para a obtenção do título de Doutor.*

Orientador: David da Motta Marques

Banca Examinadora

Prof. Carlos Ruberto Fragoso Junior

CTEC/UFAL

Prof. Gilberto Loguércio Collares

UFPEL

Prof. Fernando Setembrino Cruz Meirelles

IPH/UFRGS

Porto Alegre, novembro de 2010

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS**

**PREVISÃO HIDROCLIMÁTICA PARA O GERENCIAMENTO DO BANHADO DO
TAIM**

MARIA ANGÉLICA GONÇALVES CARDOSO

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
como requisito parcial para a obtenção do título
de Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento
Ambiental.

Porto Alegre, novembro de 2010.

Banca Examinadora

Professor e orientador David da Motta Marques, PhD DIC
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Carlos Ruberto Fragoso Junior, Dr.
Universidade Federal de Alagoas

Prof. Gilberto Loguercio Collares, Dr.
Universidade Federal de Pelotas

Prof. Fernando Setembrino Meirelles, Dr.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. David da Motta Marques da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

AGRADECIMENTOS

Em especial ao Prof David da Motta Marques pela orientação, pelos ensinamentos, pela oportunidade de trabalhar em uma área multidisciplinar, por apresentar a importância dos processos integrados de Limnologia e modelagem ecológica e principalmente por não desistir.

Ao Prof. Adolfo Villanueva, pela oportunidade e ensinamentos.

Aos demais professores do IPH, pela dedicação, paciência e disponibilidade com que sempre me atenderam. Em especial aos professores Carlos André Bulhões Mendes, Fernando Meirelles, Alfonso Risso, José Antônio Louzada, Lawson Beltrame, Clarke e Edith Beatriz Schettini.

Aos amigos do grupo de limnologia Tiago Finkler, Lúcia Rodrigues, Eliete Canterle, Fabio Farias e Rafael Souza.

Aos amigos da sala do “Nordestes”: Teresa Luiza, Fernando Carvalho, Tatiana Maximo, Eduardo Araújo, Patrícia Garcés, Elba e Othon Fialho.

Aos amigos do grupo de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos: Isabel, Ana Paula, Moema, Celmar, Adriano Bandeira, Fausto, Tiago, Ester, Fabiano, Rosane e Josiane.

Aos amigos Nett’s Leandro, Fabrício e Davi.

Aos amigos Fausto Alfredo Canales Vega e Thiago Pereira, pela maravilhosa expedição a “Ilha”.

Aos amigos de convivência diária: Adriano Rolim Paz, Rutinéia Tassi, Bruno Collischonn, Daniel Allasia, Martin Delgado, Juan Martin Bravo, Paulo, Lidiane, Adalberto, Ferdnando, Diogo, Marcio Giacomoni, Fernando (Bike), Anderson, Freddy, Janete, Adriano Marlison, Francisco, Diego Carrilo, Christopher, Ane e muitos outros amigos do que não foram citados, mas não menos importantes, com os quais dividi experiências, mesmo que fossem conversas edificantes na volta do RU. A amizade de todos é certamente a maior riqueza que levo do IPH.

Aos meus amigos Claudinéia Saldanha, Fernanda Helfer, André Petry, Cristiane Battiston, Carlos Ruberto Fragoso Junior e Regina, pela amizade de todas as horas, incentivo e companheirismo .

Aos meus amigos Mateus Guerra, Patrícia Silveira, Ângela Spengler, Amanda, Fabiana Lutkemeyer, Thiago Valverde, Sidnei e Karina.

Aos funcionários do IPH, pela atenção e prestatividade, em especial a Nadir e Andreas.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

E, finalmente, um agradecimento especial a minha família: a meus pais Adão e Juçara pelos sacrifícios e pela sabedoria com que me orientaram para a vida; os meus irmãos Álvaro e Sandro pela fonte inesgotável de alegria e cumplicidade.

Muito obrigada!

RESUMO

A pesquisa desenvolvida nesta tese foi aplicada ao Banhado do Taim e teve quatro enfoques: a análise de possíveis correlações entre índices climáticos e a precipitação no Banhado do Taim; a verificação da qualidade da previsão de precipitação proveniente de modelos atmosféricos; a previsão hidroclimática de níveis com antecedência de até 6 meses; e por fim o estabelecimento de um conjunto de regras de retirada de água da Lagoa Mangueira, de forma a contribuir com o planejamento da utilização dos recursos hídricos com múltiplos usos. Os resultados das análises mostram uma relação entre os índices climáticos e a precipitação, que as relações dos períodos secos e úmidos não estão unicamente e diretamente ligadas aos fenômenos El Niño e La Niña e que a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) influencia na precipitação no Sistema hidrológico do Taim, variando proporcionalmente em relação ao sinal. Na verificação da qualidade da previsão de precipitação, os modelos apresentaram boa correlação com a precipitação observada, e aqueles que apresentaram melhores desempenhos foram: o modelo global com a Média dos Membros, o MRERS e o Modelo de regressão, embora os dois primeiros tenham subestimado a precipitação observada na grande maioria do tempo. A previsão de nível com base na previsão de precipitação apresentou bons resultados, com coeficiente de correlação ficando em média 0,95, e o coeficiente de Nash mostrou que o modelo é adequado. Na verificação dos erros em relação ao nível o modelo de Regressão linear mostrou-se melhor em relação aos demais modelos, embora o horizonte de previsão seja de apenas 3 meses. Na análise do último item, para a definição de preceitos para o uso da água foi estabelecida uma metodologia que permite a integração da previsão hidroclimática com as necessidades hídricas da fauna e flora representativas do Banhado do Taim através dos Índices de Qualidade Ambiental ou Curvas guias e a estimativa do real consumo de água para o arroz irrigado, permitindo definir com um horizonte de até 6 meses, critérios para o gerenciamento dos recursos hídricos, alocando água para a irrigação e conservação do ecossistema do SHT, proporcionando benefícios mútuos.

ABSTRACT

The research conducted on this thesis Project were applied for the Taim Wetland and had four main points: the analysis of possible correlations between climatic indexes and precipitation of the Taim Wetland; the verification of the quality of forecasts developed for precipitation obtained from atmospheric models; the “hydroclimatic” forecast of levels considering six months upfront; and finally the establishment of a set of rules of water removal from Mangueira Lagoon, in order to contribute with the management and utilization of water resources for multiple purposes. The results of analysis performed show a correlation between the climatic indexes and precipitation. Relation between dry and humid seasons are not solely and directly related to El Niño and La Niña events. The results indicate an influence of the “Oscilação Decadal do Pacífico (ODP)” on the precipitation of the hydrologic system of Taim, proportionally varying in relation to the signal. On the verification of the quality of the precipitation forecast, the models presented a good correlation with the observed precipitation. The models that had the best performance were the following: the global model with the average of the members, the MRERS and the backcast. The two first mentioned underestimated the observed precipitation most of the time. The level forecast based on the precipitation forecast presented good results, with an average coefficient of correlation of 0.95. The Nash coefficient indicated the model is suitable on the error verification in relation to the “Linear backcast” even though the forecast horizon is just three months. On the analysis of the last aspect of the study, the definition of the rule for water use, a methodology that allows the integration of hydroclimatic forecast was defined, with representative hydrologic needs of fauna and flora of the Taim Wetland by the quality indexes or “guide curves” and the estimation of the real water use for irrigated rice, allowing the definition of a six months horizon, water resources management criteria, allocating water for irrigation and conservation of the SHT’s ecosystem, providing mutual benefits.

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	1
2	INTRODUÇÃO	9
3	A INFLUÊNCIA DE ÍNDICES CLIMÁTICOS NA PRECIPITAÇÃO DO SISTEMA HIDROLÓGICO DO TAIM	29
4	VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DAS PREVISÕES CLIMÁTICAS DE PRECIPITAÇÃO PARA REGIÕES SUBTROPICAIS: ESTUDO DE CASO BANHADO DO TAIM	50
5	PREVISÃO HIDROCLIMÁTICA PARA O SISTEMA HIDROLÓGICO DO TAIM.....	73
6	PRECEITO PARA O GERENCIAMENTO DO USO DA ÁGUA NO SISTEMA HIDROLÓGICO DO TAIM	98
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	118
8	REFERÊNCIAS	123
	ANEXO A	127
	ANEXO B	131
	ANEXO C	135
	ANEXO D	150

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 - Localização e delimitação do Sistema Hidrológico do Taim.....	3
Figura 2-1 - Representação esquemática do ENOS e imagem de anomalia da TSM em condições normais (a, b), durante a fase quente (El Niño) (c, d) e durante a fase fria (La Niña) (e, f).	17
Figura 2-2 - Representação esquemática a do PDO. a) fase positiva, b) fase negativa.....	19
Figura 2-3 - Representação esquemática do NAO: a) fase positiva, b) fase negativa.....	21
Figura 2-4 - Discretização espacial dos modelos de circulação global.	22
Figura 3-1- Localização do Banhado do Taim.	32
Figura 3-2 - a) Localização da região dos Niños; b) As regiões do Oceano Atlântico.	35
Figura 3-3 - Climatologia da precipitação (mm) para a região ESEC- Taim, para o período de 1960 a 2005.	38
Figura 3-4 - Precipitação sazonal para a região ESEC- Taim.	38
Figura 3-5 - Anos com precipitação extrema na região ESEC- Taim.	39
Figura 3-6 - Total pluviométrico trimestral (mm) médio na região ESEC- Taim para cada ano: a) primavera; b) verão; c) outono e d) inverno.	41
Figura 3-7 - Componentes principais dos índices analisados e da série de precipitação.	45
Figura 3-8 - Comparação entre séries de precipitação média anual no Banhado do Taim e série de valores médios anuais dos ENOS para as regiões Niño 1+2, Niño 3, Niño 4 e Niño 3.4. ..	46
Figura 3-9 - Comparação entre série de precipitação média anual no Banhado do Taim e série de valores médios anuais do PDO.	46
Figura 4-1 - Localização do Banhado do Taim.	52
Figura 4-2 - Indicação da malha do modelo Global (resolução espacial de ~200 km sobre o Brasil e Rio Grande do Sul.	54
Figura 4-3 - Redução da tabela de contingência de 3 eventos para 2 eventos.	58
Figura 4-4 - Comportamento temporal da precipitação observada e prevista pelo modelo global.	62
Figura 4-5 - Precipitação observada e prevista pelo modelo MRERS para os anos de 1997 a 2005.	64
Figura 4-6 - Precipitação observada e prevista pelo modelo de regressão multivariada para os anos de 1997 a 2005.	66
Figura 5-1 - Localização do Banhado do Taim.	77
Figura 5-2 - Discretização do banhado do Taim. (Fonte Tassi, 2007)	81

Figura 5-3 - Exemplo de previsão de nível com horizonte de 6 meses, iniciada no mês de outubro de 1999 e estendendo-se até março de 2000.	86
Figura 5-4 - Previsão de Médias do erro médio quadrático de previsão utilizando diferentes modelos com antecedência de 1 a 6 meses.	89
Figura 5-5 - Anomalia de nível mensal observada e prevista entre outubro e março para os anos de 1997 a 2003.	92
Figura 5-6 - Dispersão do nível do Banhado do Taim em função das cotas da Lagoa Mirim.	94
Figura 6-1 - Delimitação do contorno da Lagoa Mangueira e do Banhado do Taim sobre composição colorida RGB de imagem do satélite Landsat5 (WGS 84, UTM-22S)	100
Figura 6-2 - Fluxograma das etapas metodológicas.	102
Figura 6-3 - Proposta de hidroperíodo respeitando os limites impostos para as espécies indicadoras e sazonalidade no Banhado do Taim/RS.	105
Figura 6-4 - Variabilidade sazonal do hidroperíodo, com os desvios e previsão futura para o período de outubro de 1999 a março de 2000.	113

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3-1 - Estações pluviométricas para o período de 1950 – 2007.....	33
Tabela 3-2 - Parâmetros de variabilidade climática.	34
Tabela 3-3 - Anos com períodos secos, normais e chuvosos associados às fases do ENOS e da ODP.	43
Tabela 3-4 - Correlação entre os índices climáticos e precipitação anual na região ESEC-Taim.....	44
Tabela 4-1 – Equações para a previsão de precipitação mensal para os meses de outubro a dezembro, utilizando índices climáticos.....	57
Tabela 4-2 - Correlação entre a precipitação observada e a precipitação prevista pelos modelos Global, Regional e o de regressão multivariada.	67
Tabela 4-3 – Resíduo acumulado entre a precipitação observada e a precipitação prevista pelos modelos Global e Regional para um horizonte de 3 meses.	68
Tabela 4-4 - Índices de performance na análise da previsão de precipitação para eventos secos, normal e chuvoso do modelo global e MRERS para a área de estudo.	69
Tabela 5-1 - Resíduo entre volume observado e calculado, utilizando diferentes modelos com antecedência de 1 a 6 meses.	87
Tabela 5-2 - Coeficiente de Nash utilizando diferentes modelos utilizados.	90
Tabela 6-1 - Variabilidade sazonal do hidroperíodo, com os valores máximos e mínimos...	104
Tabela 6-2 - Dados meteorológicos usados nas estimativas em mm/mês.....	109
Tabela 6-3 - Dados meteorológicos usados nas estimativas em mm/mês. Pertencente à base de dados FAOCLIM.....	109
Tabela 6-4 - Estimativa de consumo para irrigação do arroz (vazão contínua em l/s/ha) para os pedidos de outorga segundo a ANA. Supondo o cenário 1.....	110
Tabela 6-5 - Estimativa de consumo para irrigação do arroz (vazão contínua em l/s/ha) para os pedidos de outorga segundo a ANA. Supondo o cenário 2.....	111
Tabela 6-6 - Estimativa de consumo para irrigação do arroz (vazão contínua em L/s/ha) para os pedidos de outorga segundo a ANA. Supondo o cenário 3.	111
Tabela 6-7 - Variabilidade sazonal do hidroperíodo, com os desvios e previsão futura.....	115

1 APRESENTAÇÃO

O Estado do Rio Grande do Sul possui um sistema único de água doce. Paralelamente ao Oceano Atlântico, a planície costeira do Estado é composta pela seqüência de lagoas em uma faixa de aproximadamente 640 km de extensão. Este sistema é basicamente compreendido por lagunas, lagoas costeiras de água doce e grandes lagoas interiores, apresentando canais e banhados de água doce que atuam como intercomunicadores.

Neste contexto, se insere o Sistema Hidrológico do Taim, extensa área úmida localizada no Sul do Rio Grande do Sul, compreendendo partes dos Municípios de Santa Vitória do Palmar e do Rio Grande entre as latitudes 32°20'S e 33°00' S, e pela Lagoa Mirim e o Oceano Atlântico sul entre as longitudes 52°20'W e 52°45'W, está próximo ao Arroio Chuí, na fronteira com o Uruguai (Figura 1).

Visando a proteção de sistemas de terras úmidas, em 1978 foi decretada pelo Presidente da República, a área de 33.815 ha, ocupando parte da planície costeira dos municípios de Rio Grande e de Santa Vitória do palmar, entre a lagoa Mirim e o Oceano Atlântico, como de utilidade pública (MOTTA MARQUES et al., 2002). Em 21 de julho de 1986 o Banhado do Taim foi promovido à Unidade de Conservação Federal (Decreto nº 92.963), e na mesma ocasião foi criada a Estação Ecológica do Taim (ESEC-Taim).

O principal objetivo é proteger amostras dos Banhados do Sul e da fauna ameaçadas de extinção, além de preservar o local de passagem de aves migratórias (IBAMA, 2003).

Em termos gerais, existem três subsistemas que compõem o sistema no qual a ESEC Taim está inserida, que são: Sistema Norte, Lagoa Mangueira e Sistema do banhado do Taim:

- Subsistema Norte: composto pela Lagoa Caiubá, Lagoa das Flores e o Banhado do Maçarico, este último com afluência para a Lagoa das Flores. Este subsistema tem uma área total de 387 km². As características principais são: a interligação entre as duas lagoas, o fluxo predominante no sentido Norte-Sul e uma capacidade de demanda instalada para irrigação que está acima da capacidade de armazenamento das lagoas.
- Subsistema do Banhado: composto pelas lagoas Nicola e Jacaré na sua parte norte,

próxima do exutório do Sistema Taim. Esta área é composta por terras úmidas (*wetlands*) na maior parte do ano, existindo um leve gradiente positivo da topografia de fundo na direção Oeste-Leste. A sua área total é de 270 km² e o fluxo é caracterizado pelas baixas velocidades superficiais devido à existência de macrófitas aquáticas e biomassa considerável.

- Subsistema Sul: é formado pela Lagoa Mangueira e sua bacia de contribuição. A sua área, contando exclusivamente a área de contribuição da Lagoa propriamente dita, é próxima de 1597 km². Este sistema é caracterizado pelas oscilações periódicas dos níveis da Lagoa devido à ação dos ventos, que predominam nos sentidos NE e SO. A união do subsistema sul com o Banhado é dada por um a) canal junto a BR-471 através de escoamento concentrado; b) interface Lagoa-Banhado através de escoamento difuso e com transporte de massa nos dois sentidos, conforme o regime sazonal.

Diferentes usos do solo são observados na região onde se insere a Estação Ecológica do Taim: agricultura, pecuária, pastagens e reflorestamento, além de dunas e áreas baixas, alagadas temporariamente (MARQUES e VILLANUEVA, 2001).

A área delimitada pela ESEC-Taim não abrange a totalidade da sua bacia de contribuição, de modo que atividades externas (praticadas fora dos limites da Estação, como por exemplo, a retirada de água para a irrigação do arroz) influenciam diretamente na disponibilidade de água e nas condições ambientais no seu interior (TUCCI, 1996; MOTTA MARQUES et al, 2001). As saídas de água do sistema ocorrem basicamente por evaporação, demanda para irrigação e, quando o nível está alto, escoamento para a Lagoa Mirim por um único ponto (PAZ, 2003; VILLANUEVA, 1997), uma comporta. Esta comporta foi originalmente projetada como parte do esquema de drenagem da área (Figura 1-1).

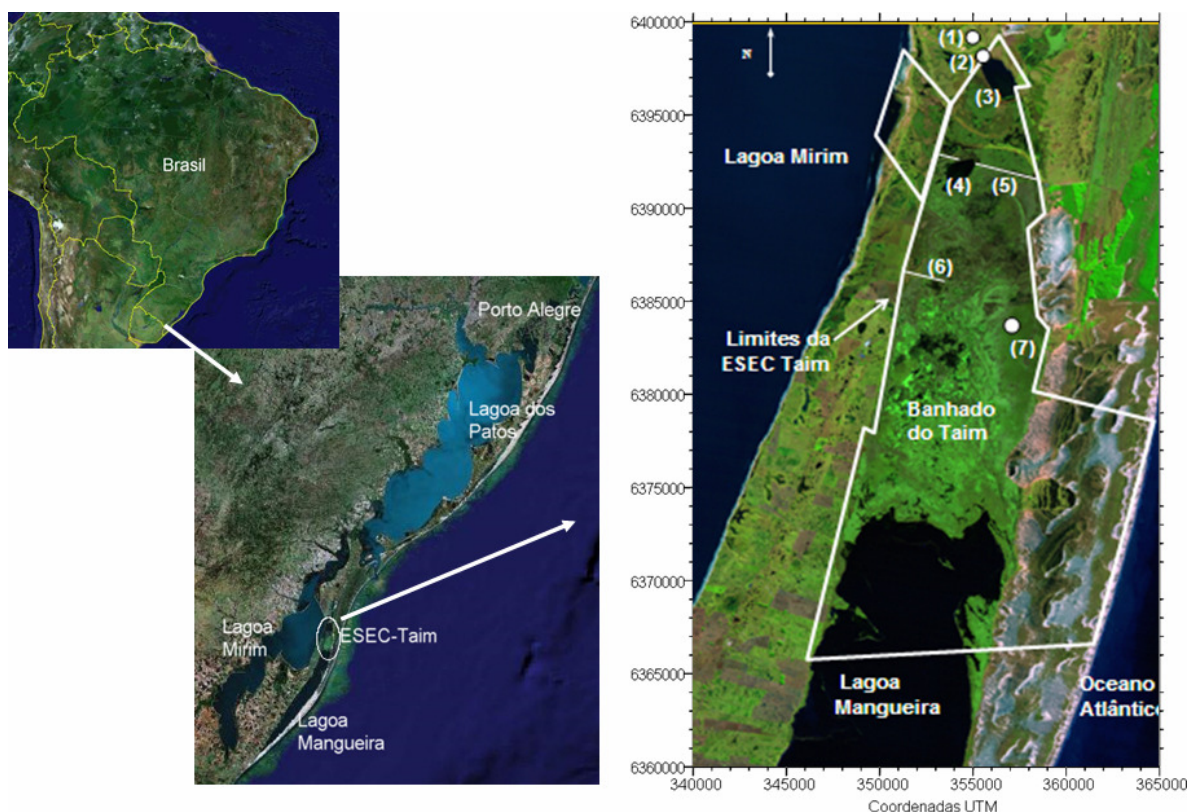


Figura 1-1 - Localização e delimitação do Sistema Hidrológico do Taim.

Localização e delimitação do Sistema Hidrológico do Taim, sobre composição colorida RGB de imagem do satélite Landsat5, onde: (1) sede da ESEC Taim; (2) comportas de saída do banhado; (3) lagoa Nicola; (4) lagoa Jacaré; (5) canal do Jacaré; (6) canal da Sarita; (7) (Fonte: Google Earth e Landsat 5 TM, WGS 84, UTM-22S).

O Sistema Hidrológico do Taim (SHT) corresponde ao Sítio 7 do Programa Ecológicas de Longa Duração do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - PELD/CNPq, cujo objetivo é promover a manutenção, organização e funcionamento dos ecossistemas brasileiros, gerando informações e subsídios para avaliação da sua diversidade física e biológica. O PELD é composto por uma rede de sítios selecionados dos principais ecossistemas brasileiros e tem como foco a pesquisa integrada.

O trabalho apresentado nesta Tese de Doutorado integra esse Programa no âmbito da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (www.peld.ufrgs.br), e constitui-se de dois eixos principais. O primeiro, a necessidade de compreender e identificar a variabilidade espacial e temporal da precipitação considerando influências de índices climáticos e sua possível previsibilidade com a utilização de modelos

meteorológicos. O segundo refere-se à utilização dessa precipitação na simulação de níveis futuros para se alcançar uma gestão integrada do recurso hídrico, considerando os usos múltiplos da lagoa Mangueira.

Esta tese consiste de uma série de artigos a serem submetidos para publicação em periódicos científicos, sendo dividida em seis partes: (1) Introdução; (2) A influência de índices climáticos na precipitação do sistema hidrológico do Taim; (3) Verificação da qualidade das previsões climáticas de precipitação para regiões subtropicais: estudo de caso banhado do Taim; (4) Previsão hidroclimática para o Sistema hidrológico do Taim; (5) Preceito para o gerenciamento do uso da água no Sistema Hidrológico do Taim; (6) Conclusões e recomendações. Uma breve descrição dos artigos é listada a seguir:

O *capítulo 1* apresenta uma revisão sobre aspectos gerais dos ecossistemas de terras úmidas ou banhados, onde são descritos: formas de classificação, estruturas, funções e valores; caracterização da precipitação no estado do Rio grande do Sul; descrição de: previsão de precipitação, índices climáticos, modelos meteorológicos, modelos hidrológicos, classificação de modelos e acoplamento entre modelos atmosféricos e hidrológicos.

O *capítulo 2* analisa a influência de índices climáticos na precipitação do Sistema Hidrológico do Taim, a relação oceano-atmosfera tem sido alvo de muitas pesquisas, apresentando como objetivo principal compreender os impactos dessa interação na variabilidade climática terrestre. Portanto, a relação entre modos de variabilidade atmosféricas (Oscilação Antártica e Artica), modos oceano-atmosféricas (oscilação do Atlântico Norte e El Niño oscilação Sul) e modos oceânicos (Temperatura da Superfície do Mar) associados à precipitação, podem auxiliar no entendimento das variações climáticas regionais. Primeiramente foi analisada a distribuição espacial e temporal da precipitação no SHT e posteriormente foi analisada a possível influência dos índices climáticos utilizando métodos estatísticos. Os índices que apresentaram melhores resultados foram eleitos para gerar um modelo de previsão de precipitação, para a região do Sistema Hidrológico do Taim.

O *capítulo 3* trata da Verificação da qualidade das previsões climáticas de precipitação para o banhado do Taim, o conhecimento prévio do comportamento da precipitação futura pode ser uma ferramenta útil no gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos. Atualmente existem dois métodos que os meteorologistas utilizam

para realizar previsões climáticas: (1) Método Estatístico-Empíricos que usam séries observadas de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) para estabelecer correlações e prever o futuro e (2) Método Dinâmico/Numérico onde a TSM é utilizada como condição de contorno, para forçar modelos numéricos que resolvem as equações dinâmicas que descrevem os processos físicos da atmosfera. Para a análise qualitativa da previsão de precipitação utilizou-se 3 modelos, um modelo dinâmico de circulação geral da atmosfera (MCGA - CPTEC/COLA), um modelo regional estatístico para o Rio Grande do Sul (MRERS_CPPMet) e um modelo estatístico baseado em índices climáticos (Mod Reg), os modelos possuem um horizonte de 6 meses, 4 meses e 3 meses respectivamente. A análise estatística da qualidade das previsões mostram a destreza dos modelos meteorológicos em prever a sazonalidade da precipitação para o Sistema Hidrológico do Taim.

O *capítulo 4* apresenta a previsão hidroclimática para o banhado do Taim, denomina-se previsão hidroclimática à estimativa de nível com antecedência no tempo baseada na alimentação de modelos hidrológicos com previsões obtidas de modelos atmosféricos. Trata-se de uma área de conhecimento nascida da integração do conhecimento meteorológico e hidrológico para a previsão de níveis de diferentes antecedências. Foram utilizados três modelos de previsão de precipitação de longo prazo, um modelo dinâmico de circulação geral da atmosfera (MCGA - CPTEC/COLA), um modelo regional estatístico para o Rio Grande do Sul (MRERS_CPPMet) e um modelo estatístico baseado em índices climáticos (Mod Reg), o acoplamento entre os modelos meteorológicos e o modelo hidrológico foi o unidirecional, o modelo hidrológico para a simulação de níveis escolhido, foi o hidrodinâmico de células (VILLANUEVA, 1996), devido a existência de uma extensa rede de arroios e canais interligando as lagoas e banhados o que torna o fluxo da região bastante complexo e abrangente. Posteriormente são descritos cenários de simulação de níveis baseados nas previsões de precipitação e avaliados estatisticamente. Essa avaliação servirá de subsídio para a utilização dos modelos de melhor desempenho, em uma possível operacionalização da previsão de níveis para o gerenciamento do uso da água no SHT.

O *capítulo 5* apresenta o preceito para o gerenciamento do uso da água no Sistema Hidrológico do Taim, a crescente pressão sobre os recursos hídricos tem

propiciado a ocorrência de conflitos entre os diversos usuários da água. A gestão dos recursos hídricos pode ser compreendida como o desenvolvimento e implantação de estratégias que influenciam a demanda de água, de modo a obter o uso eficiente (SAVENIJE e VAN DER ZAAG, 2002). É nesse contexto que a gestão dos recursos hídricos permite que sejam considerados os múltiplos usos de forma integrada e sustentável, para adoção das medidas adequadas a cada uso, objetivando a maior eficiência e o melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis, de maneira a atender todas as demandas. Esta etapa da tese pretende trazer subsídios para o gerenciamento dos recursos hídricos no SHT, a seqüência metodológica reúne 3 etapas para a elaboração de um preceito para o gerenciamento: (1) previsões de níveis futuros, descritas no capítulo 4, (2) identificar o padrão em termos hidrológicos e biológicos que se quer conservar, identificando alguns padrões hidrológicos (níveis máximos e mínimos) e a biológica identificando as espécies (vegetais e animais) que melhor representam o banhado, criando assim os Índices de Adequabilidade (IAs) para cada espécie representativa do ecossistema, propostos por Tassi (2007) e (3) Definir de volume possível de ser retirado para irrigação, com base no consumo estimado pela Agência Nacional de Águas (ANA). Cotejando a previsão de níveis com os IAs, e identificada a condição crítica para a manutenção do ecossistema, é possível alertar os agricultores que poderá haver restrições com relação à disponibilidade de água, podendo haver negociação em termos de área a ser plantada. Uma situação contrária também pode ocorrer.

O capítulo 6 apresenta as conclusões e recomendações inferidas do desenvolvimento da tese.

Caracterização do conflito pelo uso da água

A pressão mundial pelo combate à fome e a conseqüente busca do aumento da produção de alimentos tem obrigado a agricultura moderna a proporcionar respostas eficientes nesse sentido. Mas, em contrapartida, transforma a atividade agrícola em uma das que mais utiliza os recursos naturais, causando, diversas vezes, a degradação, redução e comprometimento desses recursos.

A finalidade básica da irrigação é proporcionar água às culturas de maneira a atender às exigências hídricas durante todo seu ciclo, possibilitando altas produtividades

e produtos de boa qualidade. Sendo que a quantidade de água necessária às culturas é função da espécie cultivada, da produtividade desejada, do local de cultivo, do estágio de desenvolvimento da cultura, do tipo de solo e da época de plantio.

No caso do arroz irrigado a água, além de influir no desempenho da cultura, interfere na disponibilidade de nutrientes, na população e espécies de plantas daninhas presentes e na incidência de algumas pragas e doenças. O arroz requer água durante todo o seu ciclo; porém, há três períodos em que a exigência é maior: 1) estabelecimento (semeadura a emergência); 2) início do perfilhamento a perfilhamento ativo (planta com de quatro a sete folhas); e 3) período compreendido entre a diferenciação da panícula e o enchimento dos grãos. A deficiência hídrica em quaisquer desses períodos pode prejudicar a produtividade da cultura (EMBRAPA, 2008). Mas é importante salientar que o incremento de produtividade depende também de outras condições e que somente a utilização da irrigação não é garantia de se atingir aumentos significativos de produção.

Atualmente o principal vetor de pressão sobre a biodiversidade da ESEC-Taim está associado à orizicultura, que constitui a principal atividade econômica da região, exigindo a manutenção de lâminas de água sobre os cultivos durante todo o desenvolvimento dos mesmos, sendo quase a única fonte de emprego e sobrevivência da população local (VILLANUEVA et al., 2000).

Já no início do século XX, o uso de áreas inundadas para produção agrícola, em especial o cultivo de arroz, era um fato muito importante para o Estado do Rio Grande do Sul. Atualmente, o cultivo de arroz é a mais importante atividade econômica da região. Grandes áreas a oeste da Lagoa Mangueira cultivam arroz irrigado por inundação. A manutenção da alta produtividade dessa cultura requer a permanência de uma lâmina d'água sobre o plantio por um período de aproximadamente 100 dias (MOTTA MARQUES et al., 2002). A irrigação por inundação contínua tem uma demanda de água elevada, aproximadamente 2 l/(s.ha), fornecida por levantes hidráulicos que bombeiam água das Lagoas Mangueira, Caiubá, Flores e Mirim para um sistema de canais de distribuição.

Atualmente, a água para a irrigação é extraída diretamente da Lagoa Mangueira, afetando diretamente as trocas de água entre essa Lagoa e o Banhado do Taim. O período de captação de água coincide com os picos de evapotranspiração observados nos meses de Outubro a Março, e a combinação das duas fontes de retirada de água

pode ocasionar a diminuição no volume de água necessário à manutenção dos ecossistemas palustres (Villanueva, 1997).

O conflito então surge, uma vez que a preservação das unidades de conservação implica em uma redução do volume de água disponível para irrigação (Villanueva *et al.*, 2000). Estes autores mostraram que o ecossistema não suporta a presente taxa de extração de água e que seria necessário algumas medidas para a preservação do sistema, tais como a previsão do volume disponível e o uso complementar da água da lagoa Mirim.

OBJETIVOS

Objetivo geral

O objetivo geral desta tese consiste em analisar a utilização de previsões meteorológicas de longo prazo na estimativa dos níveis futuros do Banhado do Taim considerando a manutenção do uso para irrigação na bacia

Objetivos específicos

- ✓ Analisar as influências das teleconexões e a distribuição temporal da precipitação no Sistema Hidrológico do Taim.
- ✓ Avaliar a qualidade das diferentes previsões de precipitação de longo prazo, visando a definir quais serão utilizadas na previsão hidroclimática.
- ✓ Verificar se a introdução de diferentes fatores climatológicos poderá auxiliar no prognóstico de disponibilidade de água para a irrigação.
- ✓ Definir critérios de utilização dos fatores climatológicos no auxílio do gerenciamento do sistema Mangueira-Taim, contribuindo para a coexistência da irrigação e preservação do ecossistema do Banhado do Taim.
- ✓ Criar uma ferramenta de gestão dos recursos hídricos da bacia contribuinte avaliando o impacto da alteração da área irrigada sobre a preservação de condições ótimas para a manutenção do ecossistema do Banhado do Taim

2 INTRODUÇÃO

O entendimento das leis mais gerais que governam a distribuição de água no planeta é essencial para o seu uso racional e proteção. A hidrologia trabalha, principalmente, com o movimento, a distribuição e armazenamento da água. Partindo de uma perspectiva global, três sistemas estão envolvidos: o sistema atmosférico, o sistema terrestre e o sistema oceânico. O domínio da hidrologia está confinado ao sistema terrestre, mas pode incluir aspectos dos sistemas atmosférico e oceânico, que diretamente afetam o movimento da água no sistema terrestre.

Diversos fatores influem na variabilidade sazonal da precipitação na região, a influência dos fenômenos atmosféricos interfere no regime de precipitação que por sua vez interfere na parte fluviométrica. Cabe ainda resaltar que a precipitação, variável de entrada em modelos hidrológicos, transforma-se em variável de saída nos modelos atmosféricos, o que permite uma série de conjecturas e desdobramentos no tratamento hidrometeorológico, levando a uma convergência de distintas ciências: a hidrológica e a meteorológica.

Nesta pesquisa, o interesse hídrico concentrou-se na região do Sistema Hidrológico do Taim (SHT), objetivando analisar a utilização de previsões meteorológicas de longo prazo na estimativa dos níveis futuros do Banhado do Taim considerando a manutenção do uso para irrigação na bacia. Feita essa exposição inicial, no texto que segue, serão apresentados os principais conceitos e fenômenos que serão estudados nos capítulos posteriores.

Caracterização de terras úmidas ou banhados

As regiões conhecidas como banhados, terras úmidas ou wetlands, são importantes ecossistemas que ocorrem em todos os continentes do planeta, à exceção da Antártica, apesar de variarem enormemente devido a diferenças locais e regionais nos solos, na topografia, no clima, na hidrologia, na composição química da água, na vegetação e em outros fatores, inclusive no grau de perturbação humana (CZM, 2010).

Terras úmidas, especificamente, são áreas alagadas e vegetadas permanente ou temporariamente, de modo geral, o termo “terras úmidas” abrange vários ecossistemas.

Mitsch e Gosselink (1986) comentam sobre a dificuldade em definir as terras úmidas e citam a definição adotada pelo U.S. Fish and Wildlife Service, considerada a

mais aceita: “áreas que são inundadas ou saturadas por água superficial ou subterrânea, com uma frequência e duração suficiente para suportar (e que sob condições normais suporta) a predominância de vegetação tipicamente adaptada à vida em condições de solo saturado, devendo possuir, ao menos, uma das seguintes propriedades: (i) o solo suporta, predominantemente, macrófitas aquáticas, pelo menos periodicamente; (ii) o substrato é, predominantemente, solo hídrico não drenado; (iii) a cada ano, o substrato é saturado ou coberto por águas rasas por algum período, durante a época de crescimento dos vegetais.”

Outra definição amplamente aceita internacionalmente foi a proposta pelo acordo internacional em 1971, a Convenção de Ramsar, que diz que áreas úmidas são “extensões de brejos, pântanos e turfeiras, ou superfícies cobertas de água, em regime natural ou artificial, permanentes ou temporárias, estancadas ou correntes, doces, salobras ou salgadas, incluídas as extensões de água marinha cuja profundidade na maré baixa não exceda os seis metros” (ROLON e MALTCHIK, 2006).

Funções e valores

A variedade de condições físicas e químicas, a heterogeneidade espacial e a grande disponibilidade de nutrientes verificadas em ambientes de terras úmidas fazem com que eles apresentem elevada produtividade e diversidade de vida, estando entre os ecossistemas mais produtivos biologicamente do planeta (WIDHOLZER, 1986), sendo comparados a uma floresta tropical (RICKLEFS, 1993). Apresentando diversos valores à sociedade e ao meio ambiente (CZM, 2010).

De acordo com Ringuelet (1962), terras úmidas podem formar uma paisagem em mosaico, contendo vários outros habitat palustres em seu interior, sendo considerados macro-habitats. Desta forma, as terras úmidas são caracterizados por áreas constantemente ou provisoriamente alagadas, de solo saturado e rico em matéria orgânica de origem vegetal que resulta num ambiente físico-químico particular, colonizado por uma biota também particular adaptada morfológicamente e fisiologicamente ao hidroperíodo do sistema.

Os banhados também atuam como fonte e reservatório de carbono, pois, através da decomposição e respiração dos organismos, liberam para a atmosfera terrestre gás metano (CH₄) e gás carbônico (CO₂) e, através do processo da fotossíntese, aprisionam o CO₂. Tais processos atuam de maneira importante na composição de gases da atmosfera e em fenômenos globais, como o “efeito estufa” (IBAMA, 2000).

De acordo com Cowardin et al. *apud* TASSI, 2007, funções são aspectos físicos, químicos e processos biológicos que acontecem e compõem um ecossistema. Já ao termo “valores” são atribuídos os usos e interações humanas com tais sistemas.

Segundo Ramsar Convention Secretariat (2004a), áreas úmidas apresentam os seguintes funções e valores:

Funções:

- a) Habitat para populações de animais (como peixes, mamíferos, répteis, invertebrados e aves);
- b) Armazenamento de água;
- c) Proteção contra tempestades e o controle de grandes inundações (já que absorvem parte da água que ultrapassa os limites naturais dos canais dos rios e forma zonas tampão em suas várzeas e litorais);
- d) Estabilização da linha da costa e controle da erosão;
- e) Recargas subterrânea de águas (movimento da água da área úmida para o aquífero subterrâneo);
- f) Descargas subterrâneas de águas (movimento da água do aquífero subterrâneo para a área úmida, tal como nas nascentes);
- g) Purificação da água – qualidade da água (através da remoção dos nutrientes orgânicos e inorgânicos e substâncias tóxicas da água que passa através delas);
- h) Retenção de nutrientes;
- i) Retenção de sedimentos;
- j) Retenção de poluentes;
- k) Atuam como partes importantes nos ciclos do nitrogênio, enxofre, metano, e carbono;
- l) Estabilização das condições climáticas locais, especialmente o controle das chuvas e da temperatura; e
- n) Uso de subsistência.

Valores:

- a) Suprimento de água (quantidade e qualidade);
- b) Áreas de pesca (mais de dois terços da pesca mundial de peixes estão ligadas à qualidade das áreas úmidas, especialmente por se tratarem de áreas de reprodução);
- c) Agricultura (através da manutenção dos níveis de água e da retenção de nutrientes nas planícies de inundação);

- d) Madeira e outros materiais de construção;
- e) Recursos energéticos, como turfa e biomassa;
- f) Recursos ambientais da vida selvagem, tal como abrigos e ninhos para esses animais (tal como peixes, aves, répteis e mamíferos);
- g) Transporte;
- h) Diversos outros produtos, como ervas medicinais; e
- i) Recreação e turismo.

Em resumo, suas funções estão quase todas relacionadas à manutenção do equilíbrio ambiental (seus fluxos e ciclos), e seus valores decorrem dos benefícios diretos e indiretos desse equilíbrio.

Hidrologia de terras úmidas

Por definição, os banhados são criados e mantidos pela água, de tal modo que a frequência e a duração do nível da água determinam, significativamente, a vegetação presente e o desempenho das funções desses ecossistemas (MARBLE, 1992).

Segundo Mitsch e Gosselink (1986), a hidrologia é provavelmente o determinante individual mais importante para o estabelecimento e manutenção de tipos específicos de terras úmidas, bem como dos processos que ocorrem nas mesmas.

Por esse motivo, especial atenção é dispensada ao estudo do hidroperíodo das terras úmidas, definido como a ocorrência periódica ou regular de inundação ou condições de solo saturado (frequência, duração) a qual depende do balanço hídrico, da topografia e das condições subsuperficiais. As funções de um banhado podem ser modificadas por alterações desse hidroperíodo, ocasionando mudanças significativas no padrão das comunidades, na produtividade e no habitat. As alterações podem ser atribuídas a eventos naturais, sazonalidade, ou ações antrópicas como ao uso do recurso água para drenagens e irrigações (MARQUES et al., 2000).

É consenso entre os pesquisadores que trabalham com terras úmidas que a definição de seu hidroperíodo é o ponto chave para o bom conhecimento do comportamento do sistema.

Previsão Hidrológica

A previsão hidrológica (níveis ou vazões) num sistema hídrico é definida como a estimativa do escoamento com antecedência definida no tempo (SILVA, 2005).

A previsão hidrológica pode ser classificada quanto ao período de antecedência, pode ser de curto prazo quando a antecedência for de poucas horas até cerca de 14 dias e de longo prazo para antecedência de até nove meses (GEORGAKAKOS e KRYZTOFOWICZ, 2001). Neste trabalho o enfoque é a previsão hidrológica de longo prazo, que freqüentemente, é utilizada para propósitos de planejamento e operação dos recursos hídricos (WOOD, et al. 2002).

Essa previsão pode ser feita por modelos hidrológicos, cuja metodologia utilizada para a previsão hidrológica pode ser diferenciada de acordo com as variáveis empregadas para realizar a previsão e de acordo com as metodologias de cálculo.

Modelos hidrológicos

Um modelo hidrológico pode ser definido como uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície. Há uma estreita relação entre a modelagem hidrológica, a biológica e a ecológica, pois o transporte de materiais pela água é influenciado por atividades biológicas que podem aumentar ou diminuir a quantidade desses materiais na água, e o regime do fluxo de água pode afetar diversos habitats (MAIDMENT, 1993).

Os modelos de simulação hidrológica são ferramentas rotineiras nas investigações hidrológicas, ciência ambiental e na solução de problemas de engenharia. Geralmente esses modelos são utilizados para estender séries de vazões no espaço e no tempo, avaliar a resposta de uma bacia hidrográfica a diferentes condições climáticas e do uso e ocupação do solo, possibilitando o exame das estratégias de gerenciamento e determinar vazões de projeto. Além disso, eles também são usados como modelos acoplados para investigação de qualidade de água, nas previsões hidrológicas e na definição das condições de contorno para modelos de circulação atmosférica (WAGENER et al *apud* PINTO, 2005).

A simulação é o processo de utilização de modelos, existindo em geral três fases: uma de calibração (ou ajuste do modelo), outra de validação (ou verificação) e previsão. A calibração ou estimativa de parâmetros é fase de simulação em que os parâmetros são determinados; a verificação (ou validação) é a simulação do modelo com os parâmetros estimados em que se verifica a validade do ajuste realizado; e a previsão é a simulação do sistema pelo modelo com parâmetros ajustados para quantificação de suas respostas a diferentes entradas (TUCCI, 1998). O ajuste de

parâmetros depende da disponibilidade dos dados históricos, medições da amostra, e determinação da característica física do sistema (BUCHIANERI, 2004).

Classificação de modelos

O estudo de um sistema se dá pela constituição de um modelo, definido como um dispositivo que de alguma maneira descreve o comportamento de um sistema. Em geral definimos para o modelo variáveis de entrada e variáveis de saída, esperando-se dele estabelecer relações entre estas variáveis.

São inúmeros os modelos utilizados na Engenharia. Livros clássicos de hidrologia, tais como Righetto (1998), Tucci (1998) sintetizam esta classificação da seguinte forma:

- **Modelo Determinístico:** as equações utilizadas para descrever as fases do ciclo hidrológico não contêm componentes aleatórias, assim, para uma determinada situação inicial, o modelo sempre produzirá a mesma resposta final.
- **Modelo Estocástico ou Probabilístico:** as formulações utilizadas na descrição do fenômeno contêm variáveis aleatórias que seguem alguma distribuição probabilística.
- **Modelo com embasamento físico:** reproduz todos os processos físicos através de equações matemáticas. A característica marcante deste modelo é que os parâmetros e as constantes das equações podem ser medidos ou determinados a priori, não necessitando de calibração. Sua utilização é restrita em função da dificuldade na obtenção de todos os parâmetros necessários.
- **Modelo Conceitual e Semiconceitual:** está baseado no entendimento conceitual do ciclo hidrológico, com a utilização de funções empíricas para explicar alguns dos subprocessos envolvidos. Procuram representar, de maneira simplificada, todos os processos físicos conhecidos do ciclo hidrológico.
- **Modelo Empírico ou “Caixa Preta” (Black Box):** os resultados são obtidos através de ajustes de funções matemáticas. Estas funções não têm a finalidade de explicar os processos envolvidos, são apenas representações de um ajuste estatístico.
- **Modelo Contínuo:** desenvolvido para simular longos períodos de tempo. Este tipo de modelo deve considerar algum tipo de acumulação de umidade no solo.
- **Modelo de Evento:** aquele que simula um evento individual, dadas as condições iniciais.

- Modelo Concentrado (lumped): considera os dados de entrada e os parâmetros representativos da bacia como valores médios, válidos para toda área de estudo.
- Modelo Distribuído: os dados de entrada e as características da bacia variam no espaço. Estas informações podem ser distribuídas em subbacias ou em malhas.
- Modelo Simplificado: utiliza algoritmos deliberadamente simplificados ou usa grandes incrementos de tempo, para minimizar o esforço computacional.

Discussões mais detalhadas sobre aspectos relacionados à classificação de modelos podem ser encontradas em Maidment (1993) e Vertessy et al. (1993).

Os modelos geralmente descrevem processos com diferentes níveis de detalhamento e diferentes escalas de tempo. Um modelo pode ser detalhado, apropriado a pequenos intervalos de tempo e espaço, ou ser mais simples e genérico, podendo simular o comportamento de regiões inteiras e/ou períodos de tempo mais longos.

Segundo Silva (2005), para as previsões de longo prazo, os principais métodos empregados destacam-se: Volume armazenado na bacia, Predição de estatísticas locais, Modelos estocásticos, Modelos baseados na existência de correlações entre vazão e TSM dos oceanos e Previsão climática dinâmica da precipitação para estimar a vazão ou o nível.

Previsão de precipitação

A previsão numérica de tempo foi sugerida pela primeira vez em 1922, por Lewis F. Richardson (KIMURA, 2002; MCGUFFIE e HENDERSON-SELLERS, 2001), que propõe prever mudanças na circulação da atmosfera pela integração numérica das equações de mecânica dos fluidos que governam tais processos, ou seja, as equações de Navier-Stokes, a equação da continuidade e a primeira lei da termodinâmica (SILVA, 2005).

A previsão esta dividida em previsão do tempo e clima:

a) A previsão de tempo e feita para ate 14 dias de antecedência, e a escala de temporal característica para as mudanças nas condições de tempo nas latitudes medias e de apenas alguns dias ou menos.

b) A Previsão de clima indica a previsão para antecedências maiores, normalmente meses no futuro. O clima pode ser definido como a “estatística” media das condições de tempo em determinado período, que contenha vários eventos de tempo.

Nos itens seguintes são apresentadas algumas considerações importantes, para o melhor entendimento das diferenças entre a previsão de tempo e a previsão de climm.

Previsão climática

Indica a previsão para antecedências maiores, normalmente, vários meses no futuro. O clima pode ser definido como a “estatística” média das condições de tempo em determinado período, que contenha vários eventos de tempo. A temperatura média no inverno é uma variável climática, assim como a chuva média no mês de janeiro, em determinado local. A escala de tempo característica do clima é de um mês ou mais.

O comportamento do clima depende fortemente do estado da superfície, que pode ser caracterizada por sua temperatura, refletividade e umidade do solo. As principais condições de contorno, externas ao sistema atmosférico, que influenciama variabilidade climática são: temperatura da superfície do mar (TSM), gelo dos oceanos, albedo, umidade do solo, e cobertura de neve.

Sob um ponto de vista global, a TSM é a principal responsável pelas variações no clima, de um ano para outro. A temperatura do oceano é mais estável do que a da superfície terrestre, devido à grande capacidade de calor da água e à eficiência na mistura contínua entre água da superfície e de camada inferiores.

Os principais índices climáticos usados na previsão climática com os métodos estatísticos-empíricos são descritos a seguir.

ENOS : Dos modos de variabilidade climática, o mais estudado é o fenômeno ENOS, que influencia o clima em diversas partes do mundo por meio das teleconexões atmosféricas. O ENOS é caracterizado por anomalias da TSM na região do Oceano Pacífico Equatorial e apresenta uma fase quente (El Niño) e outra fria (La Niña), marcados por uma forte periodicidade interanual (Figura 1.1).

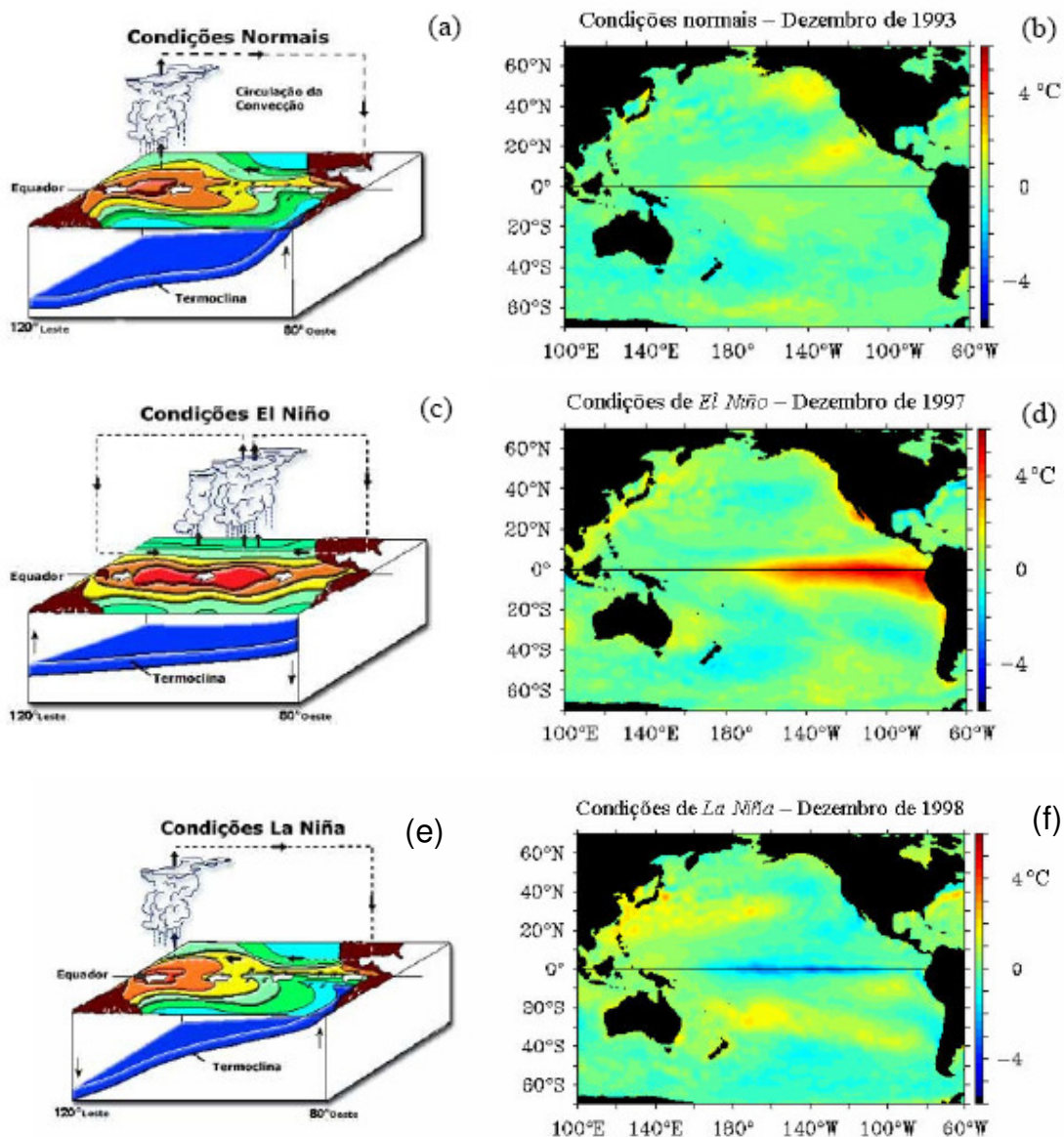


Figura 2-1 - Representação esquemática do ENOS e imagem de anomalia da TSM em condições normais (a, b), durante a fase quente (El Niño) (c, d) e durante a fase fria (La Niña) (e, f).

Fonte: Adaptado de Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL) (2007).

O fenômeno ENOS poder ser descrito como um modo oscilatório fundamental do sistema acoplado oceano-atmosfera. A Figura 2.1 ilustra o fenômeno ENOS no Pacífico a partir de um exemplo esquemático e de uma imagem de anomalia da TSM em três situações distintas: normal (a) e (b), durante um El Niño (c) e (d) e durante uma La Niña (e) e (f). Durante o El Niño, ocorre um enfraquecimento dos ventos alíseos de sudeste, que ocasiona uma diminuição do deslocamento das águas quentes da superfície

oceânica para oeste. Como consequência, a termoclina torna-se mais profunda no Pacífico leste, e a ressurgência local é enfraquecida. Durante a La Niña, ocorre o oposto, os ventos alísios se intensificam, as águas quentes se deslocam para o oeste e a termoclina aproxima-se da superfície no Pacífico leste.

Na componente atmosférica, durante o El Niño existe um deslocamento da célula de circulação para leste, de forma que seu ramo ascendente se posiciona sobre o Pacífico central e leste, e seu ramo descendente sobre a região da Amazônia, onde a convecção é inibida (CPTEC, 2007). Esta célula de circulação, ou célula de Walker, em condições normais possui um ramo de ar ascendente sobre a Austrália e região da Indonésia e descendente próximo à costa da América do Sul. Durante os anos de La Niña, esta célula permanece na mesma posição, porém mais intensa que o normal.

IOS: Analisando-se longas séries de desvios da pressão ao nível médio do mar em torno das respectivas médias, em toda a Bacia do Oceano Pacífico, verificou-se a existência de duas grandes áreas cujas flutuações estão fora de fase: uma englobando a Austrália e a Polinésia, a outra, na parte centro-sul do Pacífico tropical. Em geral, quando a pressão ao nível médio do mar está mais alta que a média climatológica numa área, encontra-se mais baixa na outra e vice-versa. Esse fenômeno foi denominado Oscilação Sul (OS) (VAREJÃO-SILVA, 2001). Foi criado um índice para avaliar sua intensidade, o Índice de Oscilação Sul (IOS), definido como a diferença entre os desvios (Δp) em relação à média das pressões registradas ao nível médio do mar em Tahiti (17°S, 150° W) e Darwin (12°S, 130° E). A fase fria da OS, apresenta-se com o IOS positivo. A pressão em Tahiti é maior que a média climatológica e, simultaneamente, a pressão em Darwin é inferior à média correspondente. Ocorrem movimentos ascendentes do ar sobre a Indonésia. Essa fase é conhecida por La Niña. A fase quente da OS apresenta-se com o IOS negativo. A pressão atmosférica começa a diminuir em Tahiti e a aumentar em Darwin. Desenvolvem-se um intenso centro de baixa pressão nas proximidades de Tahiti e um centro de alta pressão sobre a Indonésia e norte da Austrália (Darwin). Essa fase é conhecida como El Niño.

ODP: Desde o final da década de 80, vários estudos mostraram a existência de um padrão dominante de variabilidade climática sobre o Oceano Pacífico. A esse regime oscilatório de grande escala, Mantua et al. (1997) deram o nome de Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Para medir a fase e a intensidade da ODP, utiliza-se um índice

definido por Mantua et al. (1997), o IODP. Este índice se baseia na componente principal do primeiro modo da análise de Funções Ortogonais Empíricas das ATSMs ao norte de 20°N no Pacífico. Quando o IODP é positivo, ou regime quente, prevalecem águas superficiais mais quentes que o normal no Pacífico tropical e leste, e águas mais frias que o normal no Pacífico norte; para IODP negativo, o padrão de TSM apresenta configuração inversa. A partir desta secção, serão usadas as siglas ODP(+) e ODP(-) para se referir às fases positiva e negativa da ODP, respectivamente (Figura 1.2).

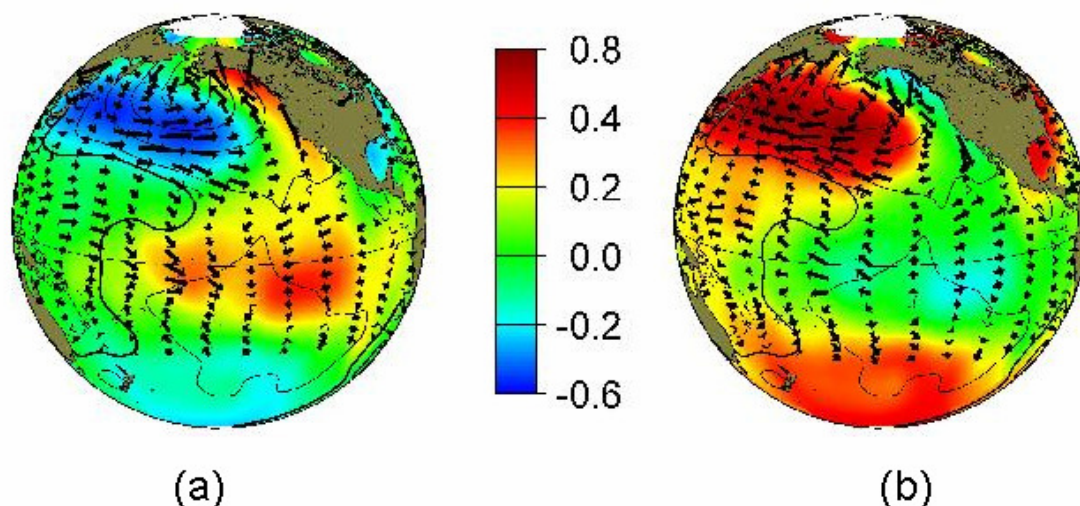


Figura 2-2 - Representação esquemática a do PDO. a) fase positiva, b) fase negativa.

Fonte: <http://jisao.washington.edu/pdo/>

AAO: A AAO é um dos modos de variabilidade atmosférica dos extratropicais do hemisfério Sul (HS) caracterizado por estruturas zonalmente simétricas, e representa as trocas de massa entre as latitudes altas e médias do hemisfério sul (CARVALHO et al., 2005). Este padrão foi observado como uma oscilação da pressão à superfície na faixa latitudinal que passa pelo Chile e Argentina e as baixas pressões do Mar de Weddell e ao Mar de Bellingshausen, e foi documentada há bastante tempo (WALKER, 1928). Entretanto, somente algumas décadas depois, com uma fonte de dados mais razoável, a oscilação entre cinturões de pressão nas latitudes médias e altas foi apropriadamente descrita e referida como Oscilação Antártica (AAO) (KIDSON, 1988A; SHIOTANI, 1990; HARTMANN e LO, 1998; GONG e WANG, 1999; THOMPSON e WALLACE, 2000). A AAO é mais intensa em dezembro e mais fraca em março e parece ser modulada pela atividade convectiva na escala intrassazonal. Sua fase negativa (positiva)

está associada a um aumento (diminuição) na intensidade do jato subtropical do HS (CARVALHO et al., 2005). Durante a fase negativa da AAO, a atividade ciclônica tende a se mover para latitudes mais baixas (abaixo de 40°S), e os ciclones apresentam uma pressão central mais elevada em comparação com suas fases positivas (CARVALHO et al., 2005).

AO: É um fenômeno correspondente ao AAO no Hemisfério Norte (HN). Este índice indica uma estrutura zonal simétrica que envolve intercâmbios de massa entre as latitudes médias e altas. Segundo Thompson e Wallace (2000), os modos anulares podem ser vistos não como padrões de variabilidade restritos a seus respectivos hemisférios, mas como estruturas que se estendem profundamente nos trópicos e subtrópicos dos hemisférios opostos.

No entanto, AAO e AO não estão correlacionados porque ambos ocorrem em épocas diferentes do ano.

NAO: É um modo de variabilidade acoplado oceano-atmosfera. O componente atmosférico da NAO é uma oscilação meridional com dois centros de ação: um próximo da Islândia e outro nas proximidades do Arquipélago dos Açores. A NAO combina parte dos padrões Atlântico Leste e Atlântico Oeste, originalmente identificados por Wallace e Gutzler (1981). Sua intensidade é medida pela diferença entre as intensidades do Anticiclone Subtropical do Atlântico Norte (alta dos Açores) e a baixa polar da Islândia. Na fase positiva da NAO, observam-se pressões mais baixas do que o normal entre a Groenlândia e o Ártico, e pressões mais altas do que o normal sobre o Oceano Atlântico (OA), próximo do Arquipélago dos Açores. Por consequência, são observados ventos de oeste mais fortes do que o normal nas latitudes médias desde o OA Oeste até a Europa Ocidental. A fase negativa apresenta um padrão oposto nas anomalias de pressão sobre essas duas regiões (Figura 1.3).

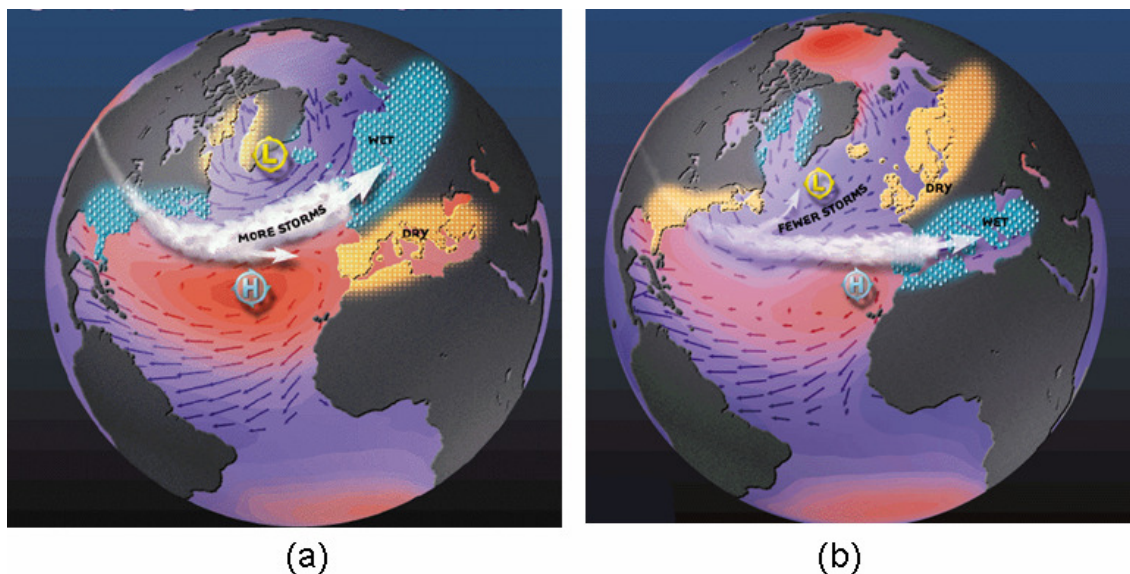


Figura 2-3 - Representação esquemática do NAO: a) fase positiva, b) fase negativa.

Fonte: <http://www.ldeo.columbia.edu/NAO/>

Modelos de previsão de precipitação

Os modelos atmosféricos consistem em ferramentas numéricas para solução de um sistema de equações diferenciais parciais que descrevem os fenômenos físicos envolvidos, a partir de variáveis de estado como velocidade do vento, pressão, temperatura e outras.

Os modelos atmosféricos podem ser divididos, de acordo com sua área de abrangência, em modelos regionais e globais.

Modelos de circulação global

O modelo de circulação global, GCM (Global Circulation Model), refere-se aos modelos que contêm a representação tridimensional do sistema acoplado à atmosfera e ao oceano. O modelo representa sistemas de trocas entre a atmosfera e o oceano, sendo importante para a previsibilidade climática. Esses modelos conseguem simular fenômenos de grande escala, mas são incapazes de modelar comportamentos de escalas menores, como ciclones, pois estes fenômenos ocorrem em escalas inferiores à malha usada nos modelos (Figura 1.4).

A malha horizontal tem resolução de alguns (cerca de 2 a 4) graus de latitude-longitude. Na vertical, a atmosfera e os oceanos são divididos em várias camadas (normalmente entre 10 e 30 camadas).

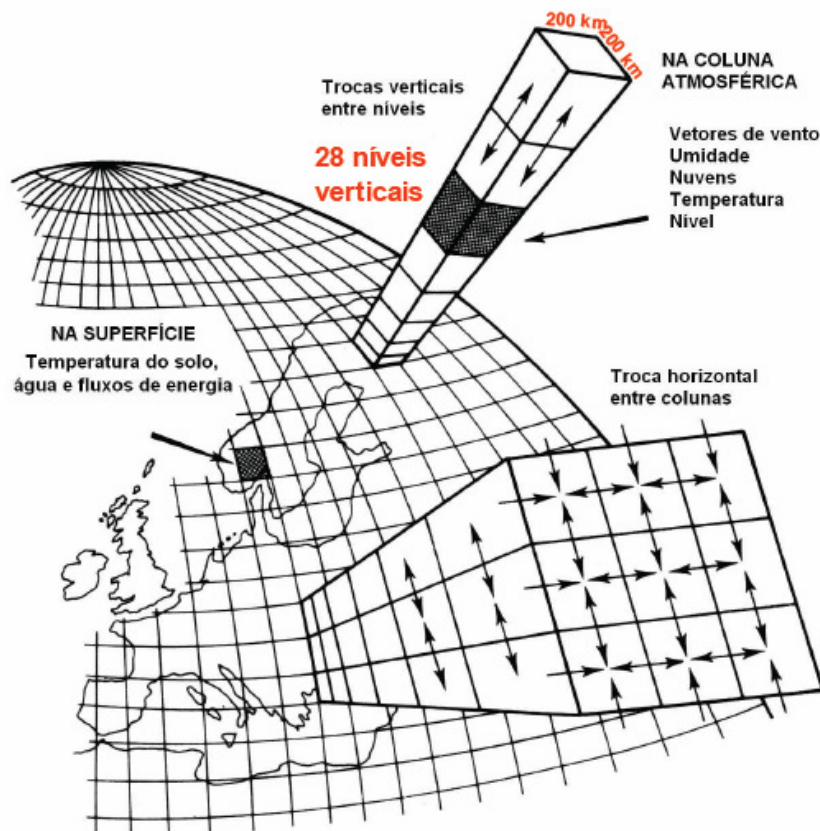


Figura 2-4 - Discretização espacial dos modelos de circulação global.

Fonte: Adaptado SILVA, 2005

De acordo com Tome (2004), o modelo de circulação global é usado para prever o comportamento médio da atmosfera (o seu clima) e não para fazer uma previsão determinista do tempo num momento específico. A natureza caótica da atmosfera significa que as previsões deterministas não são possíveis. Contudo, é possível prever mudanças no clima devido a mudanças das condições iniciais, como mudanças das forçantes externas, por exemplo, mudanças na radiação solar, ou o aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Modelos climáticos são integrados para períodos de tempo mais longos, para executar simulações de muitos anos futuros, como por exemplo os modelos climáticos do IPCC.

Modelos regionais

Os modelos globais de previsão climática possuem resolução espacial da ordem de 100 a 1000 km. Entretanto, o clima regional pode ser controlado por fatores com escala espacial típica bem menor.

Os modelos regionais trabalham sobre uma área geográfica menor, podem trabalhar com uma resolução maior, o que permite levar em conta fatores locais como a topografia e a hidrografia. Apesar disto, são similares aos modelos globais, pois resolvem as mesmas equações que governam o movimento atmosférico (com uma formulação diferente) e são operacionalmente seus dependentes, utilizando, como condições de fronteira, dados obtidos de um modelo global.

Por melhor representar os processos que agem regionalmente, acredita-se que os modelos regionais podem produzir previsões de tempo e clima com maiores precisões.

Previsão por conjunto

Na modelagem atmosférica, destacam-se as previsões por conjunto (ensemble) a partir de campos observados (ou previstos) de Temperatura da superfície do mar (TSM), que consiste em realizar um conjunto de execuções do MCGA (modelo geral de circulação da atmosfera) partindo de condições iniciais ligeiramente diferentes, mantendo campo de TSM inalterados. Os membros ou séries de previsão, gerados por cada execução, são usados numa análise estatística dos resultados. Alguns estudos indicam que a média dos membros previstos apresentam melhor resultado que os membros isolados (ATGER, 2001; TAYLOR e BUIZZA, 2003).

Integração dos modelos atmosféricos e hidrológicos

Nos últimos anos, a meteorologia e a hidrologia vêm tentando compreender e preencher as lacunas existentes entre os complexos sistemas que envolvem diferentes áreas do conhecimento. Neste sentido, um grande avanço se deu no uso de sistemas acoplados de modelos atmosféricos e hidrológicos.

A limitação existente na maioria dos modelos que quantificam o escoamento é que apenas são considerados os parâmetros que influenciam a fase terrestre do ciclo hidrológico. A fase que ocorre na atmosfera é representada à parte em modelos atmosféricos. Entretanto, a disponibilidade da água depende tanto das condições físicas da superfície da terra quanto também das condições e variabilidade do clima. Além disso, a componente atmosférica traz, ao gerenciamento de recursos hídricos, a previsibilidade das chuvas, que é um grande aliado do planejamento de curto e médio e longo prazo.

Na tentativa de melhorar estas previsões, tem sido feito o acoplamento entre modelos atmosféricos e hidrológicos (MÖLDERS e RUHAAK, 2002; TUCCI et al.,

2003; CHANG et al., 2004). No acoplamento unidirecional, as informações meteorológicas, precipitação, evapotranspiração, simuladas ou previstas pelos modelos atmosféricos são usados como dados de entrada em modelos hidrológicos. Já no acoplamento bidirecional, existe uma “troca de informações” entre os modelos, sendo os processos hidrológicos também representados no modelo atmosférico, que passa a ser um modelo integrado (hidrometeorológico), ocorrendo um downscaling e um upscaling de informações. Operacionalmente, o acoplamento unidirecional permite uma maior flexibilidade e autonomia em sua aplicação, dadas as possibilidades de inserção de diferentes tipos de modelos em cada categoria.

A precipitação no Rio Grande do Sul

A precipitação na região sul do Brasil é em geral bem distribuída ao longo do ano, não possuindo uma estação chuvosa ou seca bem definida (VIANELLO, 2000). O fato de a região se caracterizar por possuir baixos índices de variabilidade pluviométrica não deve ser interpretado como uma situação constante no clima regional do Sul do Brasil, mas tão somente como uma situação de maior frequência.

Ávila et al. (1994) e Berlato et al. (1995) mostraram que não existe tendência nem no aumento nem na diminuição da precipitação pluvial anual média em todo o Estado. Existe sim, uma alta variabilidade interanual deste elemento, tornando-se o principal fator limitante às culturas de primavera-verão, as quais representam cerca de 90% da produção total de grãos do Rio Grande do Sul.

Os mecanismos responsáveis pela ocorrência de precipitação na Região Sul estão relacionados com os sistemas dinâmicos transientes e as configurações orográficas. Os sistemas frontais são primariamente responsáveis pela precipitação na região. Oliveira (1986) mostrou que em média 5 a 7 frentes frias passam pela região sul a cada mês, sendo ligeiramente maior (7 frentes frias) no inverno e ligeiramente menor no outono (5 frentes frias).

Outros sistemas que contribuem para o aumento da precipitação são os vórtices ciclônicos cavados em altos níveis, que cruzam os Andes, oriundos do Pacífico e se intensificam sobre o Sul e Sudeste do Brasil (CAVALCANTI, 1985).

Em uma escala menor, a convecção por mesoescala é responsável por precipitações intensas no Sul do Brasil (GUEDES, 1985).

Nery (1996) estudou as distribuições das precipitações no Brasil meridional (SP, PR, SC e RS) e classificou a região em função de um período úmido que vai de outubro

a março, em que as precipitações são determinadas por sistemas convectivos e outro período seco, de abril a setembro, em que as precipitações são determinadas pelos sistemas frontais.

A variabilidade anual das precipitações mensais na região Sul é bem menor que as encontradas em outras regiões do país, tais como o Nordeste Brasileiro, não possuindo assim estações secas e chuvosas bem definidas. Todavia, mesmo com uma pequena variabilidade mensal, ocorrem secas intensas e chuvas torrenciais. Entre os sistemas que influenciam as precipitações na região, destacam-se a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que possui correlação significativa e negativa com o El Niño e com as precipitações na região, os sistemas de escala subsinótica, que apresentam uma atuação complementar para a ocorrência de precipitação na região (CONRADO, 1992), os sistemas de nuvens do tipo vírgula invertida (SATYAMURTY et al., 1982) e as brisas, um dos mecanismos responsáveis pelo transporte de umidade do Oceano para o continente.

Sob o ponto de vista climatológico, o estudo dos ciclos das chuvas mostra a variação anual, sazonal e pode auxiliar na previsão de períodos secos ou chuvosos, o que é muito importante em vários setores socioeconômicos como agricultura, hidrologia e ecologia.

Influências das anomalias de TSM dos Oceanos na precipitação da América do Sul

Para se estudar a variabilidade da precipitação, deve-se considerar a influência dos Oceanos, que têm um papel determinante nos fluxos de calor sensível e umidade para a atmosfera, afetando desta forma o regime de precipitação. No Oceano Atlântico, as relações entre os padrões anômalos das temperaturas da superfície do mar (TSM) com o clima no Brasil têm sido objeto de muitas pesquisas, porém a maioria relacionada à influência do Atlântico Tropical nas precipitações do Nordeste (MOURA e SHUKLA, 1986). Embora existam poucos estudos com relação à influência do Atlântico Sul (ATLS) no clima da região Sul do Brasil, há indicações da influência de TSM do Atlântico Subtropical na variabilidade interanual das chuvas na região (STUDZINSKI, 1995).

Muitos estudos sobre as influências das anomalias de TSM nas variações da atividade convectiva têm sido feitos, bem como sobre a variabilidade de tais influências na circulação atmosférica ao redor do globo. A maioria dos trabalhos está focada nas anomalias de TSM do Oceano Pacífico, principalmente nos fenômenos El Niño e La

Niña, assim como seus efeitos na precipitação na AS. Porém, ainda não está bem claro o entendimento da influência das anomalias do Oceano Atlântico na atividade convectiva do continente sul-americano.

O Oceano Atlântico Sul tem o mais importante contraste de TSM ocorrendo no seu contorno oeste, em que águas quentes e salinas da Corrente do Brasil fluindo para o Sul encontram em aproximadamente 38° S com as águas frias e pouco salinas da Corrente das Malvinas fluindo para o norte (GIAROLLA, 1999).

Abreu e Moura (1996) promoveram simulações numéricas com um Modelo de Circulação Geral Atmosférica (MCGA) iniciados por ATSMs dos Oceanos Pacífico, Atlântico e Índico, e seus resultados indicaram que todos os Oceanos são importantes na determinação de padrões de precipitação no verão da região Sul e Sudeste (SE), porém, o Atlântico parece predominar na região SE, com uma atuação mais evidente em janeiro nos verões de 1995 e 1996, quando a ATSM é moderadamente positiva (~ 0,6° C) ao longo do Oceano Atlântico Sudoeste (ATLSW).

Diaz e Studzinski (1994) estudaram a influência das TSM do Atlântico Sul e do Pacífico Equatorial nas precipitações da região Sul do Brasil, encontrando correlação espacial entre as anomalias de TSM, principalmente para o período de outubro a dezembro, com uma maior homogeneidade na região mais ao Sul.

Diaz et al. (1998), estudando a influência dos Oceanos Atlântico Subtropical e Pacífico Equatorial Oeste sobre a precipitação no Uruguai e RS, verificaram a necessidade de incluir os dois Oceanos em todos os períodos considerados para uma melhor previsão das anomalias de precipitação, com o Atlântico subtropical exercendo uma maior influência nos períodos de outubro a dezembro e abril a julho.

Grimm et al. (1998) mostram que há uma forte relação entre os eventos El Niño e La Niña e a precipitação no Sul do Brasil. Ao analisar a variabilidade da precipitação no sul do Nordeste brasileiro, Chaves (1999) mostrou que em situações de El Niño (La Niña) tem-se um período chuvoso (seco) na região, com a ZCAS posicionando-se ao sul, na Região Sudeste.

Pezzi e Cavalcanti (1998) estudaram a influência do dipolo de TSM no Atlântico Tropical associados com situações de El Niño nas precipitações da América do Sul. Eles apresentaram resultados de um modelo de circulação geral, mostrando que na presença de um dipolo positivo (anomalias de TSM positivas no Atlântico tropical Norte e negativas no Atlântico Tropical Sul) ocorre um déficit de precipitação no

Nordeste e um excesso no Sul da América do Sul. No caso de um dipolo negativo, observa-se um regime de precipitação normal no Sul da América do Sul.

Ropelewski e Halpert (1987) investigaram a precipitação em escala global e regional e sua relação com eventos ENOS, utilizaram métodos empíricos de vetores harmônicos sobre a base de dados em 1700 estações e identificaram regiões do globo cuja precipitação é relacionada com o evento ENOS. Na América do Sul, eles verificaram que essa associação ocorreria no período da Primavera-Verão.

Outros autores, entre eles Kousky e Cavalcanti (1984), observaram que durante os eventos El Niño ocorreram precipitações excessivas no Sul do Brasil, mas no período de Inverno. Rao e Hada (1990) correlacionaram as precipitações no Brasil com o Índice de Oscilação Sul (IOS) e obtiveram valores negativos significativos para a região Sul do Brasil, no outono e primavera. Chu (1991), investigando anomalias climáticas no sul do Brasil, associadas ao ENOS, observou que nos anos de El Niño as precipitações na região Sul do Brasil tendem a ser acima do normal de abril a dezembro e de março a julho do ano seguinte, com os maiores valores em maio e junho.

Studizinski (1995) encontrou uma relação quente - chuvoso e frio - seco entre as TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico e as precipitações no Sul do Brasil. A influência do Pacífico Equatorial seria indireta através da variação interanual da posição da Zona de Convergência do Pacífico Sul e de uma anomalia ciclônica próxima à costa oeste da América do Sul.

Pezzi (1998), usando um modelo estatístico de previsão das precipitações na região Sul, tendo como preditores as TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico, obteve bons resultados principalmente durante a primavera.

Grimm e Sant'Anna (2000) relacionaram as fases extremas da Oscilação Sul com a intensidade e frequência das chuvas no Sul do Brasil e concluíram que a primavera é a estação que sofre maior influência dos eventos El Niño e La Niña, com uma maior influência do El Niño na região continental e da La Niña na região litorânea.

Grimm et al. (2000) estudaram as anomalias de circulação responsáveis por processos geradores das anomalias de precipitação em diferentes regiões do Sul da América do Sul durante eventos El Niño e La Niña e concluíram que sua conexão com as anomalias de precipitação se dá pela mudança da posição do jato subtropical e da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) com efeitos inversos durante os eventos de El Niño e La Niña. No ano de 1983, por exemplo, (forte El Niño), os jatos subtropicais mais fortes favoreceram os bloqueios atmosféricos em latitudes médias e altas e esta

situação manteve os sistemas frontais estacionados na região ocasionando precipitações muito altas no Sul do Brasil (KOUSKY e CAVALCANTI, 1984).

Marques et al. (2003) verificaram que a variabilidade espacial da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul é maior durante os eventos La Niña do que nos eventos El Niño. Durante a fase fria, os meses de abril e novembro são os de maior variação espacial; enquanto durante os eventos El Niño, os meses de maior variação são os de outubro, novembro e dezembro.

Marques et al. (2004), com o propósito de verificar a distribuição espacial de probabilidade empírica da anomalia de precipitação pluvial sobre o Estado do Rio Grande do Sul, definiram as regiões e suas relações com as fases do El Niño – Oscilação Sul. Utilizaram os totais mensais de precipitação pluvial de 40 estações meteorológicas distribuídas sobre o Rio Grande do Sul, durante o período de 1950-2000, com isso, verificaram que existe forte relação entre as fases do fenômeno e a precipitação durante a primavera.

Muitos trabalhos analisam de forma conjunta as anomalias de TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico e sua relação com a atividade convectiva na AS. Nessas análises, quando se trata de Oceano Atlântico, as áreas em destaque para o estudo das anomalias de TSM variam de um trabalho para o outro. Pezzi e Cavalcanti (1998), Souza et al. (2000), Sousa (2003), Andreoli (2007), entre outros autores, avaliam um dipolo no Atlântico Tropical entre os hemisférios Norte e Sul; porém, Diaz et al. (1998), Veiga (2000) e Silva (2001), por exemplo, não restringem suas análises apenas para a região tropical do Oceano Atlântico, mas fazem também uma análise conjunta ou isolada da região subtropical do Atlântico Sul

A região Sul também pode sofrer influências de outras regiões oceânicas como visto por Khan et al. (1998), que sugeriram que as anomalias das precipitações no Sul do Brasil são influenciadas pela região onde se encontram a corrente Circumpolar Antártica (WHITE e PETERSON, 1996) e a Zona de Convergência do Índico Sul.

3 A INFLUÊNCIA DE ÍNDICES CLIMÁTICOS NA PRECIPITAÇÃO DO SISTEMA HIDROLÓGICO DO TAIM

Cardoso, M. A. G.¹, Saldanha, C. B.¹ e Motta Marques, D.¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS/IPH

RESUMO

Os fenômenos acoplados entre oceano e atmosfera são estudados há vários anos em diversas partes do mundo. Para estudar a variabilidade das precipitações, deve-se considerar que os oceanos detêm um papel determinante nos fluxos de calor sensível e umidade para a atmosfera, afetando o regime de precipitação. Por isso, conhecer e entender a variabilidade da precipitação é muito importante, pois possibilita estimar tendências predominantes de certas anomalias, as quais podem ser manejadas para minimizar perdas e danos nos mais diversos segmentos, como no cultivo agrícola, atividade industrial, conservação de ecossistemas e até mesmo na segurança da população. A alteração da precipitação na região do Banhado do Taim/ RS pode modificar o hidroperíodo desse ecossistema, levando a mudanças significativas nas espécies, produtividade e habitat. O objetivo deste trabalho foi verificar a existência de possíveis relações entre índices conectivos e a variabilidade da precipitação no Banhado do Taim. A relação entre os índices climáticos e a precipitação foi avaliada por meio de estatísticas simples e análise multivariada. Os resultados mostram que as relações dos períodos secos e úmidos não estão unicamente e diretamente ligadas aos fenômenos El Niño e La Niña e a importância da influência da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) na precipitação. Há uma variação proporcional em relação ao sinal, mostrando uma relação direta entre o ODP e a precipitação na região. :

Palavras-chaves: Precipitação, Índices climáticos, precipitação, banhados.

ABSTRACT

The coupled phenomena between ocean and atmosphere are being studied for several years in various parts of the world. To study the variability of rainfall, one must consider what of the oceans, which have a decisive role in the fluxes of sensible heat and moisture to the atmosphere, affecting rainfall patterns. Therefore, knowing and understanding the variability of rainfall is very important because it allows estimating

the prevailing tendencies of certain anomalies, which can be managed to minimize losses and damage in several segments, as in farming, industrial activity, ecosystem conservation and even the security of the population. The change of precipitation in the region of Taim/RS wetlands can modify the hydroperiod, leading to significant changes in species, habitats and productivity. The aim of this work was to verify the existence of possible relationships between the climate of the Taim Hydrological System and the various climatic indicators with the variation of the rainfall. The relationship between the climatic indices and precipitation was evaluated by using simple and multivariate statistics. The relationships between dry and wet periods are not exclusively and directly linked to El Niño and La and the importance of the Pacific Decadal Oscillation (PDO) in precipitation. There is a proportional to the signal, showing a direct relationship between PDO and rainfall in the region

Keywords: Precipitation, climate indices, Wetlands.

INTRODUÇÃO

Conhecer e entender a variabilidade da precipitação de uma região tem suma importância, pois tal entendimento possibilita estimar tendências predominantes de certas anomalias, as quais podem ser manejadas para minimizar perdas e danos nos mais diversos segmentos, como no cultivo agrícola, atividade industrial, preservação de ecossistemas e até mesmo na segurança da população (REINKE, 2009).

A variabilidade do clima da América do Sul é associada a padrões de variação em escala planetária, estes padrões de variação estão associados ao comportamento dos oceanos Atlântico e Pacífico, pois estes possuem um papel determinante nos fluxos de calor sensível e umidade para a atmosfera, afetando o regime de precipitação (SANTOS E DINIZ, 2010).

O acoplamento entre as condições oceânicas e atmosféricas, ou a relação oceano-atmosfera tem sido alvo de muitas pesquisas, apresentando como objetivo principal compreender os impactos dessa interação na variabilidade climática terrestre.

As relações mais claras das interações entre oceano e atmosfera aparecem nos grandes eventos do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) em várias regiões do mundo (Coelho & Ambrizzi, 2000) e na região sul do Brasil (DIAZ ET AL., 1998;

GRIMM ET AL., 1998; GRIMM, 2000). No entanto, existem diversos padrões de oscilação, tantos atmosféricos como oceânicos, que variam em diferentes escalas de tempo, contribuindo também de forma diferente nas variações climáticas.

Muitos trabalhos analisam de forma conjunta as anomalias de TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico e sua relação com a atividade convectiva na América do Sul (AS). Nessas análises, quando referem-se ao Oceano Atlântico, as áreas em destaque para o estudo das anomalias de TSM variam de um trabalho para o outro. Pezzi e Cavalcanti (1998), Andreoli e kayano (2007), entre outros autores, avaliam um dipolo no Atlântico Tropical entre os hemisférios Norte e Sul; enquanto Diaz et al. (1998), Veiga (2000) e Silva (2001), por exemplo, não restringem suas análises apenas para a região tropical do Oceano Atlântico, mas fazem também uma análise conjunta ou isolada da região subtropical do Atlântico Sul.

Na escala interanual, a variabilidade no Oceano Pacífico é a principal fonte de influência para o clima de algumas regiões. Porém, este setor oceânico contém outra escala de variabilidade. Zhang et al. (1997) separaram a variabilidade temporal do Oceano Pacífico em duas componentes: uma relacionada à escala de variabilidade interanual do ciclo de El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e a outra, linearmente independente, incluindo toda a variabilidade interdecadal. De fato, anomalias de precipitação relacionadas ao ENOS em certas regiões do globo podem ser moduladas por modos climáticos de mais baixa frequência, como a variabilidade interdecadal (GERSHUNOV e BARNETT, 1998). Entre esses modos climáticos de baixa frequência, a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) que é descrita como um evento El Niño – Oscilação Sul de longa duração. (MANTUA et al., 1997).

O entendimento e conhecimento prévio dos fatores que contribuem para a variabilidade de determinados elementos climáticos, dentre eles a precipitação, são informações a serem buscadas. Acredita-se que informações regionalizadas acerca das características futuras do clima sejam de grande utilidade no processo de tomada de decisão, possibilitando nortear, entre outros, as práticas agronômicas, o gerenciamento dos recursos hídricos, no sentido de minimizar impactos de atividades climáticas e tirar proveito de situações favoráveis.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo contribuir para um melhor entendimento na variabilidade da precipitação no Banhado do Taim, estudar as relações entre os índices conectivos e a precipitação, determinando relações preditivas entre a precipitação e os índices climáticos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O Sistema Hidrológico do Taim (SHT) é uma extensa área úmida localizada no Sul do Rio Grande do Sul (Figura 3-1), compreendendo partes dos municípios de Santa Vitória do Palmar e do Rio Grande, entre as latitudes 32°20'S e 33°00' S, e as longitudes 52°20'W e 52°45'W. É limitada pela Lagoa Mirim a oeste e o Oceano Atlântico a leste. Uma descrição mais detalhada da área de estudo pode ser encontrada apresentação dessa tese.

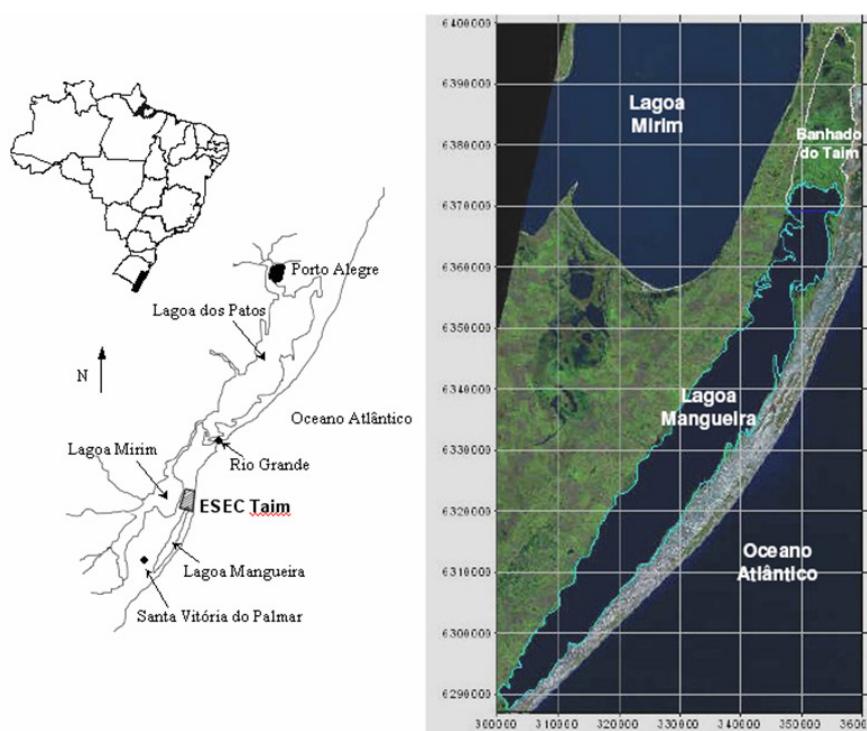


Figura 3-1- Localização do Banhado do Taim.

DADOS UTILIZADOS

Foram utilizados nesta análise dados de precipitação pluviométrica, dados de Temperatura da Superfície do Mar e dados de alguns índices climáticos.

Precipitação

Os dados de precipitação utilizados compreendem os anos de 1960 e 2005 (Tabela 3-1). As séries de dados foram obtidas junto ao Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas, ao 8º Distrito de Meteorologia (INMET),

e à ESEC-TAIM. Também foram utilizadas informações a partir de estudos anteriores na região (VILLANUEVA, 1997; IPH, 1996).

Com relação às estações meteorológicas, as séries mais longas pertencem ao 8° DISME e se encontram nos centros urbanos de Santa Vitória do Palmar e Rio Grande. Os postos instalados na zona rural, mais próximos da área do Banhado do Taim possuem séries mais curtas, dentro da ESEC-Taim existe o monitoramento da precipitação, com dados a partir de 1996.

Tabela 3-1 - Estações pluviométricas para o período de 1950 – 2007.

<i>Estação</i>	<i>Orgão</i>	<i>Código</i>	<i>coordenadas</i>	<i>Período</i>
Santa Vitória do Palmar	8° Distrito de Meteorologia		33° 31' S 53° 21' W	1950 - 2007
Rio Grande	Furg		32° 04' S 52° 10' W	1950 - 2007
ESEC- TAIM	Ibama			1960 - 2007
Granja Santa Maria (Rio Grande)	ANA	(3252008)	32°36'S 52°36'W	1965/2004
Rio Grande	ANA	(3252020)	32° 02' S 52° 06' W	1961/1998
Granja Osório (Santa Vitória do Palmar)	ANA	(3253003)	32° 57' S 53° 09' W	1966/ 2008

Para a determinação da precipitação média, foram utilizados 3 postos, identificados pelos códigos 3252008 (região média da área do Taim), 3253003 (região sul) e 3252020 (região norte). A precipitação mensal foi determinada considerando um peso de 50% para o posto correspondente à porção média e 25% para os postos correspondentes à região norte e 25 % à região sul. As falhas do posto 3252008 foram preenchidas utilizando o posto da ESEC-TAIM, as falhas do posto 3253003 foram preenchidas utilizando dados da estação Santa Vitória do Palmar e as falhas do posto 3252020 foram preenchidas utilizando dados da estação Rio Grande. Este método de

determinação por pesos foi adotado por já ter sido utilizado em estudos anteriores (VILLANUEVA, 1996; TASSI, 2007).

Temperatura da Superfície do Mar

Os dados de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) das regiões dos Niños e Oceano Atlântico (ATL) foram obtidos no NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), através do site <http://www.cdc.noaa.gov/>

Os dados cobrem o período de 1960 a 2005. Na análise, foram utilizados dados de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Atlântico e alguns índices de variabilidade climática, listados na Tabela 3-2, e descritos no capítulo 1.

Tabela 3-2 - Parâmetros de variabilidade climática.

<i>Parâmetros</i>	<i>Sigla</i>	<i>Parâmetros</i>	<i>Sigla</i>
Índice de Oscilação Sul	SOI	Atlântico Tropical	TATL
Oscilação Decadal do Pacífico	PDO	TSM do Centro Leste do Pacífico Leste	Niño 3.4
Oscilação do Atlântico Norte	NAO	TSM do Extremo Leste do Pacífico	Niño 1.2
Oscilação do Atlântico Norte	NAO-Jones	TSM do Leste do Pacífico	Niño 3
Atlantico Norte	NATL	TSM do Pacífico Tropical Central	Niño 4
Atlântico Sul	SATL		

METODOLOGIA

Análise da precipitação

A análise da precipitação e da sua variabilidade é realizada comparando os dados de precipitação e alguns índices climáticos.

Os dados de precipitação, a priori, foram investigados visando à identificação dos meses, estações e anos com precipitação extrema na área do Sistema Hidrológico do Taim e análise da variabilidade interanual da precipitação. A partir dos dados de precipitação, foram calculadas as médias mensais e médias sazonais de precipitação para cada ano e efetuada uma classificação em ordem crescente dos valores.

Posteriormente, os valores foram classificados segundo a técnica dos quartis, em secos, úmidos e normais. A série de precipitação foi dividida em quatro blocos: 25% dos dados estarão entre o valor mínimo e o limiar do primeiro quartil (mês seco); 25% entre o limiar do primeiro quartil e a mediana (mês normal); 25% entre a mediana e o

limiar do terceiro quartil (mês normal); e os outros 25% dos dados daquele mês, acima do limiar do terceiro quartil (mês úmido). Esta separação permitiu a análise da variabilidade interanual da precipitação para cada estação do ano e também destaca para cada estação, os anos de máximo e mínimo quartil, ou seja, os anos inseridos nas classificações chuvosa e seca, respectivamente.

Para identificar as fases do ENOS, foi utilizado o critério empírico apresentado em Trenberth (1997). Ele sugeriu que o El Niño pode ser identificado pelo cálculo da média móvel de 5 meses das Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar (ATSM) na região do Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°W-170°W, Figura 3-2). Assim, o ano é classificado como ano de El Niño se apresentar no mínimo 6 meses consecutivos com ATSM maior a 0,4 °C. Primeiramente, calcularam-se as médias mensais de ATSM para a área limitada em 4°N, 4°S, 90°W e 150°W. Posteriormente, obteve-se uma série mensal suavizada pelas médias móveis de cinco meses de ATSM mensais. Finalmente, nesta série foram classificados como anos de El Niño aqueles que apresentaram pelo menos 6 meses consecutivos com ATSM maior ou igual a + 0,5 °C e como ano de la Niña aqueles que apresentaram pelo menos 6 meses consecutivos com ATSM menor ou igual a - 0,5 °C. Os anos complementares foram considerados neutros em termos do ENOS. Será usado o termo “NEUTROS” para se referir a estes anos.

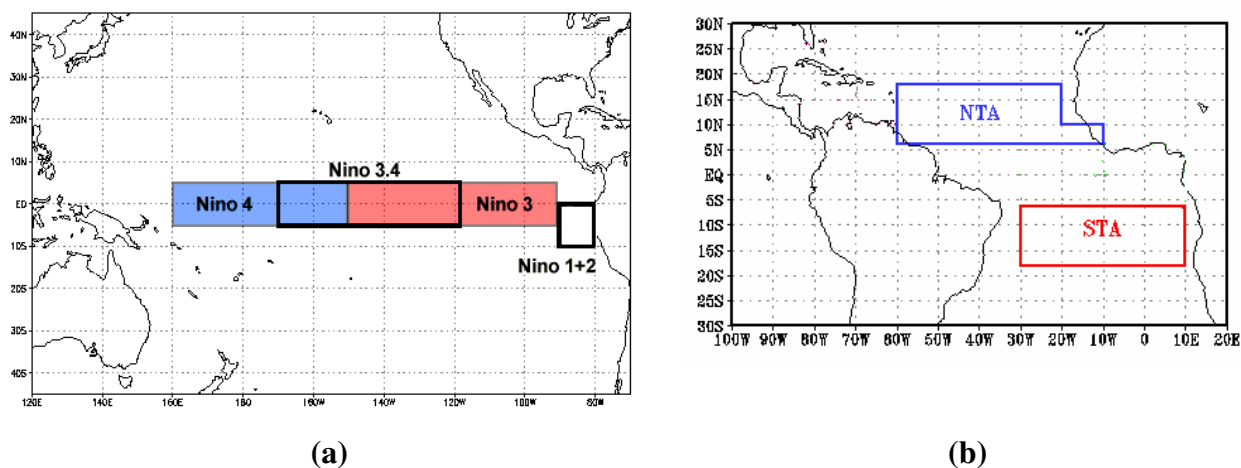


Figura 3-2 - a) Localização da região dos Niños; b) As regiões do Oceano Atlântico.

Fonte: NOAA

As características atmosféricas e os padrões de teleconexões foram investigados como contribuintes para os eventos mensais e sazonais de precipitação extrema na região através o coeficiente de correlação (Equação 1). A correlação simples e defasada,

da precipitação trimestral dos meses de outubro, novembro e dezembro, que corresponde ao (OND) final da primavera e início do verão, com alguns índices climáticos trimestrais, pretendendo verificar a variação temporal das relações entre os índices climáticos e a precipitação.

$$R = \frac{n\Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{\sqrt{n(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2} \sqrt{n(\Sigma Y^2) - (\Sigma Y)^2}} \quad (1)$$

Onde:

n é o número de pares de valores (X,Y) observados.

Para obter uma medida mais subjetiva da influência dos diferentes índices climáticos sobre a série temporal de precipitação na região do banhado do Taim, foi aplicada a Análise de Componentes Principais (ACP), que é uma técnica estatística de análise multivariada baseada fundamentalmente em operações de matrizes. A ACP é uma técnica de redução de dados que é utilizado para identificar um pequeno conjunto de variáveis que explicam uma grande parte da variabilidade da série originais.

Esta técnica é útil para identificação objetiva dos modos de variabilidade de observações atmosféricas e oceânicas (KUTZBACH, 1967; WARD & FOLLAND, 1991; KOUSKY & KAYANO, 1994, LOPES, 2006; SOPPA, 2007; ZILLI, 2008; TEDESCHI, 2008). A ACP busca, por meio de transformações lineares, descrever a inter-relação das variáveis em estudo, explicando a estrutura de interdependência dessas transformações, criando, assim, um novo conjunto com o número de variáveis inferior ao conjunto original.

O método de Análise por Componente Principal procura encontrar um novo conjunto de variáveis que retenham o máximo de variância, através de uma combinação linear dos dados originais (WILKS, 1995). A estimativa das componentes principais é desenvolvida pela informação contida na matriz de covariância dos dados. Para a aplicação da técnica é necessária uma padronização dos dados para que toda a série fique com a mesma grandeza de valores. Neste caso, foram calculadas as anomalias de cada uma das variáveis. O passo posterior é obter os autovetores e os autovalores. Os autovetores são valores que representam os pesos de cada uma das variáveis em cada componente (eixos) e funcionam como coeficientes de correlação variando entre -1 e 1.

Os autovalores representam a contribuição relativa de cada componente para explicar a variação total dos dados (GOMES et al., 2004).

O resultado da análise são autovalores (ou seja, as variâncias das componentes principais) e a proporção da variância total explicada por cada componente principal. Como resultado da ACP é construído o denominado “biplot”, onde cada variável é representada como um vetor, onde a direção e comprimento do vetor indicam quanto cada variável contribui para cada componente principal. O co-seno do ângulo entre os vetores é uma aproximação da correlação entre as variáveis.

O número de eixos ou componentes podem se igualar ao número de variáveis, porém os eixos posteriores vão contribuir cada vez menos para explicar os dados (KENT & COKER, 1992). O método possibilita também a análise de dependência entre as diversas variáveis, ou ainda entre as diversas regiões do domínio de interesse. Mais detalhes sobre este método podem ser obtidos em Richman (1986) e Jackson (1991).

Neste trabalho, a Análise das Componentes Principais (ACP), é empregada para determinar os modos dominantes das anomalias dos índices climáticos e a precipitação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição temporal da precipitação anual climatológica (1960-2005) para a ESEC-TAIM é mostrada na Figura 3-3.

A região Sul do Brasil possui uma baixa variabilidade anual e interanual das precipitações quando comparada a outras regiões do país (RATISBONA, 1976; CONRADO, 1992).

As precipitações médias mensais na região são bem distribuídas, com baixa variabilidade ao longo do ano, não havendo um ciclo anual bem definido. Isto deve estar associado à sua localização mais austral e à frequente passagem de ondas baroclínicas e ao desenvolvimento de ciclones extratropicais. A precipitação média anual fica em torno de 1253 mm, os maiores valores de precipitação ocorrem de junho a setembro.

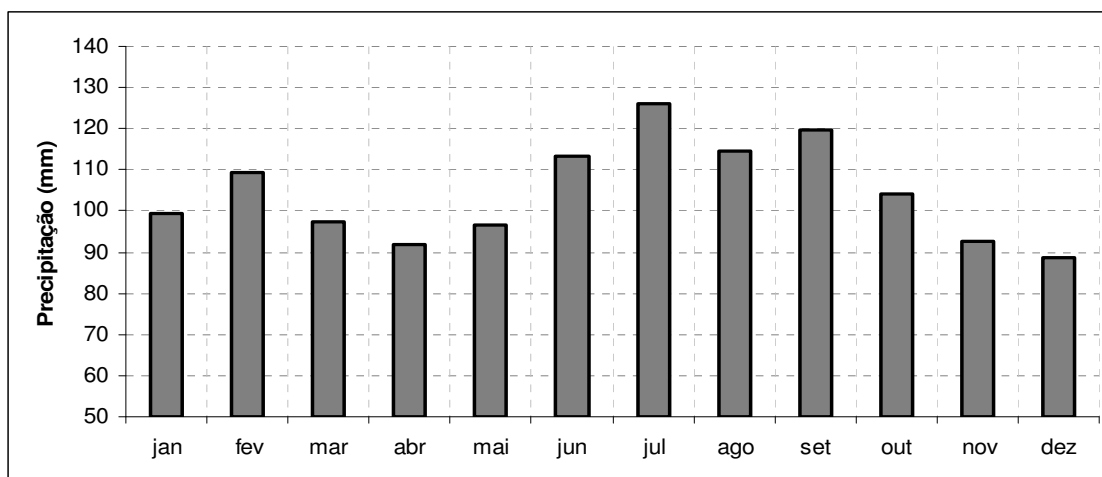


Figura 3-3 - Climatologia da precipitação (mm) para a região ESEC- Taim, para o período de 1960 a 2005.

Sazonalmente, o inverno é a estação mais chuvosa, com 28% da precipitação, e a estação menos chuvosa é o verão, com 21% do total de precipitação (Figura 3-4).

Observa-se o máximo de precipitação durante o inverno, provavelmente devido ao aumento da frequência mensal de entrada das frentes frias, que chegam a valores entre 5 e 7 eventos por mês, segundo Oliveira (1986).

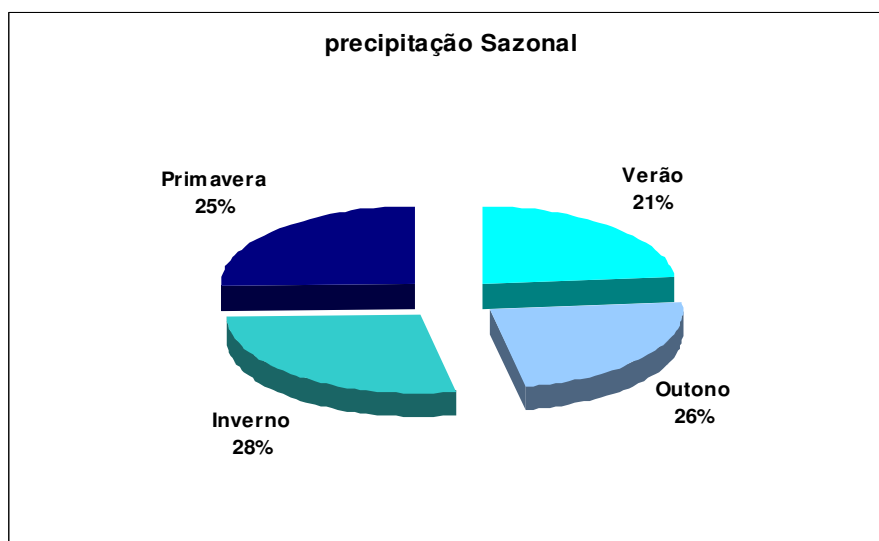


Figura 3-4 - Precipitação sazonal para a região ESEC- Taim.

Considerando a análise dos quartis para identificar os anos secos e chuvosos, no período de 46 anos, observa-se que o ano mais seco e mais chuvoso foram 1989 e 2002,

respectivamente. Do período analisado, ocorreram 12 anos com precipitação abaixo do 1º quartil, 12 anos acima do 3º quartil e 22 anos entre estes quartis (Figura 3-5).

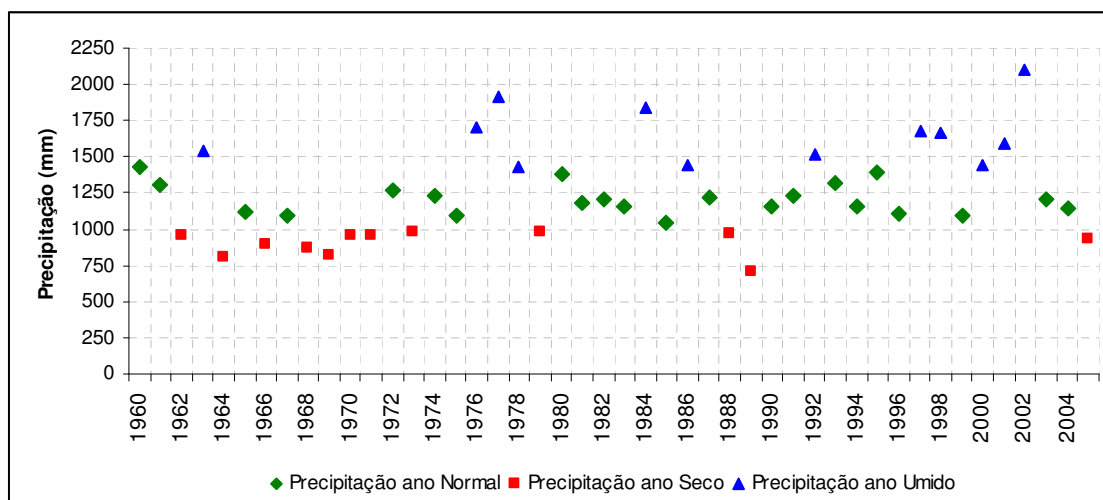


Figura 3-5 - Anos com precipitação extrema na região ESEC- Taim.

Na Figura 3-6, é representado o total anual de precipitação separado por estação (verão, outono, inverno e primavera). Nos 46 anos analisados, no verão e no outono ocorreram anos com precipitação normal em 50% do período; em 23,9 % ocorreram períodos considerados úmidos e em 26% do período ocorreram períodos considerados secos. Para o inverno e primavera, na mesma série de dados, em 47,8 % do período ocorreram períodos com precipitação normal, 26,1% dos anos foram considerados anos secos; e 26,1%, anos úmidos.

Apesar dessa aparente proporção, a distribuição temporal varia de estação para estação. Analisando somente os períodos secos e úmidos, (Figura 3-6a e 3-6b) observa-se que no verão e outono na década de 60 não ocorreram períodos úmidos. Essa variabilidade da distribuição da precipitação pode ser associada a um fenômeno atmosférico-oceânico de grande escala como a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), que possui uma fase positiva (1977-2000) e uma fase negativa (1947- 1976 / 2001-atual).

Na análise dos períodos secos e úmidos nas estações do ano com as fases da ODP, verificamos que na fase positiva da ODP ocorreram mais períodos úmidos no verão do que períodos secos. Na fase negativa da ODP, ocorreram mais períodos secos no verão do que períodos úmidos, estando de acordo com Streck et al (2009) que analisou a

relação entre a precipitação, a ODP e El Niño Oscilação Sul (ENOS) em Santa Maria/RS.

Hidalgo & Dracup (2003) mostraram que a precipitação na Bacia do Rio Colorado (EUA), região onde a chuva é afetada pelo ENOS, é afetada também pela fase em que a ODP se encontra, de modo que a precipitação foi menor entre 1946-1976 (fase fria da ODP) do que entre 1977-1998 (fase quente da ODP).

Ainda na análise da Figura 3.6d, e considerando as fases da ODP, verifica-se que para a primavera, na fase negativa da ODP ocorrem mais períodos secos e na fase positiva ocorrem mais períodos úmidos. No outono o comportamento é semelhante ao do verão e primavera, e no inverno o comportamento é um pouco diferenciado: na fase negativa da ODP o número de anos secos e úmidos são iguais, mas na fase positiva ocorre mais anos úmidos do que secos, o que está de acordo com Rebello et al (2006).

Kayano & Andreoli (2006) mostraram que a precipitação de verão na América do Sul é afetada pelo ENOS e pela ODP, e que o sinal do ENOS sobre a precipitação é fortalecido quando o ENOS e a ODP estão na mesma fase e enfraquecido quando estão em fases opostas.

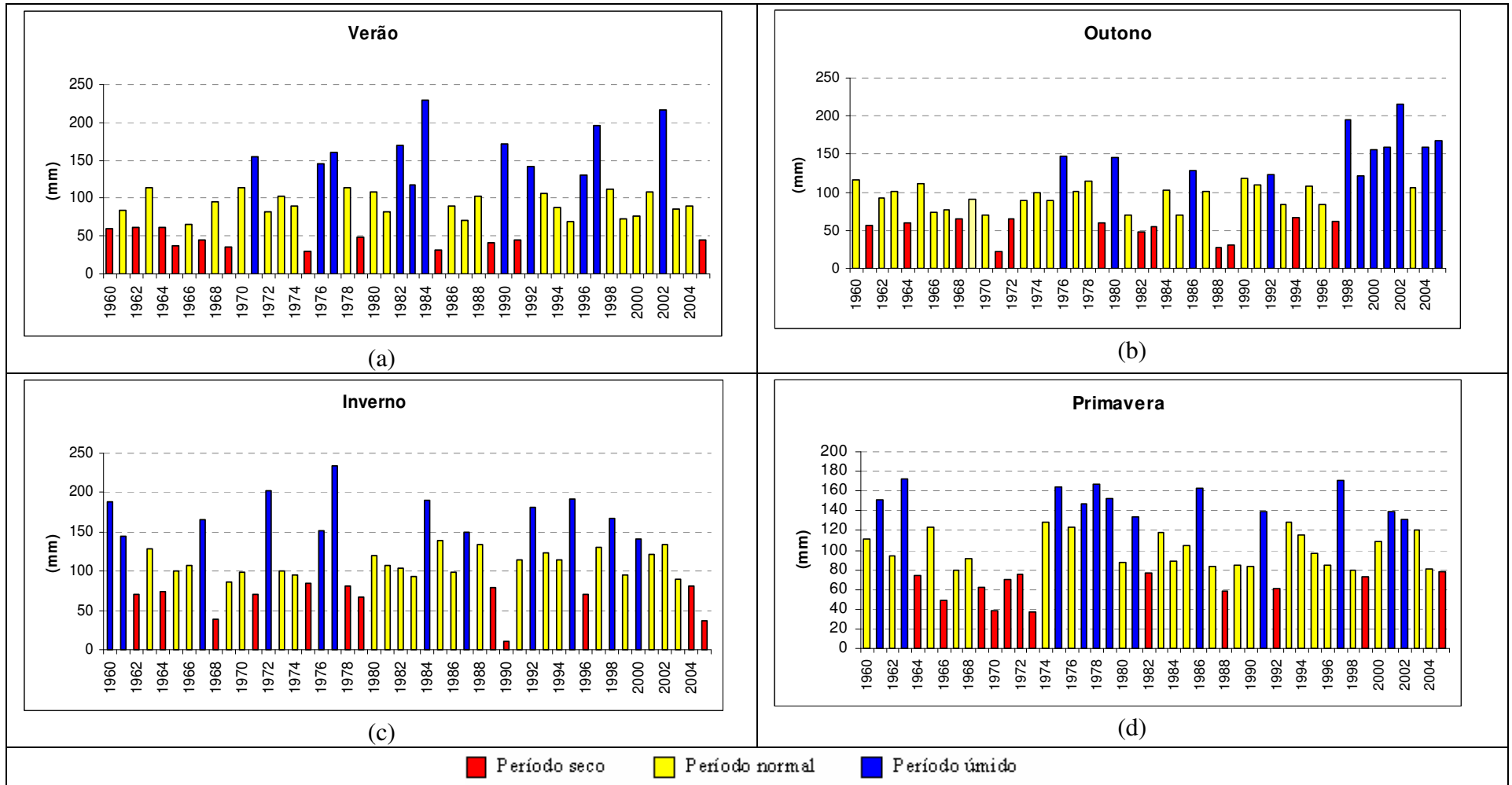


Figura 3-6 - Total pluviométrico trimestral (mm) médio na região ESEC- Taim para cada ano: a) primavera; b) verão; c) outono e d) inverno.

Com o intuito de compreender melhor a variabilidade da precipitação, a Tabela 3-3 mostra a composição de Anomalia de temperatura da superfície do mar (ATSM) para os anos de El Niño, La Niña e NEUTROS com ocorrência de períodos secos, normais e chuvosos, durante as duas fases da ODP, obtidas através das médias das anomalias mensais.

Analisando a Tabela 3-3, observa-se que durante a ODP (+) ocorreram 9 eventos El Niño, mas em apenas 3 eventos houve coincidência de a precipitação estar acima da normal: 1 evento com precipitação abaixo da normal e 5 eventos com precipitação dentro da normal. É notável a predominância, nos episódios de El Niño, de condições normais de precipitação durante a fase positiva da ODP. Ainda na fase ODP (+), ocorreram 4 episódios de La Niña: 1 período concordando com o período seco, 2 com o chuvoso e 1 com período normal de precipitação. É interessante notar que durante a fase ODP (+) ocorreram 11 eventos neutros, sendo 7 com precipitação dentro da normal.

Na fase de ODP (-), ocorreram 10 eventos de El Niño, 8 de La Niña e 4 eventos neutros. Dos eventos El Niño, houve uma distribuição igual em períodos secos, chuvosos e normais. Já durante os eventos La Niña, houve uma predominância de períodos secos (4): no total, 40,9% foram anos secos e 18% foram anos úmidos.

A análise quantitativa da Tabela 3-3 sugere que na ODP(+) há uma maior tendência de ocorrerem episódios de neutros (45,8%), enquanto na ODP(-), há uma tendência de ocorrer mais eventos de El Niño (45,4%) e períodos com anos secos (40,9%).

Na ausência de eventos extremos de ENOS, é interessante notar que durante a ODP (+) não só a quantidade de anos neutros foi superior, mas também o número de anos com precipitação dentro da normal.

Durante as fases quente e fria da ODP, o ENOS também se manifesta, ou seja, as anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) do ENOS são flutuações anuais dentro da ODP. Durante a fase fria da ODP, os eventos de La Niña são mais fortes e os de El Niño, mais fracos, enquanto na fase quente da ODP os eventos de La Niña são mais fracos e os de El Niño são mais fortes, ou seja, quando o ENOS e a ODP estão em fase, acentuam-se as anomalias de precipitação (Silva, 2006; Kayano & Andreoli, 2006).

Tabela 3-3 - Anos com períodos secos, normais e chuvosos associados às fases do ENOS e da ODP.

<i>Fases da ODP</i>	<i>Fases ENOS</i>	Períodos de precipitação		
		Seco	Chuvoso	Normal
				1994, 1982,
	El Niño	1979	1986, 1997,1978	1987, 1991, 1993
Fase Positiva (1977-2000)	La Niña	1988	1984, 2000	1999
	Neutro		1992, 1998, 1977	1985, 1996, 1983, 1990, 1981, 1980, 1995
	El Niño	1969, 1968, 2005	1963, 1976, 2002	1965, 1972, 2004, 2003
Fase Negativa (1947-1976 / 2001- Atual)	La Niña	1964, 1971, 1970, 1973,	2001	1967, 1975, 1961
	Neutro	1966, 1962		1974, 1960

Com o intuito de compreender o comportamento da precipitação e estudar a influência das anomalias mensais da temperatura da superfície do mar (TSM) na precipitação mensal da Região do Banhado do Taim, utilizaram-se correlações simultâneas e defasadas, feitas entre a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) trimestral acumulada (OND, JAS, JJA, MJJ, AMJ, MAM, FMA) dos Oceanos Pacífico e Atlântico e alguns índices climáticos, e a precipitação acumulada no trimestre (OND), para identificar em qual período os índices climáticos ou a TSM exerceram maior influência na precipitação (Tabela 3-4).

A escolha do período de precipitação acumulada OND se deve por estes apresentarem os menores valores de precipitação (Figura 3-3) e também por ser o período de começo da irrigação das lavouras de arroz, localizadas a oeste da lagoa Mangueira.

Tabela 3-4 - Correlação entre os índices climáticos e precipitação anual na região ESEC-Taim.

Trimestres	OND	SON	ASO	JAS	JJA	MJJ	AMJ
PDO	0,573	0,971	0,981	0,942	-0,439	0,553	0,677
SOI	-0,223	0,643	-0,407	-0,357	-0,296	0,545	-0,005
NATL	-0,957	-0,617	-0,889	-0,992	-0,791	0,918	1,000
SATL	-0,979	-0,490	0,174	-0,999	-0,618	0,966	0,699
TATL	-0,510	-0,955	-0,786	0,547	0,996	0,505	0,941
NÃO	-0,921	0,321	0,831	-0,222	-0,556	-0,860	-0,606
NÃO-JONES	-0,944	-0,761	0,952	0,480	-0,989	-0,785	-0,874
NINO 3	-0,590	-0,745	0,133	0,831	0,988	-0,887	-0,062
NINO 3.4	0,049	-0,932	0,187	0,839	0,975	-0,927	-0,581
NINO 4	0,268	-1,000	-0,527	0,994	-0,469	-0,872	-0,999
NINO 1+2	-0,909	0,146	-0,842	-0,984	-0,742	0,953	0,993

A Tabela 3-4 mostra a existência de correlações significativas entre a precipitação e alguns índices climáticos, ou seja, eles modulam a precipitação como mostram alguns estudos (DIAZ e STUDZINSKI, 1994; GRIMM, 2004; ANDREOLI e KAYANO, 2006; GRIMM, PAL e GIORGI, 2007).

A Tabela 3-4 mostra a correlação entre a precipitação acumulada do trimestre OND e alguns índices climáticos, com e sem defasagem temporal, o trimestre JAS apresentou correlações altas em quase todos os índices analisados, com exceção dos índices SOI, NAO e NAO-JONES.

Para obter uma medida mais subjetiva da influência dos diferentes índices climáticos sobre a série temporal da precipitação, foi aplicada uma análise de Componentes Principais (ACP).

Na Figura 3-7, foram plotados o resultados da análise das componentes principais. Por meio dela, fica identificado que a série de Niño 3.4 foi a que teve maior correlação com a série de precipitação do Taim, ao mesmo tempo que explica a maior variância na primeira componente. A primeira componente representa as principais influências da precipitação para o Banhado do Taim, confirmando a influência na região do Niño 3.4, Niño3 e Niño 4, concordando com diversos trabalhos descritos na literatura (ARAÚJO & DINIZ, 2004; BAPTISTA & BERLATO, 2003; SASIGOLO *et. al.*, 2004; CASA & OVANDO, 2006; TEDESCHI, 2008). E também mostra que a precipitação varia no mesmo sentido com os

índices climáticos escolhidos, ou seja, quando a precipitação apresenta sinal positivo, os índices apresentam o mesmo sinal. A ODP explicou uma parte considerável da variância total no primeiro modo e teve um desempenho muito bom no segundo modo, variando, proporcionalmente, em relação ao sinal, mostrando uma relação entre o PDO e a precipitação na região: quando a precipitação é baixa, o sinal da PDO também é baixo e quando há um aumento no sinal da precipitação, há um aumento no índice PDO.

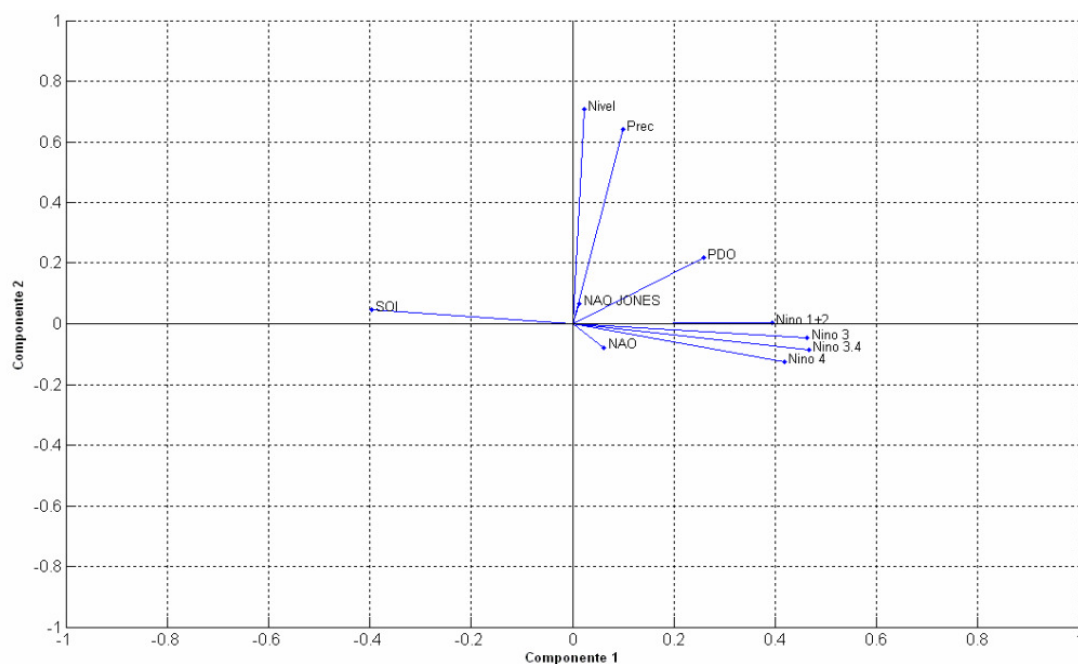


Figura 3-7 - Componentes principais dos índices analisados e da série de precipitação.

A análise das Figuras 3- 8 e 3-9 mostram que a maioria dos picos de precipitação extrema na região do sistema hidrológico do Taim acompanha a queda ou aumento do índice Niños nas regiões 1+2, 3, 4, 3.4 e ODP sugerindo uma relação entre a precipitação baixa e alta com um aumento ou diminuição dos índices.

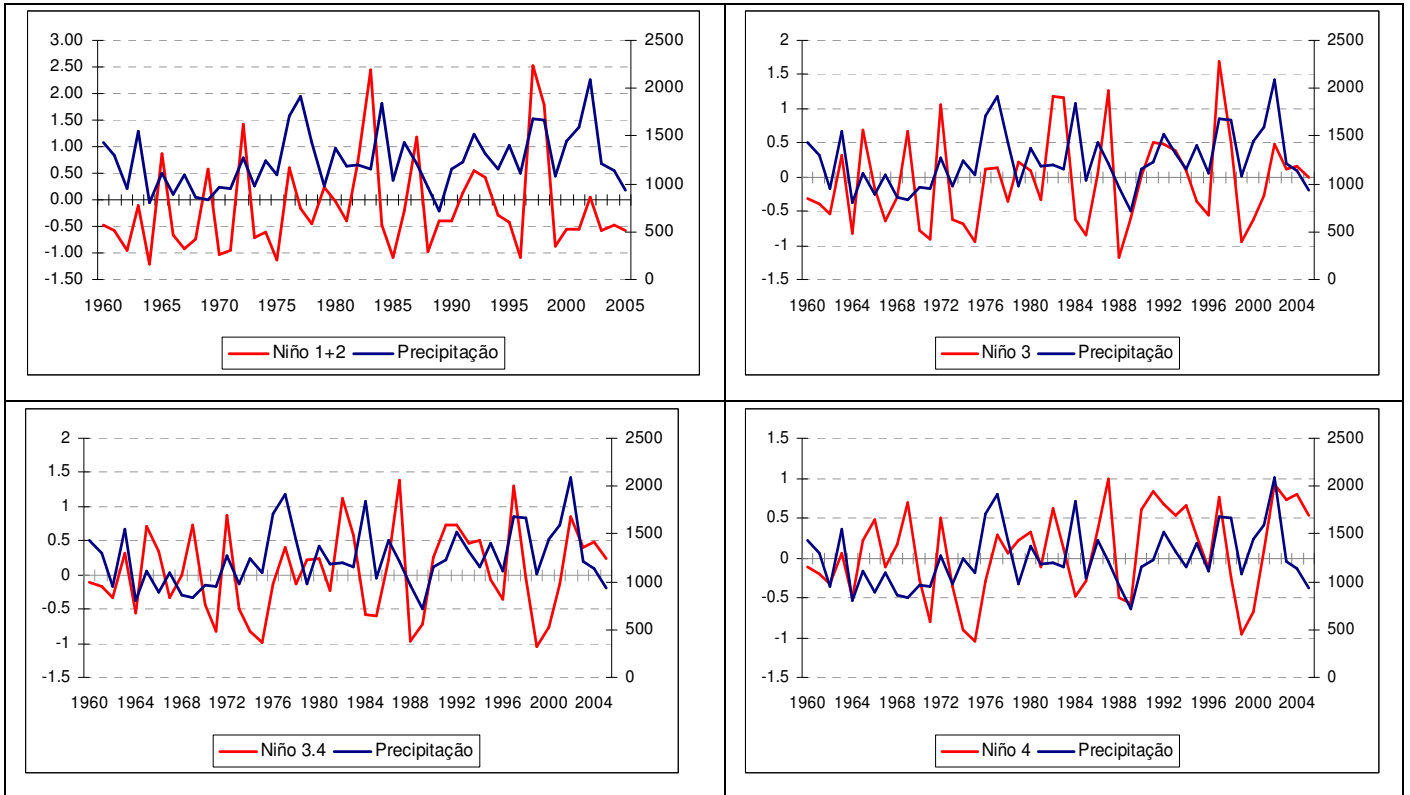


Figura 3-8 - Comparação entre séries de precipitação média anual no Banhado do Taim e série de valores médios anuais dos ENOS para as regiões Niño 1+2, Niño 3, Niño 4 e Niño 3.4.

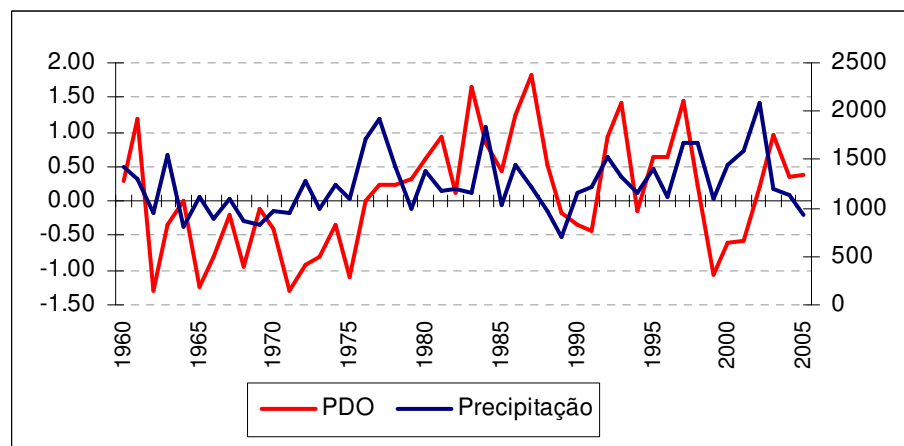


Figura 3-9 - Comparação entre série de precipitação média anual no Banhado do Taim e série de valores médios anuais do PDO.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância de considerar a influência dos dois Oceanos nas precipitações da região Sul do Brasil já foi descrita por alguns autores na literatura (DIAZ et al, 1998; UVO et al.,

1988). Para visualizar a relação entre as TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico nas precipitações mensais do Banhado do Taim, foram utilizadas técnicas estatísticas.

A relação entre os índices climáticos (ENOS e ODP) e a precipitação no Banhado do Taim foi avaliada por estatísticas simples e multivariadas. As relações dos períodos secos e úmidos não estão única e diretamente ligadas aos fenômenos El Niño e La Niña, sendo que em anos de El Niño ocorreu estiagem e em anos de La Niña ocorreram períodos mais chuvosos. Diante dos resultados conclui-se que a ODP e ENOS interferem na precipitação.

Das regiões onde existe o monitoramento da temperatura da superfície do mar, a região do Niño 3.4 foi a que apresentou um padrão significativo através da análise multivariada no primeiro modo; no segundo modo, o índice PDO foi o que explicou a maior variância.

Os resultados apresentados anteriormente mostram que existem teleconexões entre alguns índices climáticos e a precipitação no Sistema Hidrológico do Taim, com diferentes intensidades e escalas temporais. Reforça-se assim a importância do monitoramento da temperatura da superfície do mar, que pode auxiliar em uma possível previsão de precipitação no Banhado do Taim.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreoli, R. V.; Kayano, M. T. 2007. A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.22, n.1, p.63-74.
- Araújo, S. B.; Diniz, G. B. 2004. Relação entre o evento El Niño e o número de dias de chuva na região de Pelotas - RS. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Fortaleza: SBMet, CPC-0101. 1 CD-ROM.
- Baptista, R. L.; Berlato, M. A. 2003. Impacto do El Niño e La Niña no rendimento de feijão safra do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Santa Maria. Anais. SBA, p. 597-598.
- Casa, A. C.; Ovando, G. G. 2006. Influencia de Episódios El Niño - Oscilación Sur (ENOS) sobre la Precipitación y el Rendimiento de Maíz em la Provincia de Córdoba, Argentina. *Agricultura Técnica (Chile)*. V: 66. p: 80-89.
- Coelho, C. A. S.; Ambrizzi, T. 2000. Determinação dos padrões de precipitação sobre a América do Sul em associação a TSM da Bacia do Pacífico Equatorial durante períodos extremos... In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. Rio de Janeiro. SBmet., CL-00003 1 CD-ROM.
- Conrado, H. 1992. Estudo sinótico de períodos deficientes de chuvas no Rio Grande do Sul. 146p. (INPE-5456-TDL/498). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- Diaz A. F.; Studzinski, C. D. 1994. Rainfall anomalies in the Uruguay-Southern Brazil region related to SST in Pacific and Atlantic oceans using canonical correlation analysis. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia 8., e Congresso Latino - Americano de Meteorologia, 2., Belo Horizonte, Anais. São José dos Campos: INPE, v.1, p. 498-501.

- Diaz A. F.; Studzinski, C. D.; Mechoso, C. R. 1998. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic oceans. *Journal of Climate*, v. 11, n. 2, p. 251-171.
- Gershunov A, Barnett, T.P. 1998. Interdecadal modulation of ENSO teleconnections. *Bull. Amer. Meteorol. oc.*, 79: 2715–2725.
- Gomes, J.B.V.; Curi, N.; Motta, P.E.F.; Ker, J.C.; Marques, J.J.G.S.M.; Schulze, D.G. 2004. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 1, p. 137-153.
- Grimm, A.M.; Pal, J.; Giorgi, F. 2007. Connections between spring conditions and peak summer monsoon rainfall in South America: role of soil moisture, surface temperature and topography in eastern Brazil. *Journal of Climate*. V.20, n. 24, p. 5929-5945.
- Grimm, A.M. 2004. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? *Climate Dynamics*, v. 22, n. 2-3, p. 123-138.
- Grimm, A. M. et al. 1998. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, Boston, v.11, n.11, p. 2863-2880,
- Grimm, A. M. et al. 2000. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, Boston, v.13, n.1, p. 35-58.
- Hidalgo, H.G.; Dracup, J.A. 2003. ENSO and PDO effects on hydroclimatic variations of the upper Colorado River basin. *Journal of Hydrometeorology*, v.4, p.5-23.
- Jackson, J. E., *A User's Guide to Principal Components*, John Wiley and Sons, Inc., 1991, p. 592.
- IPH, 1996. *Comportamento Hidrológico do Banhado do Taim. Volume I - Relatório e anexos C, D, F, G e H. I.* Instituto de Pesquisas Hidráulica, UFRGS. Porto Alegre. 166 p.
- Kayano, M.T.; Andreoli, R.V. 2006. Relations of South American summer rainfall interannual variations with the Pacific Decadal Oscillation. *International Journal of Climatology*, v.27, p.531-540.
- Kent, M.; Coker, P. 1992. *Vegetation description and analysis*. Baffins Lane, John Wiley & Sons, 363p.
- Kousky, V. E; Kayano, M. T. 1994. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. *J. Climate*, 7, 1131-1143.
- Kutzbach J. E. 1967. Empirical eigenvectors of sea-level pressure, surface temperature and precipitation complexes over North America. *J. Applied Meteor.*, 6: 791–802.
- Lopes, F. Z. 2006. *Relação entre o MEI (Mukltivariate enso index) e a precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pelotas – Departamento de Meteorologia. Pelotas – RS 159 p.*
- Mantua, N. J.; Hare, S. R.; Zhang, Y.; Wallace, J. M.; Francis, R. C. A 1997. Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 78, n. 6, p. 1069-1079.
- Oliveira, A. S. 1986. *Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia. São José dos Campos. 139p. (INPE-4008-TDL/239). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.*
- Pezzi, L. P.; Cavalcanti, I. F. A. 1998. *Precipitação sobre a América do Sul para uma situação de El Niño conjugada com dipolo positivo e negativo de TSM no Atlântico em simulações com o MCG CPTEC/COLA. [CD ROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia. Brasília, Anais. São José dos Campos: INPE.*
- Ratisbona, C. R. 1976. The climate of Brasil. In: Schwerdtfeger, W. ed. *Climates of Central and South America*. Elsevier, Amsterdam. p. 219-293, *World Survey of Climatology*, v. 12.
- Reinke, G. L. 2009. *Padrões de anomalias da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico associados à Radiação de Onda Longa na América do Sul e à precipitação no*

- Brasil. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.
- Richman, M. B. 1986. Rotation of principal components. *Journal of Climatology*, v. 6, n.3, p.293-335.
- Sansigolo, C. A.; Pereira, C. S. & Silva, I. R. 2004. Relações entre as precipitações regionais no Sul do Brasil e as temperaturas das superfícies dos Oceanos Atlântico e Pacífico. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Rio de Janeiro, 19 (1): 5-11.
- Santos, E. B.; Diniz, G. B. 2010. Relação entre a precipitação pluvial no Rio Grande do Sul e a Temperatura da Superfície do Mar do Oceano Atlântico. XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Belém - PA
- Silva, I. R. 2001. Variabilidade sazonal e interanual das precipitações na região Sul do Brasil associadas às temperaturas dos oceanos Atlântico e Pacífico. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. p. 90.
- Silva, L.F. 2006. Precipitação do norte do Nordeste Brasileiro e padrões de temperatura da superfície e pressão ao nível do mar: relações com as fases do El Niño Oscilação Sul e Oscilação Decadal do Pacífico. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 95p.
- Soppa, M. A. 2007. Caracterização da variabilidade climática nos ecossistemas recifais brasileiros e sua relação com a biodiversidade de corais. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos- SP. 209 p.
- Tassi, R. 2007. Gerenciamento hidroambiental de terras úmidas. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. P: 257
- Tedeschi, R. G. 2008. Impacto de episódios el niño e la niña sobre a frequência de eventos extremos de precipitação e vazão na América do Sul. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos. p:159 – Curitiba.
- Trenberth, K. E., 1997: Using atmospheric budgets as a constraint on surface fluxes. *J. Climate*, 10, 2796–2809.
- Veiga, J. A. P. 2000. A influência das TSMS dos oceanos Pacífico e Atlântico nas chuvas de monção da América do Sul. Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 132p.
- Villanueva, A.O. N. 1997. Simulação de áreas de inundação dinâmicas: canais compostos e wetlands. Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 125 p.
- Zhang, Y.; Wallace, J. M.; Battist, D. 1997. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93. *Journal of Climate*, v. 10, n. 5, p. 1004-1020.
- Ward M. N & Folland C. K. 1991. Prediction of seasonal rainfall in the north nordeste of Brazil using eigenvectors of sea-surface temperature. *Int. J. Climatol.*, 11: 711–743.
- Wilks, D.S. 1995: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: an introduction*. International Geophysics Series, Academic Press, v. 59, 464 p.
- Zilli, M. T. 2008. Variabilidade interanual da precipitação de primavera e verão na América do Sul, suas interconexões e seu impacto nos principais aproveitamentos hidrelétricos brasileiros. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. 213 p - Curitiba, PR.

4 VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DAS PREVISÕES CLIMÁTICAS DE PRECIPITAÇÃO PARA REGIÕES SUBTROPICAIS: ESTUDO DE CASO BANHADO DO TAIM

Maria Angélica Gonçalves Cardoso.¹; Saldanha, C. B.¹; e David da Motta Marques.¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas.

RESUMO

Os avanços das previsões meteorológicas, aliadas à previsibilidade climática sazonal, estimulam cada vez mais o acoplamento entre modelos meteorológicos e hidrológicos. Para avaliar a qualidade das previsões de precipitação e sua aplicabilidade na modelagem hidrológica, foram comparadas séries geradas por sete simulações climáticas, conduzidas com o uso de três diferentes modelos de previsão climática, com as séries de precipitações observadas para a região do Banhado do Taim. Tais resultados, quando avaliados em escala mensal, mostram que há uma boa correlação entre as séries, justificando a aplicabilidade de previsões meteorológicas na modelagem hidrológica.

Palavras-chaves: Previsão climática, precipitação, modelo global.

ABSTRACT

Advances in weather forecasting, together with seasonal climate predictability, encourage more engagement between meteorological and hydrological models. To assess the quality of rainfall forecasts and its applicability in hydrologic modeling, they were compared for seven climate simulations using three different models with the observed rainfall for the Taim wetlands region. These results were evaluated on a monthly scale, and it was found that the series are well correlated, justifying so the applicability of weather forecasts in hydrologic modeling.

Keywords: climate forecasting, precipitation, global model.

INTRODUÇÃO

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais extensamente estudadas pela sua grande importância na caracterização climática de uma região. A precipitação, na forma líquida (precipitação pluvial), amorfa (neve) e sólida (granizo), é o principal mecanismo natural de restabelecimento dos recursos hídricos na superfície terrestre (HALLAL, 2007). Suas anomalias são, em geral, marcantes principalmente quando os recursos hídricos superficiais servem de insumo para múltiplos usos, como, por exemplo, irrigação e conservação de ecossistemas, entre outros.

De maneira geral, a precipitação pluvial constitui um dos elementos meteorológicos de maior importância na produção agrícola e sua alta variabilidade no tempo e no espaço provoca incertezas na colheita, produção e produtividade. Por isso, períodos de estiagem prolongada ou de chuvas contínuas têm um impacto significativo sobre a economia regional (SEVERO 2004).

Nas últimas décadas, as diferentes tecnologias de modelagem para reproduzir os fenômenos naturais evoluíram rapidamente, propiciando ao homem a oportunidade de ampliar seus conhecimentos sobre a natureza e compreender seus processos físicos e biológicos. Em relação a estes fatos, destacam-se os avanços na modelagem numérica dos processos físicos inerentes à previsão de tempo e clima (CATADI et al., 2007).

Atualmente, métodos estatísticos (regressão, métodos multivariados, análise de periodicidade, redes neurais), dinâmicos (Modelos de Circulação Geral e Acoplados oceano-atmosfera), ou sua combinação, são importantes ferramentas para a simulação do clima presente e projeções do clima futuro, possibilitando um aumento significativo na capacidade prognóstica de anomalias climáticas de escala sazonal em diversas partes do globo (GODDARD et al., 2000).

Várias incertezas envolvem a modelagem climática, existem pesquisas introduzindo melhorias na resposta dos modelos. No entanto, são necessárias outras pesquisas no esforço em avaliar a qualidade das previsões climáticas (BUSTAMENTE, 2000; CAVALCANTI et al., 2002; MARENGO et al., 2003; CARVALHO et al., 2008), pois poucos trabalhos avaliam objetivamente a qualidade da previsão da precipitação sobre determinada área ou em uma bacia hidrográfica (OLIVEIRA, 2006).

Este estudo se propõe a avaliar qualitativamente as previsões de precipitação para o Banhado do Taim, localizado na parte Sul do Estado do Rio Grande do Sul. As previsões foram feitas em escala mensal, e será avaliada a performance das previsões sazonais de precipitação previstas por três modelos distintos: o Modelo Regional Estatístico para o Rio

Grande do Sul (MRERS), o modelo de circulação geral da atmosfera (MCGA) CPTEC/COLA e um Modelo Estatístico baseado em índices climáticos para a região do Sistema Hidrológico do Taim.

METODOLOGIA

Área de estudo

A região de estudo é o Sistema Hidrológico do Taim (Figura 4-1), localizado entre os municípios de Santa Vitória do Palmar e Rio Grande.

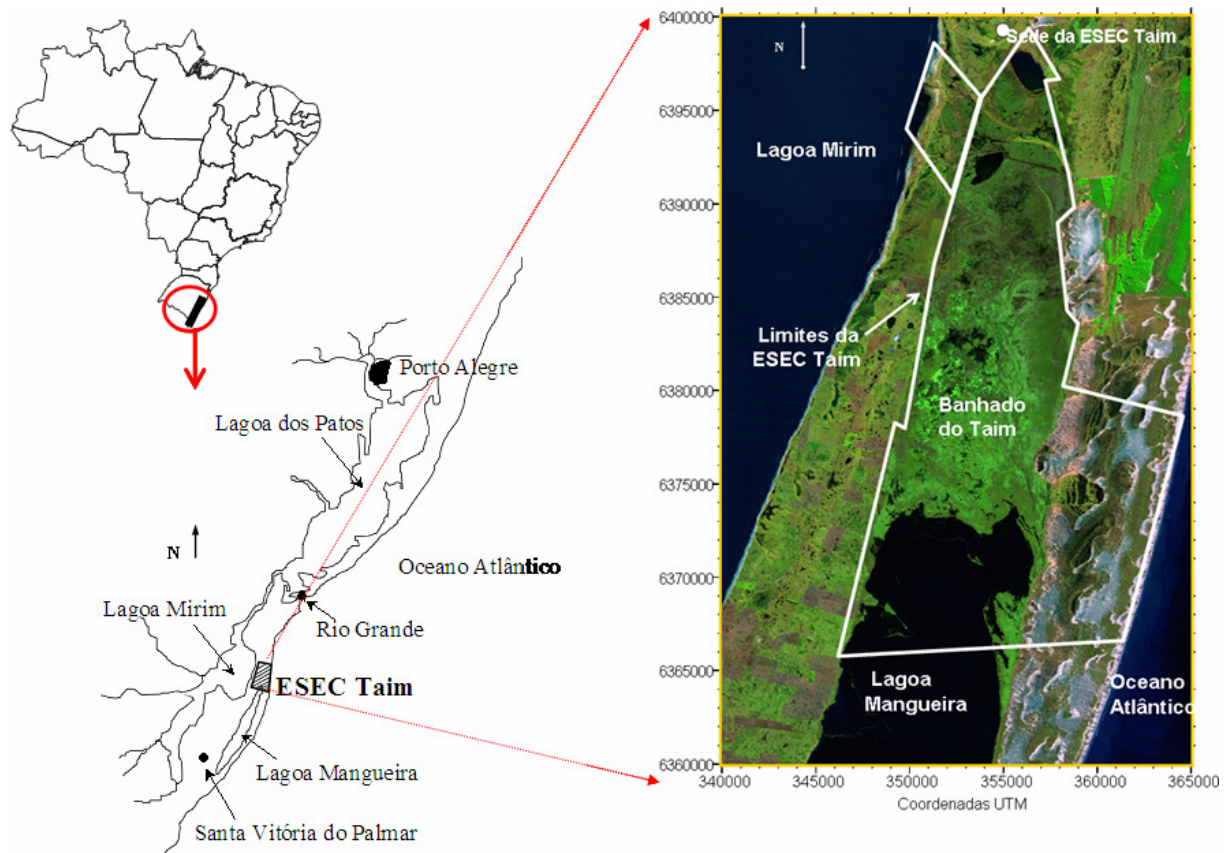


Figura 4-1 - Localização do Banhado do Taim.

Modelos para previsão de precipitação

Nesta pesquisa foram utilizadas as previsões de precipitação de longo prazo de três modelos - um modelo global, um modelo regional e um modelo determinístico - que serão descritos brevemente a seguir.

- **Simulações de previsões sazonais do modelo global do CPTEC**

No Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) são geradas mensalmente, desde janeiro de 1995, previsões climáticas sazonais, utilizando-se o modelo de circulação geral da atmosfera (MCGA) CPTEC/COLA.

O modelo global do CPTEC está baseado no código do modelo utilizado pelo Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies (COLA) dos EUA, com melhorias computacionais para adaptá-lo à arquitetura dos computadores disponíveis no CPTEC. Maiores informações sobre o Modelo Global do CPTEC, validação, análise de previsibilidade, eficiência da previsão em diversas regiões do país estão descritas em Cavalcanti et al. (2002) e Marengo et al. (2003).

Os resultados da previsão por conjuntos (5 membros) do modelo global do CPTEC são disponibilizados em forma digital em 15 níveis de pressão atmosférica: 1000, 925, 850, 775, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, e 30 hPa e em um total de 25 variáveis previstas, entre elas: componentes zonal e meridional do vento, pressão reduzida ao nível médio do mar, temperatura da superfície, umidade relativa próxima à superfície, umidade do solo na superfície, precipitação total, entre outras. Os dados do modelo global são disponibilizados em uma grade de pontos distanciados de 1,875 graus em longitude e 1,875 graus em latitude, correspondendo a células de aproximadamente 200 x 200 km (Figura 4-2).

Dentro desse conjunto de informações, os resultados da precipitação total foram analisados para este estudo. Foram feitas previsões com anomalias de TSM persistidas e 5 condições iniciais (conjunto de 5 previsões). A partir da condição inicial o modelo global simula por cerca de 2,5 meses usando TSM observada, sendo feita a previsão para os seis meses seguintes.

As previsões disponíveis do modelo global para este trabalho compreendem o período que vai de julho de 1997 a dezembro de 2005, com 5 condições iniciais (dias de inicialização: 12, 13, 14, 15 e 17).

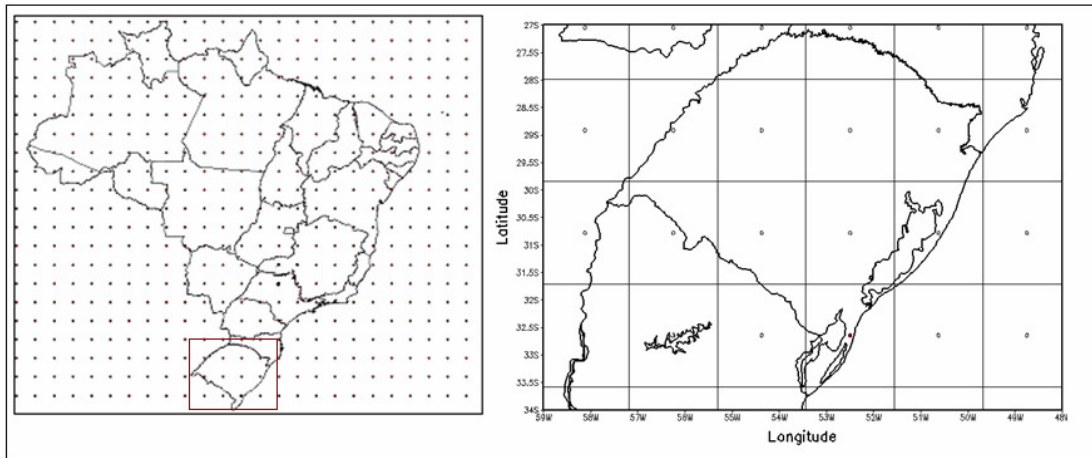


Figura 4-2 - Indicação da malha do modelo Global (resolução espacial de ~200 km sobre o Brasil e Rio Grande do Sul.

- **Simulações de previsões do modelo Regional Estatístico para o Rio Grande do Sul (MRERS).**

O modelo regional pertencente ao Centro de Pesquisas e Previsões Meteorológicas (CPPMet) da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) foi desenvolvido usando dados de precipitação de 37 estações do Rio Grande do Sul e dados de Temperatura da Superfície do Mar – TSM numa grade espacial de $1^\circ \times 1^\circ$, para o período de 1997 a 2005.

Nos modelos de previsões estatísticas de longo prazo, necessita-se de preditores obtidos com certo intervalo de tempo ou "lag".

A primeira etapa consistiu na determinação de regiões homogêneas, utilizando como variável de agrupamento a precipitação das estações meteorológicas do Rio Grande do Sul. Posteriormente, a determinação de regiões dos oceanos cuja Temperatura da Superfície do Mar (TSM) apresentasse correlação significativa com a precipitação das regiões homogêneas do Rio Grande do Sul, as quais foram usadas como variáveis preditoras no modelo de previsão climática.

Conhecendo-se as séries de precipitação para cada mês, foi estabelecida a confecção das matrizes de dados para o processo de determinação das equações preditoras. Os cálculos foram feitos por meio de um programa de computador usando linguagem FORTRAN. É utilizada a hipótese oceano-precipitação como um todo, obtêm-se os Padrões de Oscilação Principais (POP), geram-se as matrizes de correlação, extraem-se os POPs, que são

autovetores, então são gerados os escores de cada componente, que são transformados em precipitação (MARQUES, 2005).

- **Simulações de previsões do modelo de regressão linear múltipla, baseado em índices climáticos (ModReg).**

Para testar o poder de previsibilidade da precipitação mensal de outubro a dezembro, a técnica empregada foi a de regressão linear múltipla, utilizando como variáveis dependentes, isto é, dados preditantes, as precipitações mensais de outubro a dezembro no Taim, e como variáveis independentes (preditores), os índices climáticos. O modelo geral de regressão linear múltipla de quaisquer p variáveis independentes (informações exploratórias) sobre uma variável dependente é expresso por:

$$Y_i = a_c + a_1 X_1 + \dots + a_p X_p + e_i \quad (1)$$

Em que Y_i representa a variável estimada para o tempo i ; $X_{(1..p)}$ representam as p variáveis exploratórias; $a_{(0..p)}$ representam os coeficientes de regressão no ajuste linear entre as p variáveis exploratórias e a variável dependente; e e_i representa o erro na estimativa da variável Y no tempo i .

O modelo de regressão linear de forma matricial (STORCH & ZWIERS, 2000) pode ser representado por:

$$Y = X A + \varepsilon \quad (2)$$

Sendo:

X - matriz de delineamento, variáveis independentes conhecidas;

A - vetor dos parâmetros fixos, definidos com coeficientes de regressão linear;

Y - vetor de observações da variável dependente Y ; e

ε - vetor dos erros aleatórios.

Optou-se por representar a parte explicada no modelo de regressão através do coeficiente de correlação entre o previsto e o observado no período dependente (PD), entre 1979 e 1996. O nível de significância mínimo exigido de 5% corresponde a um valor mínimo de correlação necessário calculado pelo teste t .

- **O preditor** - Os dados utilizados como preditor nesse trabalho são médias mensais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) dos Oceanos Pacífico (Niño 3 e Niño 3.4) e Atlântico (SATL), durante o período de 1979 a 1996. Os campos de TSM são gerados pelo National Center for Environmental Prediction (NCEP/NOAA). São descritos com detalhes em Reynolds & Smith

(1995) e Smith et al. (1996). Esses locais foram escolhidos por apresentarem, em estudos preliminares, correlações significativas e por serem regiões citadas em estudos anteriores, como no caso da temperatura do Oceano Pacífico, apontado por Grimm et al. (2000) como o de melhor representatividade na América do Sul. A temperatura do oceano Atlântico Sul (SATL) a foi escolhida, pois Diaz et al. (1998) apontaram a necessidade de incluir os dois oceanos em todos os períodos considerados para uma melhor associação com as anomalias de precipitação, mostrando que o SATL exerce influência nos períodos de outubro a dezembro.

- **o preditando** - Como preditando foi utilizada a precipitação média dos meses de outubro a dezembro. A série completa desses dados cobre o período de janeiro de 1979 a dezembro de 1996, perfazendo um total de 18 anos.

A avaliação do período de ajuste foi utilizado o coeficiente de Nash (Equação 3) e a **relação entre volumes** medidos e calculados (ΔV %) (Equação 4):

$$NASH = R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1} (N_{Obs(t)} - N_{prev(t)})^2}{\sum_{i=1} (N_{Obs(t)} - \bar{N}_{prev(t)})^2} \quad (3)$$

$$\Delta V = 100 \frac{\sum_{t=1}^{nt} V_{est}(t) - V_{obs}(t)}{\sum_{t=1}^{nt} V_{obs}(t)} \quad (4)$$

Em que:

- V_{obs} é o volume observado no intervalo de tempo t;
- V_{est} é volume estimado no intervalo de tempo t;
- nt é o número de intervalos de tempo; e
- ΔV é o erro de volumes calculados (%).

Tabela 4-1 – Equações para a previsão de precipitação mensal para os meses de outubro a dezembro, utilizando índices climáticos.

<i>EQUAÇÃO</i>	<i>MÊS</i>	<i>R²</i>	<i>ΔV%</i>
$P_{out} = -930,381 + 13,30389 Méd_{jul} + 105,5334 Méd_{ago} - 77,7798 Méd_{set}$	1 mês	0,67	-3,3
$P_{Nov} = -325,671 + 58,89725 Méd_{jul} - 160,15 Méd_{ago} + 117,153 Méd_{set}$	2 mês	0,58	1,20
$P_{Dez} = -752,608 + 83,0596 Méd_{jul} - 60,2823 Méd_{ago} + 8,9174 Méd_{set}$	3 mês	0,50	6,0

ANÁLISE DA QUALIDADE DA PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO

A avaliação da qualidade da previsão de precipitação é realizada comparando os dados de precipitação observada aos de precipitação prevista, com o uso de índices. De forma mais explicativa, deve utilizar mais de um índice, pois cada um deles tem sua característica própria e avalia o resultado apenas sob uma ótica. A seguir, são apresentados os índices utilizados na avaliação do modelo de previsão de precipitação e uma breve descrição do seu significado.

Um índice para analisar a qualidade das previsões geradas pelos modelos de previsões de precipitação de longo prazo foi o coeficiente de correlação (Equação 5) entre a precipitação observada e gerada pelos modelos de previsão de longo prazo. Este é um indicador de desempenho simples, tendo o objetivo de avaliar o grau de linearidade entre as séries de precipitação prevista e observada.

$$r = \frac{\sum \left[\left(P_{obs} - \overline{P_{obs}} \right) \cdot \left(P_{prev} - \overline{P_{prev}} \right) \right]}{\sqrt{\sum \left(P_{obs} - \overline{P_{obs}} \right)^2 \cdot \sum \left(P_{prev} - \overline{P_{prev}} \right)^2}} \quad (5)$$

Outro processo de obtenção de índices de avaliação utilizado foi a construção de tabela de contingência.. A comparação dos pares previsão/observação é feita através do resumo dos dados fornecidos por esta tabela, que, por si só, não constitui um método de

verificação, mas serve de base para o cálculo dos índices propostos. Os índices assim obtidos são boas ferramentas, pois através deles podem-se obter vários índices com enfoques diferentes da avaliação de ocorrência/não ocorrência de um evento (WILKIS, 2006; KULIGOWSKI, 2002).

Um esquema da tabela de contingência pode ser visto na Figura 4-3 para o caso de verificação de ocorrência ou não ocorrência de precipitação.

		Observação	
		Sim	Não
Previsão	Sim	a	b
	Não	c	d

		Observação								
		Fx1	Fx2	Fx3						
Previsão	Fx1	r	s	t	Fx1	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td>a = r</td><td>b = s+t</td></tr> <tr><td>c = u+x</td><td>d = v+w+y+z</td></tr> </table>	a = r	b = s+t	c = u+x	d = v+w+y+z
	a = r	b = s+t								
	c = u+x	d = v+w+y+z								
Fx2	u	v	w	Fx2	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td>a = v</td><td>b = u+w</td></tr> <tr><td>c = s+y</td><td>d = r+t+x+z</td></tr> </table>	a = v	b = u+w	c = s+y	d = r+t+x+z	
a = v	b = u+w									
c = s+y	d = r+t+x+z									
Fx3	x	y	z	Fx3	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td>a = z</td><td>b = y+x</td></tr> <tr><td>c = t+w</td><td>d = r+s+u+v</td></tr> </table>	a = z	b = y+x	c = t+w	d = r+s+u+v	
a = z	b = y+x									
c = t+w	d = r+s+u+v									

Figura 4-3 - Redução da tabela de contingência de 3 eventos para 2 eventos.

Em que:

- a – o modelo previu chuva e ela ocorreu no ponto de verificação;
- b – o modelo previu chuva no ponto e ela não ocorreu;
- c – o modelo não previu chuva no ponto e ela ocorreu; e
- d – o modelo não previu chuva no ponto e ela não ocorreu.

A Figura 4-3 exemplifica uma tabela de contingência de uma previsão dicotômica (sim/não), que é o caso mais simples, e como uma previsão em três categorias pode ser facilmente convertida numa de duas categorias, ao considerar cada uma das faixas como um evento dicotômico. Neste caso, as letras a, b, c, d, r, s, t, u, v, w, x, y, z representam as quantidades ocorridas em cada par de previsão/observação possível.

Uma vantagem clara do uso da tabela de contingência é permitir analisar a performance da estimativa sob diferentes aspectos, conforme o tipo de evento estudado e o tipo de estimativa feita. Nesse sentido, alguns índices permitem um enfoque mais restrito,

como o percentual de acerto em conseguir detectar a ocorrência do evento, ou seja, dado que o evento tenha sido observado.

Com base nas categorias apresentadas sob a forma da tabela de contingência, podem-se determinar diferentes índices para medir a habilidade, precisão e viés (ou tendência) dos modelos em simular a precipitação. Índices de precisão muito comuns são: a Taxa de Acerto (TA), a Probabilidade de Detecção (POD) e o Falso Alarme (FA) (JUSTI DA SILVA et. al., 2000, PINTO et al., 2005, SANSIGOLO, 1989).

O índice **POD** representa a probabilidade de detecção da ocorrência de precipitação e é a probabilidade de ocorrência de um evento supostamente previsto. O POD representa a capacidade das fontes de prever corretamente a ocorrência de precipitação quando ela realmente é observada. Ou seja, resulta no desempenho de detecção da chuva. A melhor previsão de chuva ocorre quando o POD for igual a um.

$$POD = a / (a+b)$$

A **Razão de Alarme Falso (RAF)** é a proporção dos eventos previstos que não se concretizaram. Quanto mais próximo for o valor de 1, pior é a previsão de chuva.

$$RAF = a / (a+c)$$

O **Taxa de Acerto** ou Proporção Correta (TA) é uma medida de precisão e representa o percentual de previsões corretas independentemente de serem previstas a ocorrência ou não ocorrência do evento. O índice é calculado pela equação, e o valor ideal é igual a 100, ou seja, todas as previsões se concretizaram.

$$TA = (a+d)/n$$

Outra análise comumente realizada é a medida do viés ou tendência da previsão através do uso da razão simples das previsões de chuva com as chuvas observadas ou índice **BIAS**. O **BIAS** compara a quantidade de 'sim' previstos pelo modelo com os da observação. Uma previsão sem viés teria $B=1$, indicando que o evento foi previsto na mesma quantidade de vezes que foi observado. O **BIAS** não é uma medida de precisão do modelo, mas um índice capaz de indicar informações sobre a correspondência entre previsão versus observação em eventos de ocasião particular indicando seu possível viés (WILKS, 2006).

Pelo **BIAS**, pode-se verificar a ocorrência de situações de previsão subestimada ($BIAS < 1$) ou superestimada ($BIAS > 1$) da ocorrência de chuva num determinado período.

$$BIAS = (a+b)/(a+c)$$

A visualização gráfica dos valores de previsão de precipitação e dos valores de precipitação observada serve de auxílio na constatação das características indicadas pelos índices.

Salienta-se que os modelos utilizados nesta pesquisa possuem horizontes de previsão diferentes: o modelo global possui um horizonte de 6 meses, o modelo regional possui um horizonte de 4 meses e o modelo de regressão linear múltipla, de 3 meses.

RESULTADOS

Comparação de previsões de precipitação prevista e observada

Para a avaliação da comparação das previsões de precipitação com a precipitação observada, foram utilizadas previsões disponíveis no período de setembro de 1997 a dezembro de 2005. Os dados foram analisados isoladamente (valores mensais), bem como em totais acumulados ao longo de até N meses, em que N variou entre 1 e 6 meses, correspondente ao horizonte máximo da previsão do modelo global.

Para ilustrar o desempenho das previsões dos modelos utilizados, as Figuras 4-4, 4-5 e 4-6 apresentam a precipitação média mensal observada e prevista por cada modelo, ou seja, o modelo global, o modelo MRERS e o modelo de regressão linear multivariada.

Nos gráficos, os resultados das previsões dos modelos meteorológicos são comparados com a precipitação média observada. Para a determinação da precipitação média, foram utilizados 3 postos, Granja Santa Maria (região média da área do Taim), Granja Osório (região sul) e Rio Grande (região norte). A precipitação mensal foi determinada considerando um peso de 50% para o posto correspondente à porção média e 25% para os postos correspondentes à região norte e 25 % à região sul.

O modelo global apresenta 5 membros, numerados de 1 a 5 e foi utilizada também a média dos membros na comparação com a precipitação média observada. Os outros modelos apresentam uma única saída e esta é comparada com a precipitação média observada.

Modelo Global

Cada rodada de previsão do modelo global tem horizonte de 6 meses, sendo os resultados apresentados aqui referentes à previsão do período de outubro de 1997 até março de 1998 e de outubro de 1998 até março de 1999 e assim por diante, até o ano de 2005. A

escolha do período de outubro a março, com outubro como ponto de partida para a previsão, reside no fato de ele ser o período de preparo do solo para plantio de arroz irrigado na região, o mês de março definindo o final do período de irrigação e início da colheita.

A Figura 4-4 (a) mostra o comportamento temporal da precipitação prevista pelo modelo global do CPTEC e a precipitação observada para os anos de 1997 a 2005, verificando-se que alguns membros conseguem acompanhar a tendência de crescimento ou diminuição da precipitação. Para algumas regiões, as precipitações geradas pelo modelo global apresentam erros sistemáticos, como para a bacia do rio Uruguai (Collischonn, 2005), bacia do rio São Francisco (SILVA, 2005), mas para a região do banhado do Taim, o modelo não apresentou erros sistemáticos nos meses analisados, representou bem a variabilidade da precipitação.



Figura 4-4 - Comportamento temporal da precipitação observada e prevista pelo modelo global.

Modelo Regional Estatístico para o Rio Grande do Sul (MRERS)

Cada rodada do Modelo Estatístico para o Rio Grande do Sul (MRERS), tem um horizonte de 4 meses. Os resultados apresentados são para o período de outubro de 1997 a março de 1998, para novembro de 1997 a abril de 1998 e assim até março de 2006. A Figura 4-5 mostra a distribuição temporal da precipitação, em alguns anos, o modelo consegue representar bem a tendência de crescimento ou diminuição da precipitação observada.

Somente para o ano de 2001 o modelo estatístico subestimou a precipitação observada em todos os períodos analisados, sendo que esse ano foi considerado úmido, por apresentar uma precipitação anual bem acima da normal climatológica. Nos demais anos analisados não houve erros sistemáticos.

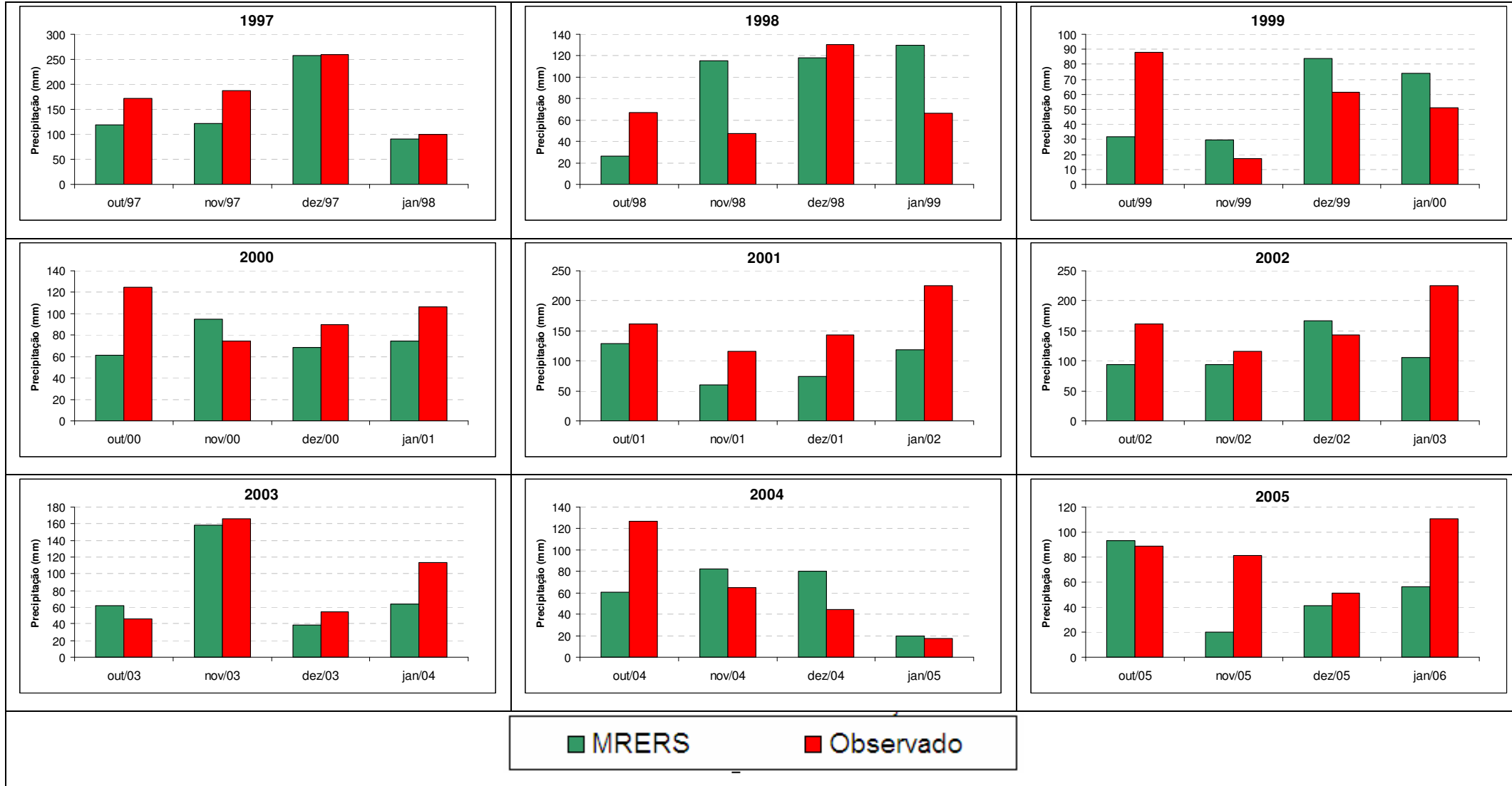


Figura 4-5 - Precipitação observada e prevista pelo modelo MRERS para os anos de 1997 a 2005.

Modelo de regressão linear

A Figura 4-6 mostra a distribuição temporal da precipitação, estimada pelo modelo de regressão linear baseado em índices climáticos, nos meses de outubro a dezembro para o período de 1997 a 2005.

Como nos modelos anteriores não houve erros sistemáticos na previsão de precipitação. Em alguns anos, o modelo representa bem variabilidade da precipitação observada, não havendo um padrão claro em anos considerados úmidos, secos ou normais.

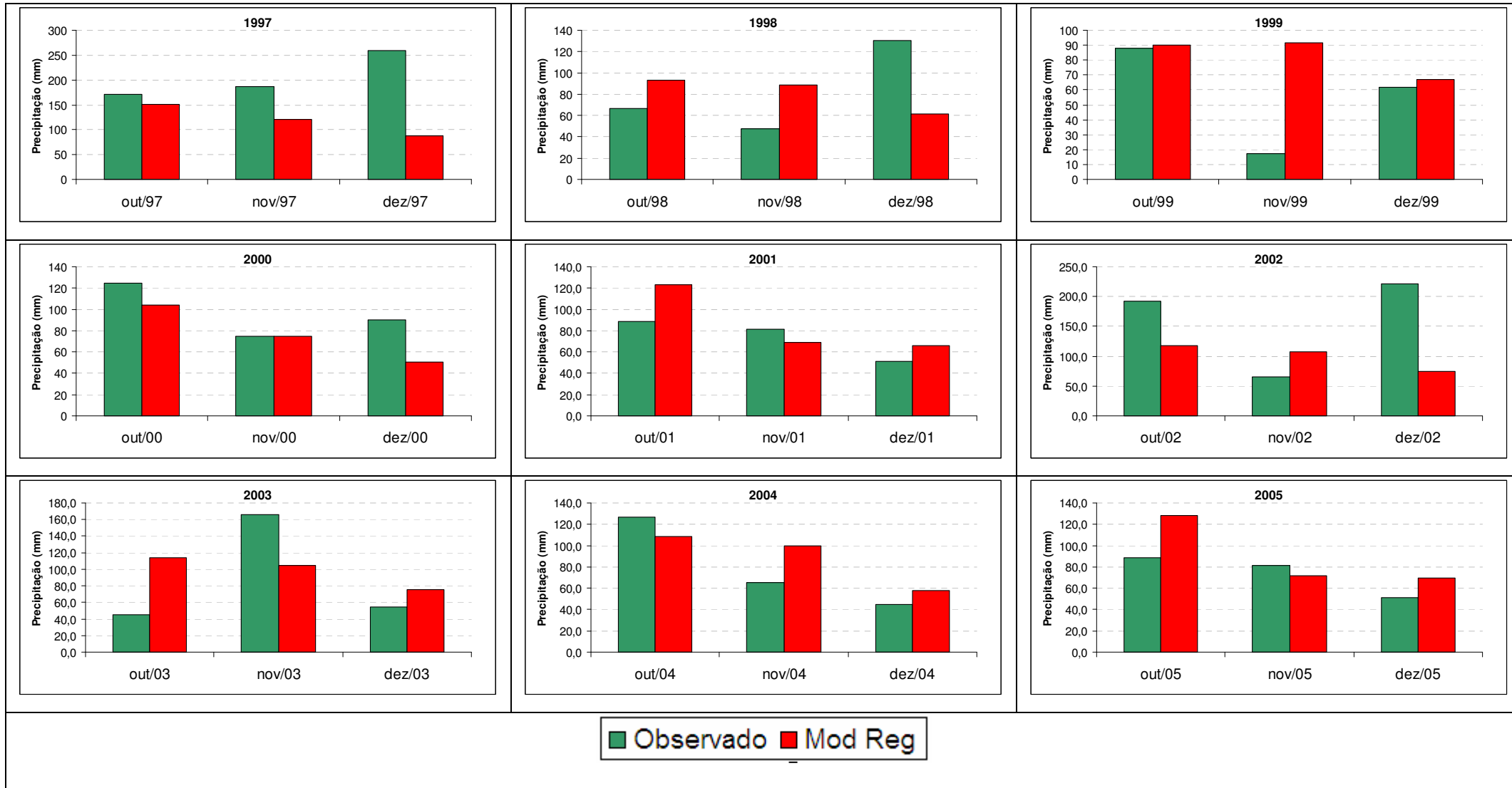


Figura 4-6 - Precipitação observada e prevista pelo modelo de regressão multivariada para os anos de 1997 a 2005.

A Tabela 4-2 mostra a correlação entre a precipitação observada e a precipitação gerada pelos modelos utilizados. A caracterização climática da precipitação é tomada por base na técnica dos quartis, definidos pelas categorias: seco (0 - 25%), normal (25 - 75%) e chuvoso (75 - 100%). Do período analisado, 56% foram considerados anos úmidos. Destes anos úmidos, os de 1997, 2000 e 2001 obtiveram boas correlações com a média dos membros, o modelo regional estatístico e o modelo baseado em índices climáticos. As menores correlações pertencem ao membro 5 do modelo global. O modelo de regressão baseado em índices climáticos apresentou boas correlações, com exceção dos anos de 1999 e 2003, considerados anos normais, mas precedidos por períodos úmidos. O ano 2002 de modo geral, apresentou correlações baixas para todos os modelos, o ano de 1998 também apresentou valores baixos de correlação, com exceção do modelo baseado em índices climáticos. Isso demonstra a fragilidade dos modelos em representar anos extremamente úmidos.

O membro 1 do modelo global e a média dos membros apresentaram boa correlação com o ano de 2005, que foi um ano muito seco, mostrando a habilidade do modelo global em representar períodos normais e secos, embora não tenha mostrado essa mesma habilidade com eventos úmidos.

Tabela 4-2 - Correlação entre a precipitação observada e a precipitação prevista pelos modelos Global, Regional e o de regressão multivariada.

Período	Primavera /verão	Membro 1	Membro 2	Membro 3	Membro 4	Membro 5	Média dos membros	MRERS	Mod Reg
Úmido	1997	0,91	0,24	0,58	0,58	0,33	0,60	0,91	-0,95
Úmido	1998	0,52	-0,59	-0,01	0,01	-0,03	-0,07	0,19	-0,94
Normal	1999	0,69	-0,45	-0,29	-0,47	-0,23	-0,32	0,12	-0,21
Úmido	2000	0,86	0,16	0,51	-0,48	-0,72	-0,14	-0,81	0,72
Úmido	2001	0,11	0,27	0,60	-0,07	0,63	0,41	0,75	0,70
Úmido	2002	0,25	0,43	0,42	-0,86	-0,74	-0,30	0,58	-0,44
Normal	2003	-0,46	0,61	0,32	-0,56	0,28	0,39	0,87	0,22
Normal	2004	0,38	0,40	0,75	0,84	-0,05	0,70	0,38	0,81
Seco	2005	0,92	0,14	0,85	-0,57	0,77	0,81	0,43	0,69

Na Tabela 4-3 são apresentados os valores dos resíduos, diferença entre a precipitação total acumulada observada e a precipitação total acumulada estimada pelos modelos. Como os modelos têm horizontes de previsão diferentes, a Tabela 4-3 mostra os resíduos para o horizonte de 3 meses, de outubro a dezembro. Dos resíduos para 3 meses, o modelo de regressão linear baseado em índices climáticos se mostrou muito bom para anos muito úmidos, já que os menores valores foram para os anos de 1998, 2000 e 2002.

Novamente os anos de 1997 e 2002 mostraram os maiores resíduos em todos os modelos devido à fragilidade dos mesmos em prever anos extremos de precipitação. O membro 2 do modelo global apresentou o menor resíduo no ano seco (2005).

Entre os modelos, o membro 2, o modelo regional estatístico e o modelo de regressão mostram as menores diferenças entre o total de precipitação para 3 meses.

Tabela 4-3 – Resíduo acumulado entre a precipitação observada e a precipitação prevista pelos modelos Global e Regional para um horizonte de 3 meses.

Ano	Membro 1 (mm)	Membro 2 (mm)	Membro 3 (mm)	Membro 4 (mm)	Membro 5 (mm)	Média dos membros (mm)	MRERS (mm)	Mod Reg (mm)
1997	174,4	79,6	114,8	126,9	130,3	125,2	118,7	257,3
1998	49,3	14,3	39,3	-59,9	62,7	21,2	-14,5	1,9
1999	7,1	-91,4	-41,4	-33,3	-84,8	-48,8	21,0	-82,3
2000	92,3	154,9	116,8	163,1	-55,0	94,4	63,7	59,3
2001	100,1	5,8	9,4	72,4	-35,6	30,4	-41,1	-37,1
2002	208,9	225,7	177,7	143,0	306,8	212,4	123,9	177,2
2003	20,6	46,3	40,9	138,9	111,2	71,6	6,4	-28,6
2004	-46,6	26,0	-24,0	-30,7	125,5	10,0	13,0	-29,5
2005	100,1	5,8	9,4	72,4	-35,6	30,4	66,7	-48,7
Média	78,5	51,9	49,2	65,9	58,4	60,8	39,8	30,0
Total	706,2	467,0	442,9	592,8	525,5	546,8	357,8	269,6

Além da comparação visual, da correlação e dos resíduos da precipitação gerada pelos dos modelos e da precipitação observada, também foram utilizados para comparação índices de performance, calculados através da tabela de contingência.

A precisão dos modelos de previsão de precipitação foi avaliada com os índices: Percentual ou taxa de acerto (TA), Probabilidade de detecção (POD) e Razão de alarme falso

(RAF). A medida de tendência ou “vício” do sistema de previsão foi realizada com índice BIAS.

A Tabela 4-4 mostra que com exceção do modelo de regressão linear baseado nos índices climáticos (Mod reg) todos os outros modelos superestimaram a precipitação nos períodos secos. Nos períodos considerados normais, só o membro 2 do modelo global subestimou a precipitação. Nos períodos úmidos todos os modelos subestimaram a precipitação, o que concorda com Neves (2010), que realizou estudo com previsão de modelo dinâmico para o período chuvoso no Estado do Amapá. A probabilidade de detecção de ocorrência (POD) apresentou uma variação de 0,27 a 0,81, com a média dos membros e o Mod Reg apresentando um melhor desempenho em relação aos outros membros. Para períodos normais, esses modelos prevêem corretamente a ocorrência de precipitação dentro da normal, já os períodos secos apresentaram os menores valores da probabilidade de detecção.

A Taxa de Acerto (TA) apresentou uma variação de 55% a 80%, sendo o maior valor obtido pela média dos membros do modelo global. A Razão de Alarmes Falsos (RAF) variou de 0,75 a 30, com a média dos membros apresentando os melhores resultados para os períodos normal e úmido. O melhor desempenho para o período seco foi apresentado pelo Mod Reg e média dos membros 4 e 5.

Tabela 4-4 - Índices de performance na análise da previsão de precipitação para eventos secos, normal e chuvoso do modelo global e MRERS para a área de estudo.

Modelo	Período	RAF	POD	TA	BIAS
Membro 1	Seco	0.73	0.27	0.64	1.0
	Normal	0.46	0.65	0.59	1.2
	Chuvoso	0.33	0.46	0.77	0.7
Membro 2	Seco	0.64	0.45	0.66	1.3
	Normal	0.50	0.45	0.55	0.9
	Chuvoso	0.50	0.46	0.70	0.9
Membro 3	Seco	0.58	0.45	0.70	1.1
	Normal	0.35	0.65	0.68	1.0
	Chuvoso	0.42	0.54	0.75	0.9
Membro 4	Seco	0.75	0.27	0.61	1.1
	Normal	0.45	0.55	0.59	1.0
	Chuvoso	0.42	0.54	0.75	0.9
Membro 5	Seco	0.71	0.36	0.61	1.3
	Normal	0.45	0.55	0.59	1.0
	Chuvoso	0.50	0.38	0.70	0.8

Média dos Membros	Seco	0.55	0.45	0.73	1.0
	Normal	0.30	0.80	0.75	1.2
	Chuvoso	0.30	0.54	0.80	0.8
MRERS	Seco	0.54	0.55	0.73	1.2
	Normal	0.45	0.60	0.59	1.1
	Chuvoso	0.33	0.46	0.77	0.7
Mod Reg	Seco	0,67	0,13	0,59	0,38
	Normal	0,54	0,81	0,41	1,15
	Chuvoso	0,29	0,42	0,61	0,48

(TA) - Percentual ou taxa de acerto, (POD) - Probabilidade de detecção, (RAF) - Razão de alarme falso e (BIAS) - medida de tendência ou “vício”.

CONCLUSÕES

O Sistema Hidrológico do Taim está localizado no sul do Brasil, sendo esta região considerada de média previsibilidade sazonal (MENDES, 2009). No entanto, um estudo que comprovasse a utilidade dos dados de previsão sazonal ou climática se fazia necessário.

As análises mostraram as previsões sazonais do modelo de circulação geral da atmosfera (MCGA), do Modelo Regional Estatístico para o Rio Grande do Sul (MRERS) e do modelo de regressão linear multivariada (ModReg) para os anos de 1997 a 2005, avaliadas com relação às observações de precipitação sobre o Sistema Hidrológico do Taim, que foram acumuladas em semestre, quadrimestre e trimestre para o MCGA, MRERS e o modelo de regressão, respectivamente.

As previsões de totais pluviométricos sazonais geradas pelos modelos mostraram que nos anos em que ocorreu precipitação acima da normal, o ModReg e o Membro 1 do modelo global apresentaram as maiores correlações e os menores desvios em relação à precipitação observada, sendo os totais subestimados.

Dos modelos analisados, os que mostraram os melhores índices foram a média dos membros para os períodos normais e chuvosos e o MRERS para o período seco.

As séries temporais das previsões geradas pelo modelo regional e a média dos membros mostraram maior semelhança com as observações do que as previsões do modelo global, embora haja subestimação do modelo regional e superestimação da média dos membros do modelo global em anos extremamente úmidos.

Conclui-se que a previsão sazonal reflete os dados observados, com exceções para anos extremos de precipitação. Assim, valores de previsão pluviométrica podem ser utilizados como um dado qualificado de entrada de modelos hidrológicos, auxiliando os sistemas de apoio à tomada de decisão sobre o uso e o estado futuro dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

- Bustamente, J. F.; Gomes, J. L.; Bonatti, J. P. 2000. Avaliação preliminar das previsões do modelo regional ETA gerada a partir do sistema de assimilação de dados RPSAS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia. p. 3703-3710.
- Carvalho, T. L. L.; Reis Junior, D. S.; De Maria, P. H. S.; Sombra, S.S.; Costa, A.A.; Santos, A. C. S. 2008. Avaliação da previsão de curto prazo de chuva na Bacia do Alto Jaguaribe durante a cheia de 2008. Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Salvador.
- Catalde, M.; Machado, C.O.; Guilhon, L.G.F.; Chou, S.C.; Gomes, J.L.; Bustamante, J.F., 2007. Análise das previsões de precipitação obtidas com a utilização do modelo Eta como insumo para modelos de previsão semanal de vazão natural. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol.12, nº3, p. 5-12.
- Cavalcanti, I; Marengo, J.; Satyamurty, P.; Nobre, C.A.; Trosnikov, I.; Bonatti, J. P.; Manzi, A. O.; Tarasova, T.; Pezzi, L.P.; D’Almeida, C.; Sampaio, G.; Castro, C.C.; Sanches, M.B.; Camargo, H. 2002. Global climatological features in a simulation using the CPTEC/COLA AGCM. Journal of Climate, v. 15, n. 21, p. 2965-2988.
- Collischonn, W.; Tucci, C. E. M. Clarke, R. T; Dias, P. L. S; Oliveira, G. S. 2005. Previsão Sazonal de Vazão na Bacia do Rio Uruguai 2: Previsão Climática-Hidrológica. Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 10 n.4, p:61-72.
- Diaz A. F.; Studzinski, C. D.; Mechoso, C. R. 1998. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic oceans. Journal of Climate, v. 11, n. 2, p. 251-171.
- Goddard, L.; Mason, S.J.; Zebiak, S.E.; Ropelewski, C.F.; Basher, R.; Cane, M.A. 2000. Current approaches to seasonal to interannual climate predictions. New York: IRI.
- Hallal, M. O. C. 2007. Análise da variabilidade de indicadores climáticos para a precipitação pluvial no Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas.
- Justi da Silva, M. G. A., Barbosa, M. C. D., Xavier, M. C. A. 2000. Sistema Alerta/Rio: Verificação Objetiva das Previsões de Precipitação e Temperatura.. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais em CDROM.
- Kuligowski, R. 2002. “A self-calibrating real-time GOES rainfall algorithm for shortterm rainfall estimates”. Journal of Hydrometeorology (3), pp. 112-130.
- Marengo, J.; Cavalcanti, I.F.A.; Satyamurty, P.; Satyamurty, P.; Nobre, C.A.; Bonatti, J. P.; Camargo, H.; Sampaio, G.; Sanches, M.B.; Manzi, A. O.; Castro, C. A. C.; Pezzi, L.P.; D’almeida, C.; Candido, L. 2003. Assessment of regional seasonal rainfall predictability using the CPTEC/COLA atmospheric GCM. Climate Dynamics, v. 21, n. 5-6, p. 459-475.
- Marques, J. R. Q. 2005. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul e sua relação com indicadores oceânicos. Porto Alegre, Tese (Doutorado em Fitotecnia, área de concentração em Agrometeorologia) Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

- Oliveira, K.F. 2006. Previsão de vazão em uma bacia do semi-arido usando previsões climáticas de precipitação. Dissertação apresentada a Universidade Federal de campina grande. p 94.
- Pinto, D. E. G.; Nunes, H. M. T., De Palulo, R. G. F. Carvalho, D. D. De. 2005. Verificação das previsões de precipitação realizadas com o modelo MM5 para o sistema de alerta de cheias da bacia do Rio Doce. In: Simpósio brasileiro de recursos hídricos. Vol. 16. João Pessoa: ABRH.
- Reynolds, R. E. Smith, T. M., R. W., 1995: A high-resolution global sea surface temperature climatology. *J. Climate*, 8, 1571-1583.
- Smith, T. M., R. W. Reynolds, R. E. Livezey, and D. C. Stokes, 1996: Reconstruction of historical sea surface temperatures using empirical orthogonal functions. *J. Climate*, 9, 1403-142
- Sansigolo, A. S. 1989. Variabilidade Interanual da estação chuvosa em São Paulo. *Climanálise*, Vol. 4, n.9, p.40-43.
- Severo, D. L., Gan., M. A. 2004. Anomalias de precipitação na Região Sul do Brasil - Resultados preliminares. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Fortaleza, CE.
- Silva, B. C. 2005. Previsão Hidroclimática de vazão para a Bacia do Rio São Francisco. Tese de doutorado. IPH/UFRGS.
- Wilks, D.S. 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press, Elsevier, 630 p.

5 PREVISÃO HIDROCLIMÁTICA PARA O SISTEMA HIDROLÓGICO DO TAIM

Cardoso, M. A. G.¹, Villanueva, A. O.² e Motta Marques, D.¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS/IPH

² Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires – UNICEN

RESUMO

A previsão de nível de corpos de água lânticos com base na previsão de precipitação permite uma antecedência maior do que outros métodos, mas exige modelos mais sofisticados e investimentos em monitoramento. Somente com o aprimoramento dos modelos atmosféricos e hidrológicos nos últimos anos é que foram criadas, pela integração desses modelos, condições de ampliar de forma consistente a antecedência da previsão de níveis. Esse trabalho tem por objetivo principal apresentar uma proposta de aprimoramento da metodologia de integração dos modelos atmosféricos e hidrológicos (previsão hidroclimática), buscando uma previsão de nível de longo prazo (até 6 meses). Para isso, foram avaliados os usos das previsões de precipitação do modelo de circulação geral atmosférico (AGCM), do modelo regional estatístico para o Rio Grande do Sul, operados pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC e pelo Centro Pesquisas Meteorológicas – CPPMET e de um modelo determinístico como dados de entrada para o modelo hidrológico para simular condições futuras do Sistema Hidrológico do Taim. O resultado da simulação hidroclimática mostra que as metodologias estatísticas apresentaram bons resultados, com coeficiente de correlação ficando em média 0,95, e o coeficiente de Nash mostrou que a integração dos modelos meteorológicos e hidrológicos são adequados. A inclusão da informação fornecida pelo modelo meteorológico baseado em índices climáticos mostrou-se uma ferramenta importante, que permite o conhecimento do nível da água com certa antecedência para o Sistema Hidrológico do Taim.

Palavras-chaves: Previsão climática de precipitação, Previsão de níveis, Banhados.

ABSTRACT

The water level forecast based on the rainfall forecasting allows a greater foresight than other methods, but requires more sophisticated models and investments in monitoring. Only with the improvement of atmospheric and hydrological models in recent years, opportunities were created to increase the foresight in forecasting by the integration of these models. This work has the aim to improve the methodology of integrating atmospheric and hydrological models (hydroclimatic forecasting) for predicting long-term water level (up to 6 months). For this, the hydrologic-hydrodynamic cell model was initialized using precipitation predicted by the Atmospheric General Circulation Model (AGCM), from the statistical regional model for Rio Grande do Sul, managed by the Center for Weather Forecasting and Climate Studies - CPTEC and by the Meteorological Research Center - CPPMET and a deterministic model as input data for the hydrological model. Predictions were made for all the Taim wetlands area. The simulation results for the hydroclimatic simulation show that the statistical methodologies provide good results, with correlation coefficient being 0.95 on average, and the Nash coefficient evidenced that the model is adequate. The inclusion of the information provided by the meteorological model is an important tool that allows some foresight for the Taim Hydrological System.

Keywords: Rainfall Climate Prediction, Forecast level, Wetlands.

INTRODUÇÃO

A variabilidade, tanto espacial quanto temporal, da precipitação é de grande importância para a gestão dos recursos hídricos. A previsão quantitativa da precipitação, seja com períodos de tempo curto ou longo, é ferramenta primordial no gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos, principalmente nos impactos gerados pela oferta e/ou demanda em diversos setores usuários.

Modelos numéricos têm sido utilizados extensivamente nos últimos tempos com objetivo de entender e prever o clima e fenômenos meteorológicos. Duas vertentes foram seguidas quanto ao desenvolvimento destes modelos numéricos: os modelos globais e os modelos regionais (i.e. de área limitada). Os modelos globais possuem resolução espacial da ordem de 2-5 graus de latitude, portanto, não conseguem representar muito bem os fenômenos meteorológicos de escala regional. Isto ocorre porque para representar simultaneamente os fenômenos meteorológicos globais, existe a

necessidade de um grande número de pontos de grade, o que esbarra na capacidade computacional. Por outro lado, os modelos regionais possuem resolução mais acurada, mas são utilizados para regiões específicas e devem ser alimentados em suas fronteiras laterais por condições atmosféricas de larga escala, portanto, não simulam os fenômenos de grande escala.

O ciclo hidrológico é representado por duas fases distintas: a atmosférica e a terrestre. Essas fases geralmente são representadas e simuladas por modelos independentes. Nos últimos anos, tem sido utilizado o acoplamento dos modelos hidrológicos e meteorológicos. Este acoplamento pode ser feito de dois modos: unidirecionalmente ou bidirecionalmente (BRAGA et al., 2005).

No acoplamento unidirecional, os dados meteorológicos gerados pelos modelos atmosféricos são usados como dados de entrada nos modelos hidrológicos. Operacionalmente, este tipo de acoplamento apresenta uma maior flexibilidade devido à autonomia entre os modelos de cada categoria. Assim, viabilizam previsões em conjunto (ensemble), utilizando como membros diferentes previsões atmosféricas (BRAGA et al., 2005). Destacam-se neste tipo de simulação os resultados apresentados por OLIVEIRA (2006); ANDERSON et al., (2002); HABETS et al. (2004); WOOD et al., (2002); TUCCI et al., (2003); SILVA, (2005); HOPSON e WEBSTER, (2004); HAY e CLARK, (2003); HAY et al., (2002).

No modo bidirecional, existe uma troca de informações entre os modelos, sendo necessários ajustes de escala (downscaling dos dados meteorológicos e upscaling dos dados hidrológicos). Essa troca de informações é feita, geralmente, através de interfaces que utilizam esquemas de transferência. Este tipo de acoplamento apresenta algumas desvantagens operacionais, como o alto custo computacional e a necessidade de transformação de unidades e coordenadas (MOLDERS e RUHAAK, 2002). Poucos os trabalhos que realmente acoplam os modelos em modo bidirecional, com interação simultânea dos processos na atmosfera-superfície e vice-versa (EVANS, 2003; GUTOWSKI ET. AL., 2002; SEUFFERT ET. AL., 2002).

Desenvolvimentos recentes no acoplamento entre modelos atmosféricos e hidrológicos demonstram que este tipo de aproximação apresenta um grande potencial para previsão de enchentes e avaliação de impactos (YU et al., 1999; BENOIT et al., 2003), verificação e validação de previsões numéricas de precipitação (BENOIT e PELLERIN, 2000; JASPER e KAUFMANN, 2003) e como ferramenta para o gerenciamento dos recursos hídricos (GALVÃO, 1999; PIETRONIRO et al., 2001;

MÖLDERS e RÜHAAK, 2002; TUCCI et al., 2003; EVANS, 2003; MENEGUZZO et al., 2004; CHANG et al., 2004).

Neste trabalho, objetivou-se desenvolver e avaliar uma metodologia para realizar previsão de nível de longo prazo, com o acoplamento unidirecional da previsão de precipitação com o modelo hidrológico, para a região do Sistema Hidrológico do Taim.

MATERIAIS E METODOS

Área de estudo

A região de estudo é o Sistema Hidrológico do Taim, estando situado na região sul-leste do Estado de Rio Grande do Sul, entre o Oceano Atlântico e a Lagoa Mirim ($32^{\circ} 20' - 33^{\circ} 00' S$ e $52^{\circ} 20' - 52^{\circ} 45' W$), parte no município de Rio Grande e parte no município de Santa Vitória do Palmar (Figura 5-1). Nesse sistema, está inserida a unidade de conservação federal Estação Ecológica do Taim (ESEC Taim).

Esta região sofreu uma tentativa de drenagem no início dos anos 70 para permitir a expansão da lavoura de arroz, da qual restaram dois canais principais paralelos à rodovia BR 471 e um conjunto de comportas, que permitem controlar a vazão na direção banhado – lagoa Mirim.

Sistema Hidrológico do Taim – SHT, objeto da simulação hidrológica, é bastante complexo e abrangente. A complexidade do sistema é causada pelo fato de que o fluxo regional ocorre, em grande parte, ao longo de lagoas e banhados, nos quais predominam os processos de amortecimento, sendo que os mesmos estão interligados por uma extensa rede de arroios e canais. A área de abrangência tem como pontos extremos, ao norte, a bacia de contribuição da lagoa Caiubá e, ao sul, a bacia de contribuição da lagoa Mangueira, e se desenvolve entre eles como uma estreita faixa delimitada, ao oeste, pela BR-471 e, ao leste, pela área de dunas costeiras (VILLANUEVA, 1997).

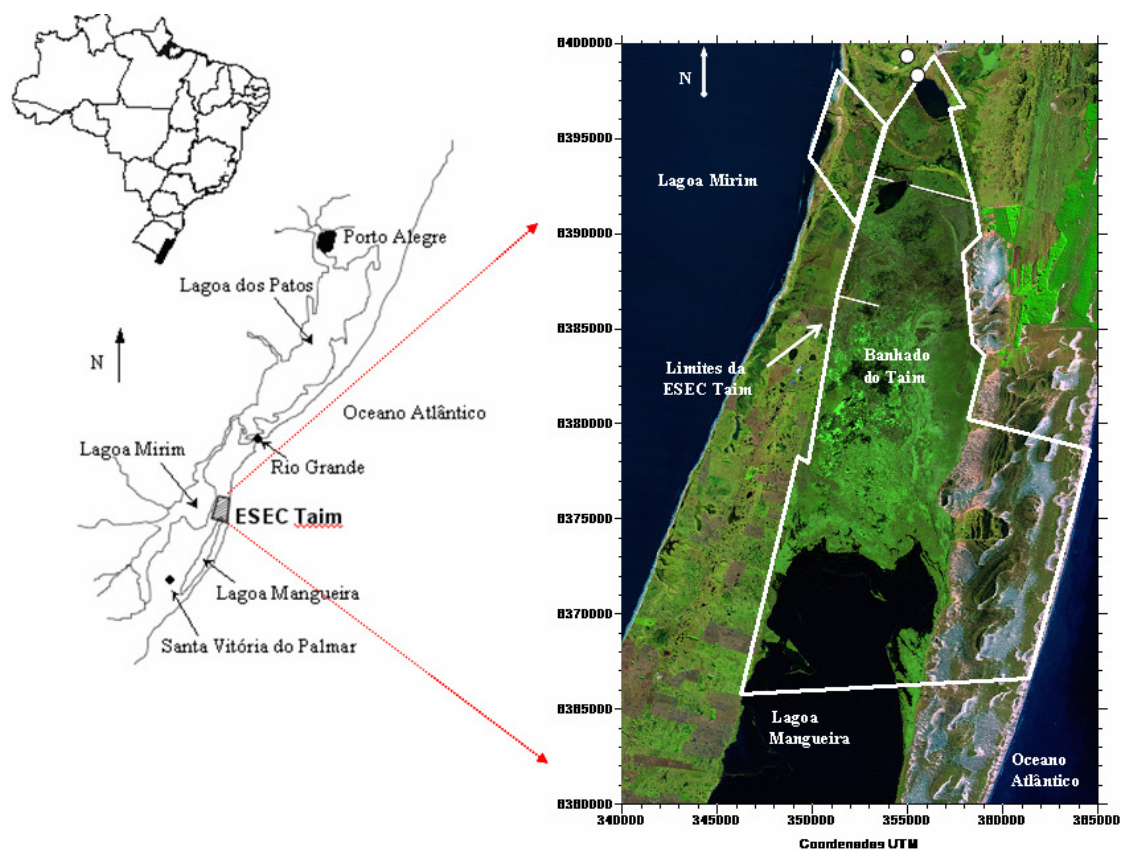


Figura 5-1 - Localização do Banhado do Taim.

Previsão de precipitação

Neste trabalho foram utilizados três modelos de previsão de precipitação de longo prazo: dois estatísticos e um de circulação geral da atmosfera.

Modelo de circulação geral da atmosfera (MCGA)

Desde janeiro de 1995 o CPTEC/INPE gera mensalmente previsões sazonais usando o Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA).

Os resultados da previsão gerada pelo modelo de circulação geral da atmosfera do CPTEC são disponibilizados em forma digital em 15 níveis de pressão atmosférica, em um total de 25 variáveis previstas, entre elas: componentes zonal e meridional do vento, pressão reduzida ao nível médio do mar, temperatura da superfície, umidade relativa próxima à superfície, umidade do solo na superfície, precipitação total, entre outras.

Os dados do modelo global foram disponibilizados em uma grade de pontos distanciados de 1,875 graus em longitude e 1,875 graus em latitude, correspondendo a células de aproximadamente 200 x 200 km.

São utilizadas 25 condições iniciais que são análises do NCEP das 12 TMG ou Greenwich Mean Time, com intervalo de 24 horas entre elas. Cada condição inicial representa um membro da previsão por conjunto. As inicializações dos 25 membros são feitas cerca de dois meses e meio antes do início do período a ser previsto (no presente caso, 6 meses). As previsões disponibilizadas do modelo global para esta tese compreendem o período que vai de julho de 1997 a dezembro de 2005, com 5 condições iniciais (dias de inicialização: 12, 13, 14, 15,17), a escolha dessas datas, se deve unicamente à disponibilidade dos dados no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC).

Modelo Regional Estatístico para o Rio Grande do Sul (MRERS)

No Centro de Pesquisas e Previsões Meteorológicas (CPPMet) da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), são geradas mensalmente previsões climáticas para o Rio Grande do Sul utilizando um modelo regional estatístico.

A metodologia seguida foi desenvolvida usando dados de precipitação de 37 estações do Rio Grande do Sul e dados de Temperatura da Superfície do Mar – TSM numa grade espacial de 1°x 1°, para o período de 1982 a 2005.

A primeira etapa foi a determinação de regiões homogêneas usando, como variável de agrupamento, a precipitação das estações meteorológicas do Rio Grande do Sul. Posteriormente, a determinação de regiões dos oceanos cuja Temperatura da Superfície do Mar (TSM) que apresentassem correlação significativa com a precipitação das regiões homogêneas do Rio Grande do Sul, as quais foram usadas como variáveis preditoras no modelo de previsão climática (MARQUES, 2005).

Modelo de regressão linear múltipla, baseado em índices climáticos.

O modelo foi desenvolvido no decorrer desta tese, tendo sido empregada a regressão linear múltipla, utilizando como variáveis dependentes, isto é, dados preditantes, as precipitações mensais de outubro a dezembro no Banhado do Taim, e como variáveis independentes (preditores), os índices climáticos. O modelo geral de regressão linear múltipla de quaisquer p variáveis independentes (informações exploratórias) sobre uma variável dependente é expresso por:

$$Y_i = a_0 + a_1 X_1 + \dots + a_p X_p + e_i \quad (1)$$

Em que Y_i representa a variável estimada para o tempo i ; $X(1...p)$ representam as p variáveis exploratórias; $a(0...p)$ representam os coeficientes de regressão no ajuste linear entre as p variáveis exploratórias e a variável dependente; e e_i representa o erro na estimativa da variável Y no tempo i .

O modelo de regressão linear de forma matricial (STORCH & ZWIERS, 2000) pode ser representado por:

$$Y = X A + \varepsilon \quad (2)$$

Sendo:

X - matriz de delineamento, variáveis independentes conhecidas;

A - vetor dos parâmetros fixos, definidos com coeficientes de regressão linear;

Y - vetor de observações da variável dependente Y ; e

ε - vetor dos erros aleatórios.

Optou-se por representar a parte explicada no modelo de regressão através do coeficiente de correlação entre o previsto e o observado no período dependente (PD), entre 1979 e 1996. O nível de significância mínimo exigido de 5% corresponde a um valor mínimo de correlação necessário calculado pelo teste t .

Modelo hidrológico

O modelo escolhido para essa modelagem de níveis no Banhado do Taim foi o Modelo Hidrológico-Hidrodinâmico (VILLANUEVA, 1997), sendo que uma descrição mais detalhada deste modelo, bem como sua validação, encontra-se no Anexo C.

O sistema hidrológico no qual se insere o banhado do Taim tem duas componentes principais: o banhado propriamente dito, e o subsistema sul ou Lagoa Mangueira. A partir desta divisão o modelo do Taim simula a lagoa Mangueira (principal fonte de água do banhado) e o banhado propriamente dito, até sua conexão com a lagoa Mirim, nas comportas de saída do banhado.

Para simular a lagoa Mangueira e sua área de contribuição foi utilizado um modelo de balanço de volumes, representado pela equação:

$$S(t+\Delta t)=S(t)+A_b C_e P+ A_M P-kt E A_M -I_r -QT\Delta t \quad (3)$$

Onde:

S = volume na lagoa Mangueira (m^3),

A_b = área de contribuição à Mangueira (m^2),

C_e = coeficiente de escoamento,

P = precipitação no intervalo de tempo considerado (m),

A_M = área da lagoa Mangueira (m^2),

kt = coeficiente da evaporação de tanque,

E = evaporação no intervalo de tempo,

I_r = volume retirado para irrigação (m^3),

QT = vazão que sai da Mangueira para o Taim (m^3/s).

A soma das áreas A_b e A_M é constante, e igual a 1597 km^2 , que é a área total do subsistema da Mangueira.

Para representar o banhado do Taim foi utilizado um modelo de células. O sistema foi representado usando 13 seções no canal e 28 células no banhado (Figura. 5-2), procurando representar todas as características relevantes conhecidas. O comprimento dos trechos é da ordem de 3 km, e a área das células de aproximadamente 9 km^2 . O escoamento entre as células foi representado mediante ligações tipo canal ou vertedor.

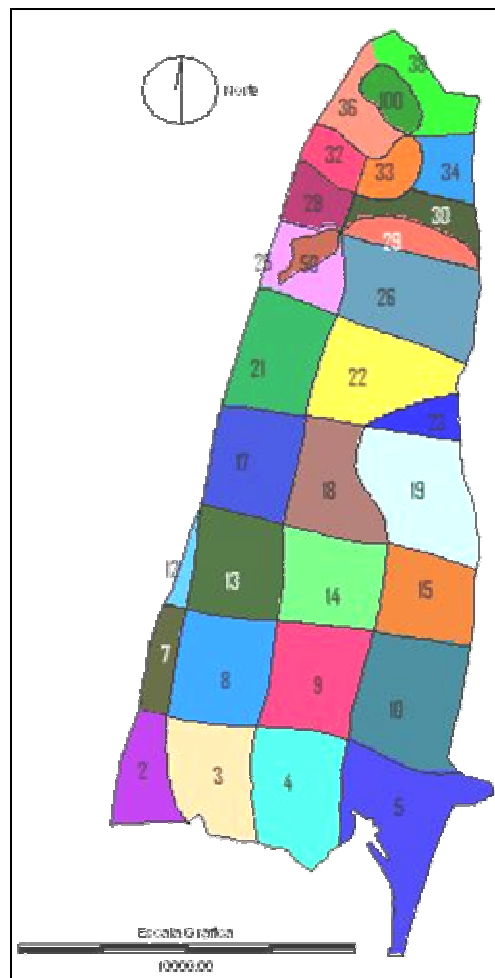


Figura 5-2 - Discretização do banhado do Taim. (Fonte Tassi, 2007)

Cenários de níveis baseados na previsão de precipitação.

A metodologia utilizada estabeleceu algumas alternativas para estimativa do nível futuro (entre t e $t + 1$), que são as seguintes:

Previsão baseada em chuva nula ou chuva zero: considera que a chuva é zero em todos os meses de análise, ou seja, que não houve precipitação nos meses de outubro a março. Esse tipo de previsão é interessante para avaliar a dependência das previsões de nível com relação às da chuva que ocorrem ao longo do horizonte de previsão.

Previsão baseada na chuva observada: considera a situação ideal, sendo, portanto, denominado também de “previsão perfeita”. Esta forma de previsão permite avaliar a capacidade do modelo hidrológico para previsão de nível.

Previsão baseada na chuva prevista: constitui o verdadeiro modelo de previsão hidroclimática, já que considera o acoplamento de um modelo meteorológico junto com um modelo hidrológico. Neste trabalho, será utilizada a chuva prevista utilizando três modelos de previsão de precipitação: o modelo Global do CPTEC/INPE, o modelo regional do CPPMET e um modelo estatístico baseado em indicadores climáticos.

Previsão baseada na normal climatológica: considera como entrada do modelo hidrológico os valores das normais climatológicas para os meses analisados. Este modelo é o que pode ser usado caso as previsões atmosféricas não estejam disponíveis.

Inicialmente foram feitas previsões de nível baseadas na chuva observada, que, obviamente, não poderiam ser obtidas operacionalmente, mas são importantes como base para comparação da qualidade das outras previsões, uma vez que podem ser entendidas como previsões de nível obtidas a partir de previsões perfeitas de chuva. Na análise da qualidade de previsão de níveis, a “previsão perfeita” é considerada a “previsão observada” nas comparações com os níveis previstos.

Simulações

As simulações do modelo Hidrológico-hidrodinâmico foram definidas a partir do número de membros de precipitação prevista pelo modelo global, e o período foi de 1997 a 2003. O modelo atmosférico Global gerou um total de 5 membros de precipitação prevista, e foi feita a média dos membros em escala mensal. O modelo regional estatístico e o modelo de regressão linear (Mod Reg) geram, cada um deles, uma série de precipitações previstas. Além da precipitação prevista pelos modelos atmosféricos, foram utilizadas a normal climatológica de precipitação e a chuva zero para os meses de interesse da previsão.

Estas previsões são utilizadas como entrada no modelo hidrológico para a previsão de níveis, totalizando 10 séries de níveis previstos para cada mês de análise.

As simulações utilizaram as previsões de precipitação como dados de entrada para o modelo hidrológico, gerando previsões de nível com até 6 meses de antecedência, para o período de outubro de 1997 a dezembro de 2003. Estas previsões foram realizadas atualizando o modelo hidrológico sempre no mês de setembro, estendendo-se pelos 6 meses seguintes em intervalo de tempo mensal. Até o último dia

antes do início da previsão, foram utilizadas, como dados de entrada do modelo hidrológico, as chuvas observadas.

Avaliação estatística das previsões de níveis

A avaliação da qualidade dos resultados de um modelo, para ser mais explicativa, deve utilizar mais de um índice, pois cada um deles tem sua característica própria e avalia o resultado apenas sob uma ótica. A seguir, são apresentados os índices utilizados na avaliação do modelo de previsão de nível:

O **erro médio quadrático (EQM)** é o índice que penaliza quadraticamente os erros, fazendo com que aqueles de maior magnitude influenciem mais significativamente na sua elevação. Assim, com este índice, a variabilidade do erro pode ser identificada e comparada entre os resultados (Equação 4).

$$EMQ = \sum \frac{(N_{Calc} - N_{Obs})^2}{n} \quad (4)$$

Outro índice utilizado foi o **coeficiente de persistência** (Equação 5), que varia de $-\infty$ a 1, cujos valores negativos indicam que o modelo proposto é pior que a precipitação persistida (normal climatológica): para $CP = 0$, os dois são equivalentes e, para valores positivos do CP, o modelo proposto é tanto melhor quanto mais próximo de for de 1 (SILVA, 2005).

$$S_{Persistência} = \sqrt{\frac{\sum (P_{obs} - P_{Pers})^2}{n - 1}} \quad (5)$$

Onde:

P_{obs} é o valor da precipitação observada mensal,

P_{pers} é a precipitação persistida (normal climatológica) e n é o número de meses da série.

$$\sigma = \left(\frac{S_{Persistência} - S_{modelo}}{S_{Persistência}} \right) * 100 \quad \longrightarrow \quad CP = 1 - \frac{\sum (P_{Prev} - P_{Obs})^2}{\sum (P_{Pers} - P_{Obs})^2} \quad (6)$$

Onde:

Pprev é a precipitação prevista,

Pobs é a precipitação observada e

Ppers a precipitação persistida.

Além destes critérios foi utilizado para avaliar a eficiência do modelo em relação aos dados observados o **coeficiente de Nash** (Equação 7), que compara a redução do desvio quadrático do erro do modelo com o desvio quadrático do modelo alternativo de prever sempre a média dos valores. Quanto mais próximo de 1 o valor de R^2 , melhor o ajuste do modelo. Se o valor de R^2 se encontrar entre 0,36 e 0,75, o modelo é classificado aceitável; acima de 0,75, ele é adequado; e igual a 1, o modelo é perfeito (GOTTSCHALK & MOTOVILOV, 2000).

$$NASH = R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1} (N_{Obs(t)} - N_{prev(t)})^2}{\sum_{i=1} (N_{Obs(t)} - \bar{N}_{prev(t)})^2} \quad (7)$$

Outro critério de avaliação é a comparação entre as **anomalias** de níveis previstos e observados (Equação 8 e 9). A anomalia é o desvio em relação à média e sua análise é importante porque, em geral, as previsões climáticas são mais confiáveis em valores relativos do que absolutos.

$$AO = \frac{NO - NMO_j}{NMO_j} \quad (8)$$

$$AP = \frac{NC - NMC_j}{NMC_j} \quad (9)$$

Onde:

AO é a anomalia observada; AP, a anomalia prevista; NC, o nível calculado; NO, o nível observado; NMO_j é média dos níveis observados no mês j; e NMC_j é a média dos níveis previstos no mês j.

RESULTADOS

Conforme descrito na metodologia, as previsões de precipitações foram utilizadas como dados de entrada para o modelo hidrológico, gerando previsões de níveis com até 6 meses de antecedência. Os dados foram analisados isoladamente (valores mensais), bem como em totais acumulados ao longo de até N meses, em que N variou entre 1 e 6 meses, correspondente ao horizonte máximo da previsão do modelo global. O modelo MRERS possui um horizonte de 4 meses e o modelo de regressão linear multivariada possui um horizonte de 3 meses.

Para a comparação das previsões de níveis com níveis observados, foram utilizadas previsões disponíveis no período de setembro de 1997 a dezembro de 2005.

Para realizar as previsões do período de seis meses, entre outubro de 1999 e março de 2000 (Figura 5-3), por exemplo, o modelo hidrológico foi iniciado e rodado com dados de chuva observada até o mês de setembro de 1999. A partir do mês de outubro de 1999, o modelo passou a utilizar a chuva prevista pelos modelos, e a previsão deste exemplo se estende até o mês de março. Esse procedimento é repetido para cada um dos modelos utilizados.

É importante lembrar que inicialmente foram realizadas previsões de nível baseadas na chuva observada que, obviamente, não poderiam ser obtidas

operacionalmente, mas são importantes como base para comparação da qualidade das outras previsões, uma vez que podem ser entendidas como previsões de níveis obtidos a partir de previsões perfeitas de chuva.

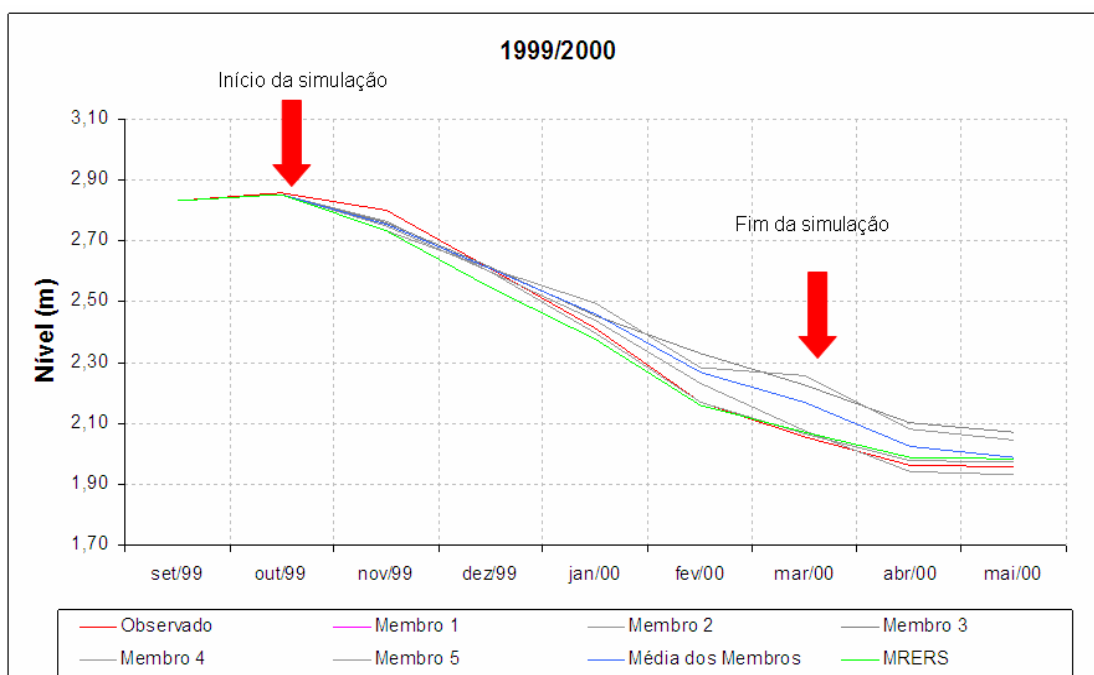


Figura 5-3 - Exemplo de previsão de nível com horizonte de 6 meses, iniciada no mês de outubro de 1999 e estendendo-se até março de 2000.

Observa-se na Figura 5-3, que as previsões iniciadas rapidamente se afastam dos valores com chuva observada. Para o ano de 1999/2000 não foi observado nenhum erro sistemático dos modelos, como superestimativa ou subestimativa.

A Figura 5-3 mostra a previsão de nível na forma em que seria utilizada operacionalmente. Entretanto, essa forma dificulta a avaliação da qualidade das previsões. Para a comparação entre as previsões foram organizadas tabelas em função dos horizontes de antecedência.

A Tabela 5-1 mostra os resultados dos resíduos entre a previsão de nível para o Banhado do Taim, tendo o modelo Global apresentado a maior diferença: 0,44 m entre o observado e o simulado. A maior diferença ocorreu no período de 2001, período com chuva acima da normal climatológica.

O Modelo MRERS, tanto para um horizonte de 4 meses como para de 6 meses, apresentou a maior diferença em fevereiro e março de 2002 com valores da ordem de 0,42 m. Com exceção dos anos de 1999 e 2003, que foram anos com precipitação dentro da normal climatológica, o modelo subestimou os níveis observados.

O modelo de regressão linear ModReg, que possui um horizonte de três meses, superestimou o nível nos anos de 1998, 1997 e 2003, sendo que esses períodos foram considerados de transição entre períodos secos e úmidos e/ou úmidos e secos. A maior diferença foi de 0,25 m. O modelo, de modo geral, apresentou diferenças pequenas em relação ao observado.

Além das previsões realizadas com as precipitações provenientes dos modelos climáticos, a Tabela 5-1 apresenta a simulação de níveis com a utilização das normais climatológicas como dados de entrada no modelo hidrológico para o período de outubro a março. Os resultados mostram que as diferenças entre o nível previsto utilizando a normal climatológica como dados de previsão foram de modo geral maiores que os apresentados pelos modelos de previsão de precipitação, indicando que houve um ganho na utilização de precipitação prevista na previsão de níveis. Galvão (1999) comprovou a viabilidade do uso de previsões climáticas na gestão de recursos hídricos ao verificar que esse tipo de informação gerou melhores resultados que os valores climatológicos.

Analisando a Tabela 5-1, observa-se que quanto maior é o horizonte de previsão maior são os resíduos. Por isso, o mês de outubro apresenta os menores resíduos, pois apresenta o menor horizonte de previsão. Vários autores (SILVA, 2005; ALLASIA, 2007; SALDANHA, 2009) comprovaram que quanto maior o horizonte da previsão, maiores são os erros, independente do modelo de previsão utilizado.

Tabela 5-1 - Resíduo entre volume observado e calculado, utilizando diferentes modelos com antecedência de 1 a 6 meses.

Out/Mar	Membro 1	Membro 2	Membro 3	Membro 4	Membro 5	Média dos membros	MRERS	Mod Reg	Normal	Chuva zero
out/97	0,039	0,031	0,023	0,071	0,016	0,036	0,060	0,0204	0,077	0,187
nov/97	0,092	-0,042	0,010	0,017	0,013	0,018	0,123	0,0888	0,172	0,387
dez/97	0,170	0,066	0,112	0,121	0,127	0,119	0,112	0,2510	0,332	0,615
jan/98	0,112	0,015	0,090	0,092	0,098	0,081	0,082		0,272	0,584
fev/98	0,118	-0,001	0,090	0,122	0,050	0,076	0,083		0,220	0,528
mar/98	0,160	-0,014	0,171	0,187	0,105	0,122	0,138		0,276	0,547
out/98	0,012	0,008	0,011	-0,008	0,003	0,005	0,061	-0,021	-0,015	0,082
nov/98	-0,019	-0,068	-0,024	-0,072	-0,022	-0,041	-0,035	-0,075	-0,074	0,098
dez/98	0,043	0,012	0,039	-0,050	0,059	0,021	-0,011	-0,007	-0,026	0,231

jan/99	0,050	-0,093	-0,015	-0,104	0,095	-0,014	-0,074	-0,067	0,320	
fev/99	0,063	-0,059	0,005	-0,132	0,188	0,013	-0,095	-0,083	0,433	
mar/99	-0,008	0,030	-0,002	-0,104	0,262	0,036	-0,085	-0,075	0,543	
out/99	0,037	0,032	0,044	0,054	0,070	0,047	0,066	-0,002	-0,020	0,106
nov/99	0,009	-0,033	-0,003	0,012	0,000	-0,003	0,061	-0,088	-0,110	0,135
dez/99	0,012	-0,099	-0,041	-0,029	-0,082	-0,048	0,034	-0,101	-0,141	0,187
jan/00	0,000	-0,137	-0,161	-0,062	-0,115	-0,095	0,010	-0,185	0,278	
fev/00	-0,006	-0,130	-0,170	-0,019	-0,200	-0,105	-0,011	-0,223	0,363	
mar/00	-0,015	-0,063	-0,140	0,020	-0,118	-0,063	-0,025	-0,236	0,370	
out/00	0,044	0,062	0,070	0,090	0,024	0,058	0,053	0,011	0,025	0,103
nov/00	0,059	0,136	0,095	0,134	0,000	0,085	0,041	0,013	0,001	0,187
dez/00	0,097	0,160	0,110	0,160	-0,071	0,091	0,062	0,050	0,005	0,291
jan/01	0,137	0,122	0,159	0,207	-0,042	0,117	0,122	0,013	0,404	
fev/01	0,167	0,110	0,205	0,182	-0,126	0,107	0,093	-0,021	0,451	
mar/01	0,322	0,278	0,358	0,388	0,091	0,287	0,257	0,146	0,711	
out/01	0,066	0,054	0,062	0,006	0,054	0,048	0,008	0,025	0,080	
nov/01	0,111	0,083	0,101	0,012	0,101	0,081	0,061	0,018	0,057	0,176
dez/01	0,184	0,107	0,140	0,056	0,186	0,134	0,148	0,056	0,125	0,327
jan/02	0,238	0,219	0,240	0,091	0,239	0,206	0,246	0,143	0,248	0,551
fev/02	0,330	0,324	0,242	0,126	0,243	0,253	0,339	0,335	0,734	
mar/02	0,437	0,387	0,180	0,255	0,300	0,312	0,418	0,399	0,772	
out/02	0,124	0,128	0,131	0,130	0,128	0,128	0,097	0,027	0,085	0,147
nov/02	0,087	0,121	0,132	0,039	0,133	0,102	0,070	-0,025	0,059	0,226
dez/02	0,194	0,209	0,162	0,132	0,291	0,198	0,117	0,125	0,185	0,434
jan/03	0,099	0,142	0,056	-0,073	0,181	0,081	0,017	0,094	0,446	
fev/03	0,069	0,156	0,060	-0,038	0,238	0,097	0,077	0,157	0,575	
mar/03	0,050	0,098	0,016	-0,182	0,104	0,017	0,035	0,086	0,578	
out/03	-0,085	0,015	0,024	-0,010	0,015	-0,008	-0,023	-0,067	-0,057	0,033
nov/03	0,022	0,039	0,067	0,116	0,105	0,070	-0,020	-0,016	0,009	0,179
dez/03	0,016	0,032	0,024	0,109	0,094	0,055	0,002	-0,014	-0,016	0,212

As previsões de níveis pelas diferentes formas de estimativa também podem ser comparadas quanto ao erro durante todo o período analisado. Obviamente, como em qualquer outro tipo de previsão, sempre há um erro envolvido na previsão de nível, e a tendência deste erro é crescer com o tempo ou com o aumento do horizonte. Para avaliar se o tempo de antecedência das previsões tem influência sobre o erro, foi realizada uma análise em função do horizonte de previsão.

A Figura 5-4 mostra o Erro Quadrático Médio (EQM). Aparentemente, o erro da previsão é maior quanto maior for a antecedência da previsão. O erro médio das previsões variou de 0,003 m a 0,005 m no primeiro mês, mas cresce para mais de 0,054 m para o horizonte de 6 meses. O modelo que apresentou o menor EQM foi o modelo de Regressão Linear. O maior erro foi com a utilização das normais climatológicas como entrada no modelo hidrológico. O EQM acumulado mostrou que o modelo regional estatístico e a médias dos membros apresentaram os menores valores de erro para um horizonte de 6 meses.

A análise do EQM mostra que em períodos muito úmidos os erros são maiores do que em períodos normais. Os modelos que apresentaram os menores erros quando os resultados foram analisados anualmente foram o modelo regional estatístico e a média dos membros do Modelo Global.

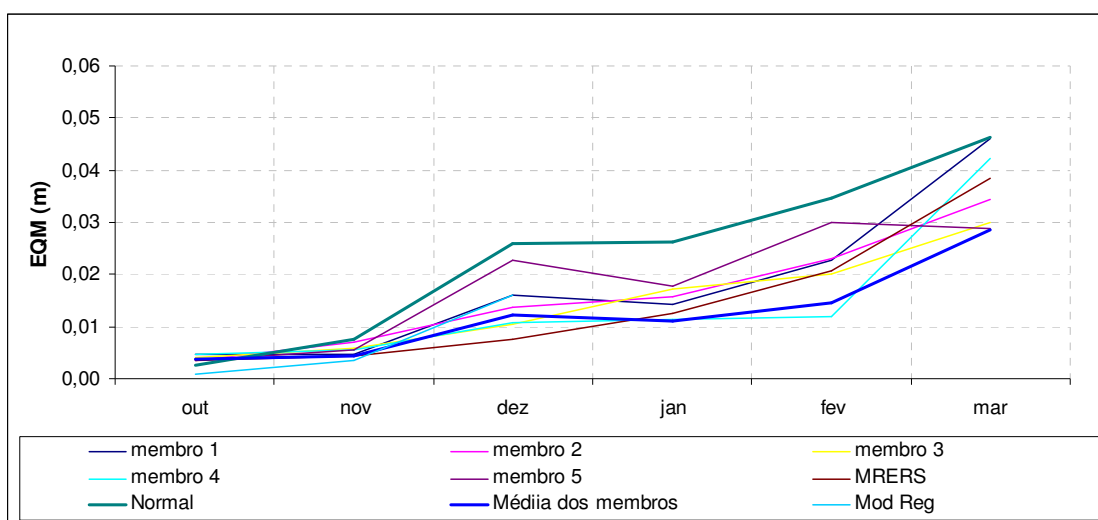


Figura 5-4 - Previsão de Médias do erro médio quadrático de previsão utilizando diferentes modelos com antecedência de 1 a 6 meses.

Os valores do coeficiente de Nash, (Tabela 5-2), ficaram dentro do aceitável e adequado, com exceção da previsão realizada com chuva zero ou nula, que, a partir do

terceiro mês de antecedência, não foi aceitável. Esses valores do coeficiente de Nash, a princípio, parecem altos e quase vale dizer que o modelo é perfeito mesmo com as previsões de precipitação não apresentando uma correlação tão boa, isso pode ser devido aos efeitos de armazenamento do sistema, que é “lento” (TASSI, 2007).

Na média dos meses o coeficiente de Nash, apresentou os maiores valores para os modelos: MRERS (0,95), média dos membros (0,96) e Mod Reg (0,98).

Tabela 5-2 - Coeficiente de Nash utilizando diferentes modelos utilizados.

	Membro 1	Membro 2	Membro 3	Membro 4	Membro 5	MRERS	Normal	Média dos membros	Chuva zero	Mod Reg
out	0,98648	0,989247	0,987579	0,985983	0,989272	0,989676	0,993502	0,98907	0,960813	0,99935
nov	0,981443	0,972181	0,976295	0,978042	0,977499	0,982429	0,969393	0,982304	0,814439	0,98847
dez	0,932315	0,942233	0,955363	0,954387	0,904249	0,967921	0,891327	0,948614	0,464293	0,93894
jan	0,926728	0,918958	0,912374	0,941744	0,909868	0,935867	0,866234	0,942833	0,132945	
fev	0,889669	0,888058	0,902576	0,94246	0,855258	0,899426	0,832522	0,929537	-0,15523	
mar	0,902452	0,901027	0,913864	0,949127	0,872027	0,911078	0,851925	0,9377	-0,14452	

Avaliando-se os resultados dos índices apresentados até aqui, os modelos que apresentaram o melhor desempenho foram os modelos MRERS, Mode Reg e a média dos membros, embora na análise dos resíduos o Membro 2 do modelo Global tenha mostrado satisfatória em alguns anos.

Uma forma de avaliar os resultados é a previsão de anomalias, como é usual na previsão de clima. A anomalia é o desvio em relação à média, e sua análise é importante porque, em geral, as previsões climáticas são mais confiáveis em valores relativos do que absolutos.

A anomalia observada é a diferença entre o nível observado em um determinado mês, por exemplo, junho de 2000, e o nível médio de junho, dividido pelo nível médio de junho (Equação 8). Assim, um mês com anomalia positiva apresentou nível mensal superior à média, e um mês com anomalia negativa, inferior a média. A anomalia pode ser expressa em números absolutos. Neste caso, o valor 0 indica um mês em que o nível observado foi igual à média. Da mesma forma, a anomalia prevista é a diferença entre o nível previsto para um determinado mês e a média dos níveis previstos para aquele mesmo mês, dividida pela média (Equação 9).

A anomalia de nível previsto é o desvio relativo do nível previsto em relação à média dos níveis previstos neste mesmo mês para todos os anos em que estão

disponíveis as previsões. A anomalia de nível observada é o desvio do nível observado em um mês qualquer em relação à média dos níveis observados neste mesmo mês no mesmo período de anos em que existem as previsões. Por exemplo, as previsões climáticas do modelo global do CPTEC disponíveis para este trabalho estendem-se de outubro de 1997 ao final de 2003. Neste período, o valor médio de níveis observados nos meses de dezembro é 3,1375 m, e o valor médio previsto com base nas previsões do CPTEC é 3,0350m para o membro 1. No mês de dezembro de 2000 o nível observado foi de 2,8981, e o nível previsto utilizando as previsões climáticas foi de 2,8000 m. A anomalia observada foi de - 0,08 ou 8% para menos, neste caso, o sentido da anomalia (negativo) foi previsto de forma adequada, isto é, foi previsto um mês de dezembro mais seco do que o normal e isto realmente ocorreu. No entanto, a intensidade da anomalia que realmente ocorreu foi igual à intensidade prevista, isso não ocorreu para todos os meses. A Figura 5-5 mostra os valores das anomalias previstas e observadas que foram calculadas para o período analisado (de 1997 a 2003).

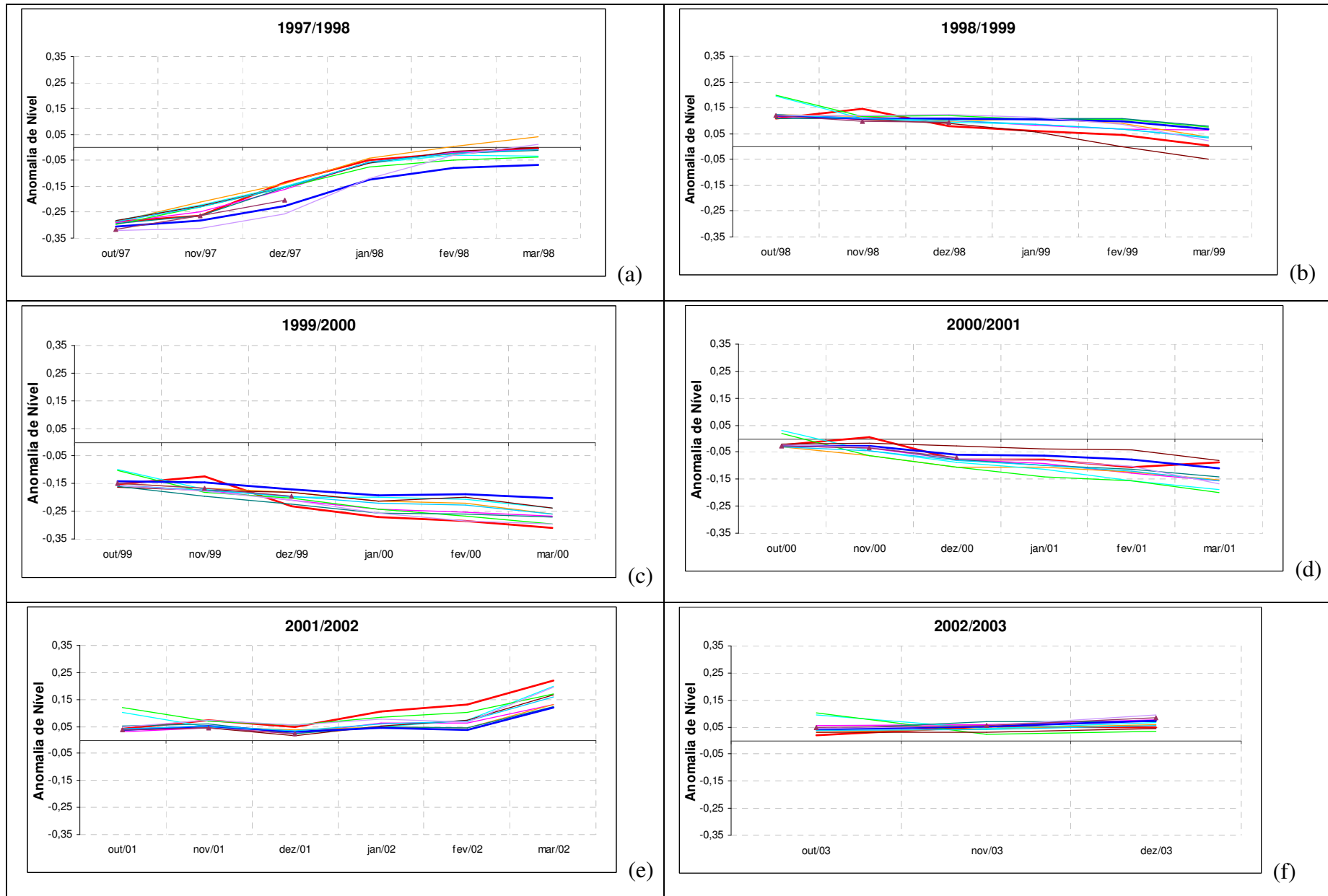


Figura 5-5 - Anomalia de nível mensal observada e prevista entre outubro e março para os anos de 1997 a 2003.

De maneira geral, as anomalias previstas e observadas têm um comportamento semelhante. Observa-se, por exemplo, que entre 1997 e 1998, o sentido da anomalia é crescente, embora a intensidade tenha sido subestimada.

Por outro lado, o período seco, entre 1998 e 1999, foi previsto como um período de transição, que passou a ser seco apenas no final do ano de 1999.

Analisando a Figura 5-5 percebe-se que em alguns anos considerados úmidos, temos um valor de anomalia negativo e crescente, como no caso de 1997/1998. Uma explicação para isso é o sinal da anomalia seguir o comportamento da precipitação. Na Figura 4.5, estão os valores anuais de precipitação para o período de 1993 a 2005. Verifica-se que o comportamento da precipitação entre o 1996 e 1997 é crescente, da mesma forma que o comportamento da anomalia para o mesmo período.

Analisando por esse ângulo, nota-se que o comportamento da anomalia é semelhante ao da precipitação, com exceção do ano de 2000/2001 que apresenta um comportamento diferenciado.

A maior parcela dos erros nas previsões de nível se deve à inicialização do modelo hidrológico com chuva zero para o período de análise. As previsões do modelo global mostraram que o membro 1 e a média dos membros apresentaram melhor desempenho.

É interessante observar que a correlação entre níveis previstos e observados é maior do que a correlação entre chuvas previstas e observadas. Isto ocorre porque no procedimento de transformação de chuva em nível, utilizando o modelo hidrológico, são incorporados dados de chuva observada até o momento em que inicia a previsão, e o nível do primeiro mês da previsão é dependente da chuva anterior. Isto significa que erros na chuva prevista têm apenas um impacto parcial no nível previsto. Assim, os erros da previsão da chuva são amortecidos.

Na análise feita até agora, os níveis da Lagoa Mirim utilizados foram os dados observados (série histórica), portanto, o efeito de jusante não influenciou nesta análise. O ideal seria se houvesse uma previsão prévia das cotas da Lagoa Mirim.

Foi realizada uma análise de sensibilidade da resposta do nível do Banhado do Taim em função das cotas da Lagoa Mirim. A Figura 5-6 mostra a dispersão do nível do Banhado do Taim em função do aumento das cotas da Lagoa Mirim. Com um aumento de 10% no nível da Lagoa Mirim, há um aumento no nível do banhado, mas a amplitude no aumento do nível é pequena, mas quanto maior o aumento no nível da Mirim maior é a amplitude no nível do Taim. Novas pesquisas deverão ser conduzidas neste sentido, de forma a melhorar a previsão do Banhado do Taim.

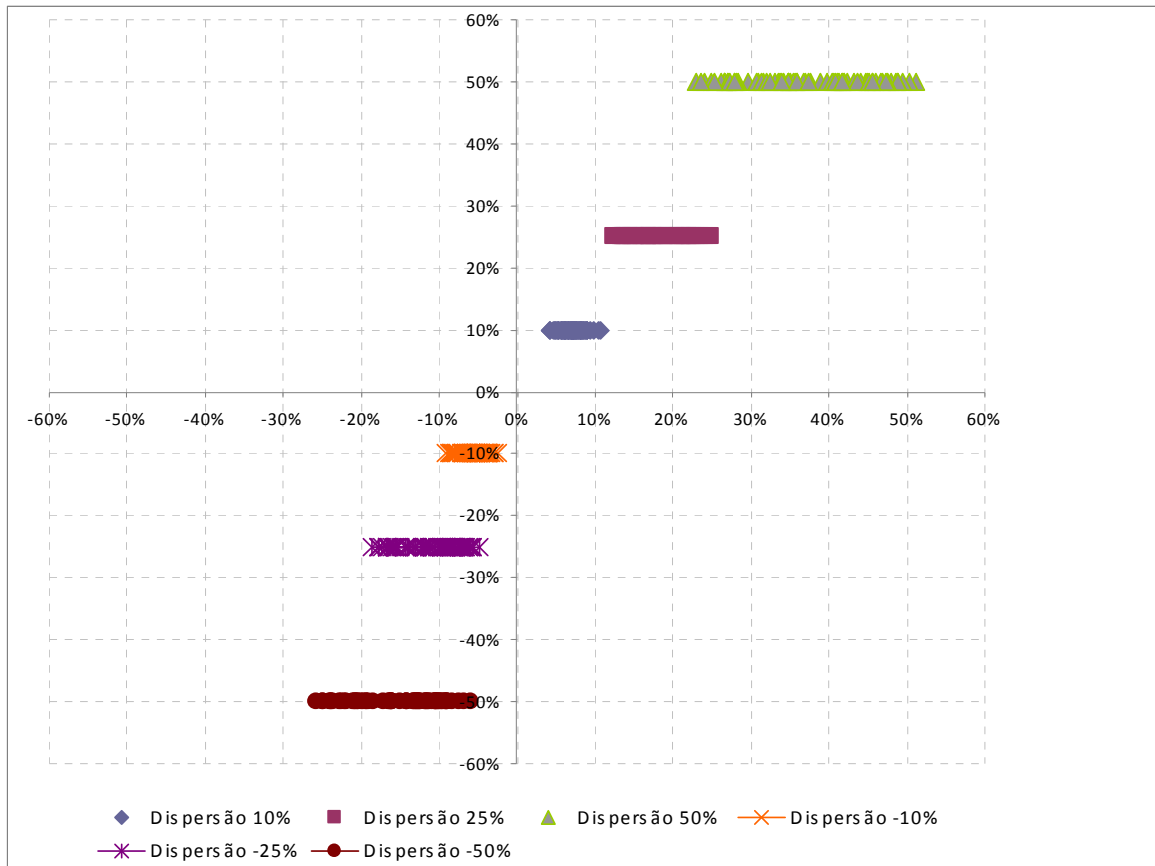


Figura 5-6 - Dispersão do nível do Banhado do Taim em função das cotas da Lagoa Mirim.

DISCUSSÃO

O acoplamento entre modelos atmosféricos e hidrológicos vem se desenvolvendo como nova tecnologia para aprimorar a simulação de processos hidrometeorológicos nos sistemas de apoio à decisão. A importância desta incorporação para o gerenciamento de recursos hídricos reside principalmente no fato de que os instrumentos de gestão, previstos em lei, exigem informações mais precisas para uma correta alocação de água, constituindo uma outorga dinâmica. Desta forma, podem-se minimizar conflitos pelo uso da água em momentos de escassez. O acoplamento aqui realizado foi unidirecional, com as informações de previsão de precipitação centradas no modelo hidrológico para a previsão de níveis para o Sistema Hidrológico do Taim.

Pelas características dos erros apresentados pelos modelos testados, o modelo de Regressão linear mostrou-se melhor em relação aos demais modelos. Outro modelo que apresentou bons resultados foi o modelo MRERS. Coincidentemente, ambos têm como preditores as Temperaturas da Superfície do Mar (TSMs).

As previsões de anomalia de nível não são perfeitas em termos de magnitude, mas demonstram que parte da variabilidade interanual do nível no Banhado do Taim pode ser prevista por um sistema baseado em simulação hidrológica e previsões climáticas sazonais.

A utilização das previsões de precipitação como entrada no modelo hidrológico, se mostrou mais eficiente do que a utilização da série histórica como entrada para previsão de níveis futuros. As previsões de níveis não mostraram erros sistemáticos, embora o período de previsão seja curto e caracterizado por anos úmidos e normais, não podendo ser testado o desempenho do modelo em anos excepcionalmente secos.

Os resultados são promissores, mostrando que a utilização das previsões meteorológicas pode ser uma ferramenta importante para a gestão dos recursos hídricos na região.

REFERÊNCIAS

- Allasia, D. G., 2007 Avaliação da previsão hidroclimática na Bacia do Alto Paraguai. Tese, Doutorado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006. 201 p.
- Anderson, M.L., Chen, Z.-Q., Kavvas, M.L., Feldman, A. 2002. Coupling HEC-HMS with Atmospheric Models for Prediction of Watershed Runoff. *Journal of Hydrologic Engineering*. V.7, n.4, jul, p.312-318
- Braga, A. C. F. M.; Galvao, C. O.; Araújo, E.; Souza, E. P.; Oliveira, K. F.; Cirne, W. 2005. Acoplamento operacional de modelos atmosféricos, hidrológicos e de gerenciamento de recursos hídricos. In: Simpósio Internacional de Climatologia, Fortaleza-CE.
- Benoit, R.; Kouwen, N.; Yu, W.; Chamberland, S.; Pellerin, P. 2003. Hydrometeorological aspects of the real-time ultra_nescale forecast support during the special observing period of the map. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 7, p. 877_889.
- Benoit, R.; Pellerin, P. 2000. Toward the use of coupled atmospheric and hydrologic models at regional scale. *Monthly Weather Review*, v. 128, p. 1681_1706.
- Chang, K. H., Kim, J. H. Cho, C. H. Bae, D. H., Kim, J. 2004. Performance of a coupled atmosphere-streamflow prediction system at the Pyungchang river IHP basin. *Journal of Hydrology*. Vol. 288, p. 210-224.
- Evans, J. P. 2003. Improving the characteristics of streamflow modeled by regional climate models. *Journal of Hydrology*. Vol. 284, p. 211-227.
- Galvão, C. O. 1999. Aplicabilidade em Recursos Hídricos da previsão de precipitação de longo prazo no Nordeste do Brasil. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
- Gottschalk, L.; Motovilov, Y. 2000. Macro-scale hydrological modeling – a scandinavian experience. In: *International Symposium on: 'Can science and society save the water crisis in the 21st century – reports from the World'*, Tokyo. Anais...Tokyo: Japan Society of Hydrology and Water Resources, p.38-45.

- Gutowski JR, W. J., Vörösmarty, C. J., Person, M., Ötles, Z., Fekete, B., York, J. 2002. A coupled Land- Atmosphere Simulation Program (CLASP): Calibration e Verification. *Journal of Geophysical Research*, Vol 107, NO. D16, 10.1029/2001JD000392.
- Habets, F., Lemoigne, P., Noilhan, J. 2004. On the utility of operational precipitation forecasts to served as input for streamflow forecasting. *Journal of Hydrology*. V.293, P.270-288.
- Hay, L.E., Clark, M.P., Wilby, R.L., Gutowski JR., W.J., Leavesley, G.H., Pan, Z., Arritt, R.W., Takle, E.S. 2002. Use of Regional Climate Model Output for Hydrologic Simulations. *Journal of Hydrometeorology*. V.3, out, p.571-590.
- Hay, L. E e Clark, M.P. 2003. Use of statistically e dynamically downscaled atmospheric model output forhydrologic simulations in three mountainous basins in the western United States. *Journal of Hydrology*. V. 282, p.56-75.
- Hopson, T. M. E. Webster, P J. 2004. Operational Short-Term Flood Forecasting for Bangladesh: Application of ECMWF Ensemble Precipitation Forecasts. In *Eos Trans. AGU*, 85(47), Fall Meet. Suppl.
- IPH, 1996. Comportamento Hidrológico do Banhado do Taim. Volume I - Relatório e anexos C, D, F, G e H. I. Instituto de Pesquisas Hidráulica, UFRGS. Porto Alegre. 166 p.
- Jasper, K.; Kaufmann, P. 2003. Coupled runoff as validation tools for atmospheric models at the regional scale. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 129, p. 673_693.
- Marques, J. R. Q. 2005. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul e sua relação com indicadores oceânicos. Porto Alegre, Tese (Doutorado em Fitotecnia, área de concentração em Agrometeorologia) Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Meneguzzo, F., Pasqui, M., Menduni, G., Messeri, G., Gozzini, B., Grifoni, D., Rossi, M., Maracchi, G. 2004. Sensitivity of meteorological highresolution numerical simulations of the biggest floods occurred over the Arno river basin, Italy, in the 20th century. *Journal of Hydrology*. Vol. 288, p. 37-56.
- Molders, N.; Ruhaak, W. 2002. On the impact of explicitly predicted runoff on the simulated atmospheric response to small-scale land-use changes-an integrated modeling approach. *Atmospheric Research*, v. 63, p. 3_38.
- Oliveira, K. F. 2006. Previsão de vazão em uma bacia do semi-árido usando previsões climáticas numéricas de precipitação. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- Seuffert, G., P. Gross, C. Simmer, E E.F. Wood, 2002: The Influence of Hydrologic Modeling on the Predicted Local Weather: Two-Way Coupling of a Mesoscale Weather Prediction Model e a Land Surface Hydrologic Model. *J. Hydrometeor.*, 3, 505–523.
- Saldanha, C. B. 2009. Previsão de longo prazo da umidade do solo na bacia do rio Uruguai.Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 161 p.
- Silva, B. C., 2005. Previsão hidroclimática de vazão para a bacia do rio São Francisco. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS. 272 p.
- Tassi, R. 2007. Gerenciamento hidroambiental de terras úmidas. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. P: 257.

- Tucci, C. E. M.; Clark, R. T.; Collischonn, W.; Dias, P. L. S.; Sampaio, G. O. 2003. Long term flow forecast based on climate and hydrological modeling: Uruguay river basin. *Water Resources Research*, Boston, v.39, n.7, p.3 (1-11).
- Villanueva, A.O. N. 1997. Simulação de áreas de inundação dinâmicas: canais compostos e wetlands. Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 125 p.
- Wood, A.W., Maurer, E.P., Kumar, A., Lettenmaier, D.P. 2002. Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States. *Journal of Geophysical Research*. V.107, n.20, p.6(1-15).
- Yu, Z.; Lakhtakia, M.; Yarnal, B.; White, R.; Miller, D.; Frakes, B.; Barron, E.; Duffy, C.; Schwartz, F. 1999. Simulating the river-basin response to atmospheric forcing by linking a mesoscale meteorological model and hydrologic model system. *Journal of Hydrology*, v. 218, p. 72_91.

6 PRECEITO PARA O GERENCIAMENTO DO USO DA ÁGUA NO SISTEMA HIDROLÓGICO DO TAIM

Cardoso, M. A. G.¹, e Motta Marques, D.¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS/IPH

RESUMO

Este trabalho objetiva trazer alguns subsídios ao gerenciamento do uso da água para fins de irrigação e conservação de ecossistemas, utilizando o Banhado do Taim como estudo de caso. Foram feitas estimativas de demanda hídrica para a irrigação, por meio de metodologia específica utilizada em planejamento de projetos de irrigação. A metodologia de previsão de níveis com a inserção de índices biológicos para gerar cenários futuros mostrou-se uma ferramenta promissora, permitindo analisar melhor a solução dos usos conflitantes existentes entre conservação da biodiversidade no Banhado do Taim e a irrigação de arroz na região.

Palavras-chave: Irrigação, recursos naturais, gerenciamento da água.

ABSTRACT

This work aims to provide some help for the management of water use for irrigation and ecosystems conservation, using the Taim wetlands as a case study. Estimates were made of water demand for irrigation by means of specific methodology used in irrigation projects planning. The methodology for forecasting water levels with the inclusion of biological indices to generate future scenarios proved to be a promising tool, allowing assessing better the solution for conflicting uses between biodiversity conservation in Taim wetlands and rice irrigation in the region.

Keywords: irrigation, natural resources, water management.

INTRODUÇÃO

O uso sustentável da água tem provocado grande preocupação, pois é considerada uma das bases do desenvolvimento da sociedade moderna. Muitos são os desafios que se relacionam à busca de soluções sustentáveis para problemas como: escassez e/ou excesso de

água, deterioração da qualidade da água e principalmente com a percepção inadequada da sociedade para com os recursos hídricos (RUHOFF, 2004).

O planejamento de uma bacia hidrográfica é uma necessidade para uma sociedade que faz uso crescente de água, e que tende a ocupar a bacia de forma desordenada, inclusive avançando sobre áreas de preservação ou áreas impróprias para uso. O gerenciamento dos recursos hídricos deve ser associado à gestão ambiental e articulado com o controle do uso da terra.

Os múltiplos usos dos recursos hídricos e a conservação dos sistemas naturais constituem um desafio da sociedade brasileira e passa por vários aspectos, relacionados com as condições sociais e econômicas.

O Banhado do Taim está inserido na Estação Ecológica do Taim (ESEC Taim), uma unidade de conservação federal criada pelo Decreto no 92.963, de 21 de julho de 1986, com o objetivo de proteger amostras dos Banhados do Sul e da fauna ameaçadas de extinção e preservar o local de passagem de aves migratórias (IBAMA, 2003). Esta Estação Ecológica foi criada após a desistência de implantar um grande projeto de irrigação na área do banhado. Na década de 60, foi elaborado pelo então Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) um projeto de macrodrenagem cujo objetivo era a utilização da área inundada do banhado do Taim para o plantio de arroz (*Oriza sativa* L.) irrigado.

Até junho de 2003, a ESEC Taim englobava uma área de cerca de 31.500 ha, localizada entre o Oceano Atlântico e a Lagoa Mirim, no sul do estado do Rio Grande do Sul, estando parte no município de Rio Grande e parte no município de Santa Vitória do Palmar (FIGURA 5.1). Em junho de 2003, foi divulgado um anúncio presidencial ampliando para 110.000 ha a área da ESEC Taim, que passou a incluir toda a extensão territorial entre a Lagoa Mangueira e o Oceano Atlântico. Em dezembro de 2004, o Supremo Tribunal Federal cassou a liminar da ampliação da reserva, que retornou ao limite antigo. A Figura 6-1 mostra a localização geral da ESEC-Taim, o limite do Banhado do Taim e a lagoa Mangueira.

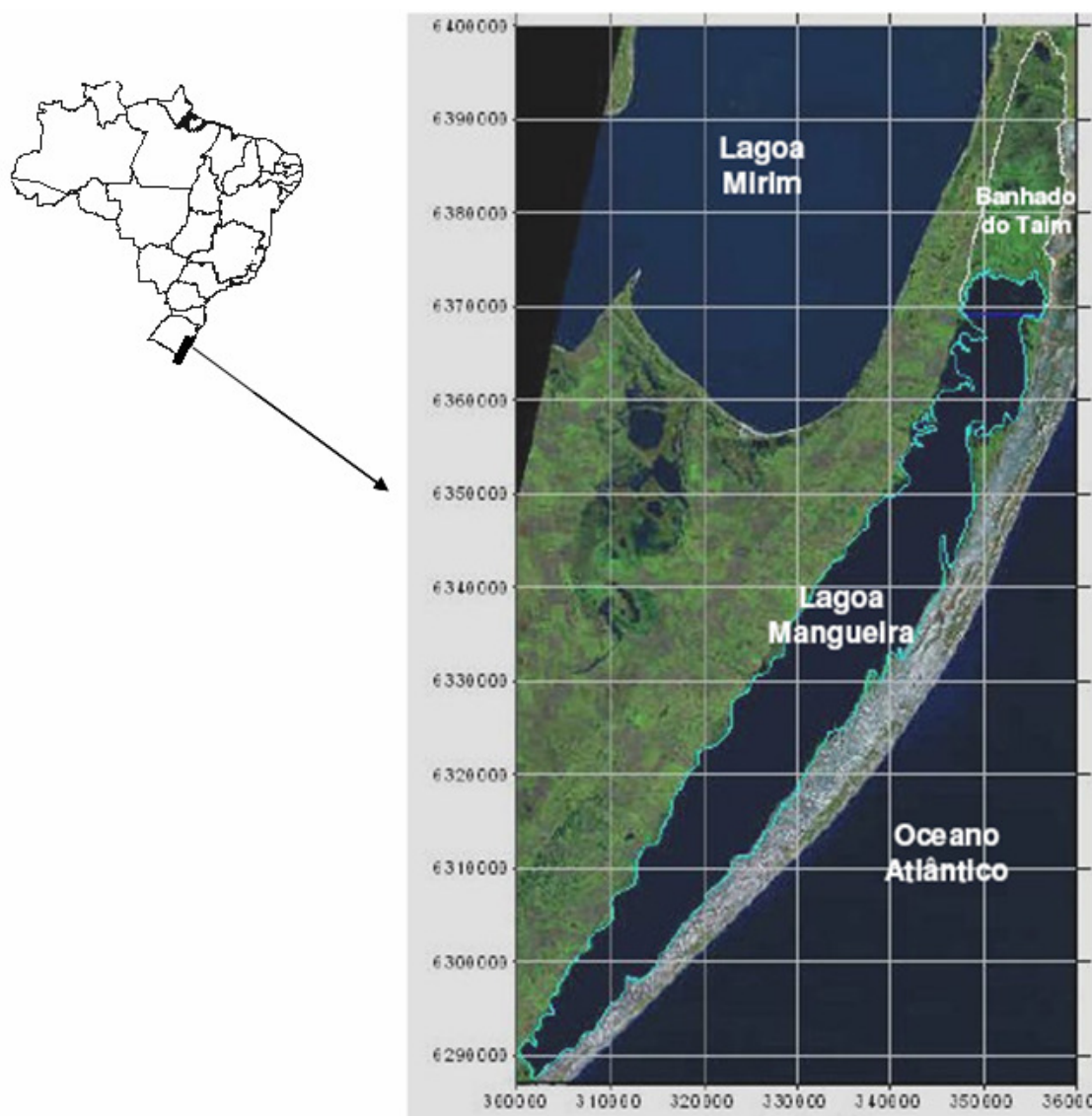


Figura 6-1 - Delimitação do contorno da Lagoa Mangueira e do Banhado do Taim sobre composição colorida RGB de imagem do satélite Landsat5 (WGS 84, UTM-22S)

A Lagoa Mangueira e o Banhado do Taim constituem subsistemas do Sistema Hidrológico do Taim, que é composto por: Sistema Norte (composto pela Lagoa Caiubá, Lagoa das Flores e o Banhado do Maçarico), Lagoa Mangueira (é formado pela Lagoa Mangueira e sua bacia de contribuição) e Sistema do banhado do Taim (composto pelas lagoas Nicola, Jacaré na sua parte norte e esta área é composta por terras úmidas (*wetlands*) na maior parte do ano), cuja principal fonte de afluência de água é a precipitação (VILLANUEVA, 1997). A Lagoa Mangueira apresenta uma grande superfície líquida (~820km²), sendo uma importante bacia de contribuição ao Sistema Hidrológico do Taim. O Banhado do Taim recebe água de uma bacia pouco maior do que a própria Lagoa Mangueira,

ou seja, a maior parcela de entrada de água se dá por precipitação direta sobre o sistema. As saídas de água do sistema ocorrem basicamente por evaporação, demanda para irrigação e, quando o nível está alto, escoamento para a Lagoa Mirim por um único ponto, uma comporta (PAZ, 2003; VILLANUEVA, 1997) que foi implantada pelo DNOS como parte do esquema de drenagem da área.

A irrigação das lavouras de arroz interfere diretamente na quantidade de água e na conservação das condições ambientais da Lagoa Mangueira e do Banhado do Taim, pois o método de irrigação por inundação exige a permanência de uma lâmina d'água sobre o plantio por um período de aproximadamente 90 dias em pleno verão (MOTTA MARQUES et al., 2002), período que coincide com os meses em que ocorrem as maiores taxas de evaporação. Assim, a extração de água para a irrigação através de bombeamento é um uso de água conflitante com a manutenção do ecossistema aquático (VILLANUEVA et al., 2000).

No conflito, se por um lado temos a conservação do ecossistema do Banhado do Taim, por outro lado, a cultura do arroz irrigado tem grande importância social e econômica para o estado do Rio Grande do Sul. O estado responde por cerca de 50% da produção nacional de arroz. No âmbito regional, esta cultura é a principal atividade econômica no município de Santa Vitória do Palmar, sendo praticamente a única fonte de empregos diretos e indiretos da população local. O Valor Bruto da Produção Agro-pecuária (VBPA) em 2004 representava mais do que 92% do seu PIB (IRGA 2006). No período 1998 a 2003, Santa Vitória do Palmar foi o segundo maior produtor de arroz do Estado, sendo responsável por 11,8% do arroz gaúcho (RIO GRANDE DO SUL, 2005).

Os problemas do uso da água no entorno da Estação Ecológica do Taim persistem, principalmente, pela falta de um plano de manejo que estabeleça um regramento do uso.

Desta forma, é necessário o estabelecimento de um conjunto de regras de retirada de água da Lagoa Mangueira, prevendo, inclusive, restrições temporárias, de forma a garantir o atendimento à irrigação e a conservação das espécies que habitam o Banhado do Taim.

O objetivo desse trabalho é apresentar subsídios para o gerenciamento dos múltiplos usos da água da Lagoa Mangueira, de forma a contribuir com o planejamento da utilização dos recursos hídricos deste sistema hidrológico.

METODOLOGIA

A sequência metodológica de trabalho compreende três etapas:

- ✓ Previsão de níveis futuros;
- ✓ Identificação do padrão do Banhado do Taim a ser conservado a partir do regime hidrológico; e
- ✓ Definição de volume possível de ser retirado para irrigação, com base no consumo estimado pela Agencia Nacional de Águas (ANA).

A metodologia é apresentada na Figura 6-2, em forma de fluxograma.

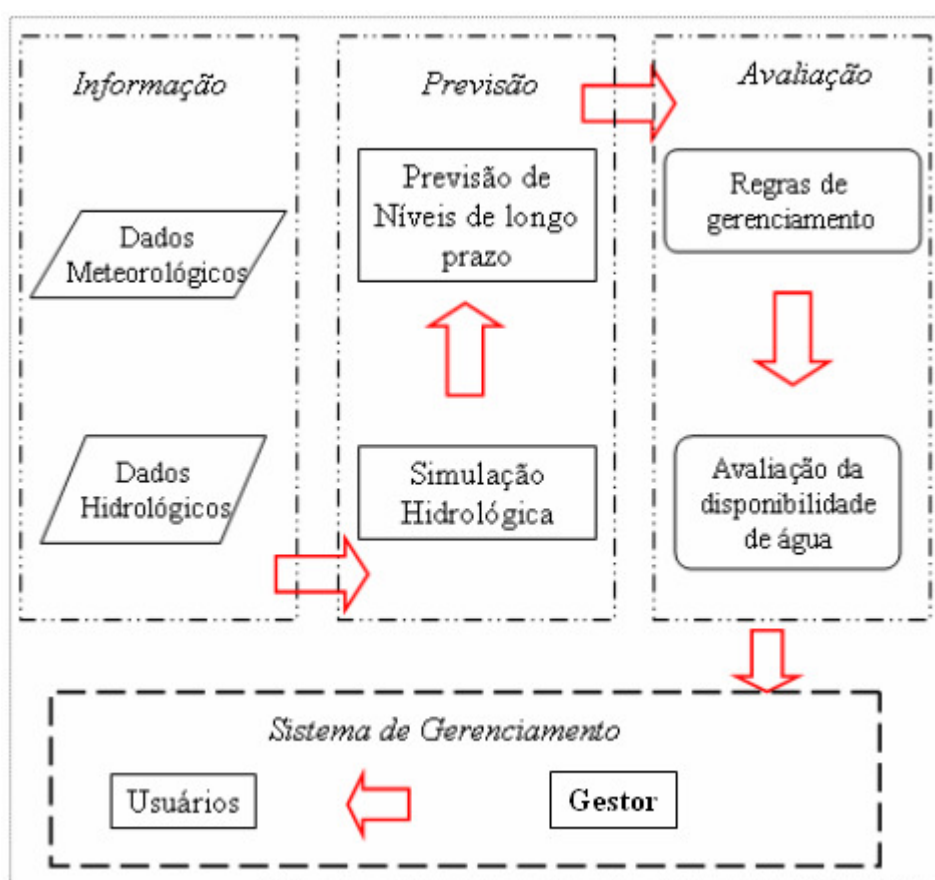


Figura 6-2 - Fluxograma das etapas metodológicas.

Previsão de níveis futuros

Quase todas as decisões tomadas no planejamento dos recursos hídricos têm uma forte dependência do conhecimento antecipado das condições atmosféricas e hidrológicas para diferentes escalas de tempo e espaço. Previsões para até alguns meses no futuro podem, por exemplo, auxiliar agricultores a se preparar para o próximo ciclo de irrigações (SILVA, 2005).

Dentro desse contexto, os recentes desenvolvimentos obtidos na previsão de nível, com base em previsões atmosféricas, vêm ao encontro das necessidades do setor agrícola. Nesse sentido, considerou-se que o conhecimento prévio do comportamento hidrológico esperado para o Banhado do Taim para um determinado horizonte de planejamento seria uma ferramenta interessante, de forma que a gestão da água do sistema hidrológico pudesse ser realizada de forma a eliminar ou minimizar o conflito entre os usos irrigação e conservação ambiental com a definição prévia da área possível de ser irrigada, os níveis previstos no banhado e na lagoa com a retirada de água para a irrigação e sua relação com o comportamento de espécies indicadoras da situação ambiental da ESCE Taim. Assim, os usuários poderiam saber com determinada antecedência a área a ser plantada, evitando investimentos desnecessários.

A previsão meteorológica foi realizada com a utilização de três modelos, um numérico de mesoescala e dois estatísticos de escala regional de previsão climática respectivamente: GLOBAL, MRERS e ModReg.

O GLOBAL-CPTEC-COLA é um modelo numérico de previsão com resolução de 100 km, desenvolvido conjuntamente pelo National Centers for Environmental Prediction (NCEP) e (COLA) Center for Ocean, Land and Atmosphere Studies, possuindo um horizonte de 6 meses. MRERS é um modelo estatístico de previsão climática em escala regional de área limitada, desenvolvido pela Universidade Federal de Pelotas, cujo horizonte é de 4 meses. O Modelo ModReg é um modelo estatístico, baseado em índices climáticos, tendo um horizonte de 3 meses.

Neste estudo, optou-se pela utilização de um modelo hidrológico - hidrodinâmico de células (VILLANUEVA, 1997). O modelo hidrológico será inicializado com dados de precipitação gerados por modelos atmosféricos de previsão de precipitação. Alguns pesquisadores chamam essa inicialização de “acoplamento unidirecional”.

As previsões de precipitação foram utilizadas como dados de entrada para o modelo hidrológico, gerando previsões de vazão com até 6 meses de antecedência. Estas previsões foram realizadas iniciando sempre no dia 6 de cada mês, estendendo-se pelos 6 meses seguintes em intervalo de tempo mensal. Para realizar as previsões do período de seis meses entre outubro de 1998 e março de 1999, por exemplo, o modelo hidrológico foi iniciado com a previsão do mês de outubro, e até o último dia antes do início da previsão foram utilizadas, como dados de entrada do modelo hidrológico, as chuvas observadas. Os dados de entrada do modelo hidrológico são: precipitação, evaporação, irrigação e nível da Lagoa Mirim.

Identificação do padrão do Banhado do Taim a ser conservado a partir do regime hidrológico

Para identificar e poder dizer qual é o padrão do Banhado do Taim (em termos hidrológicos e biológicos) que se quer conservar, é preciso primeiramente estabelecer uma condição de base do sistema, que permitirá a comparação com a atual condição do Banhado, e reconhecer se ele está sofrendo modificações em relação à sua condição original.

Para essa identificação, pode ser utilizada a caracterização hidrológica e biológica, que estabelece alguns padrões hidrológicos (componentes do hidroperíodo, sazonalidade, níveis máximos e mínimos, amplitude, entre outros) e a biológica para fornecer subsídios para definir as variáveis ambientais que são de maior importância no processo de seleção do habitat, identificando as espécies (vegetais e animais) que melhor representam o banhado, pois elas servirão de indicadores biológicos.

Os estudos apresentados por Villanueva (1997) e IPH (1996) definiram os níveis máximos e mínimos aceitáveis para o Banhado do Taim, baseados na caracterização hidrológica.

Tassi (2007) utilizou uma caracterização baseada na caracterização hidrológica e biológica. Para isso, a autora identificou espécies animais e vegetais facilmente observáveis no ecossistema do Banhado do Taim, identificou as variáveis hidrológicas ótimas para cada espécie indicadora, definiu a relação entre os valores das variáveis hidrológicas e as condições do habitat relativas à espécie indicadora, criando assim os Índices de Adequabilidade (IAs). A Tabela 6-1, mostra as espécies selecionadas.

Tabela 6-1 - Variabilidade sazonal do hidroperíodo, com os valores máximos e mínimos.

(Fonte: Adaptado Tassi, 2007).

Espécie	Limite Mínimo			Limite Máximo		
	Out	Nov	Dez	Out	Nov	Dez
Nível Hidrológico	2,61	2,41	2,13	3,95	4,05	4,06
Capivara	1,23	1,23	1,23	3,18	3,18	3,18
Cisne-do-pescoço-preto (Máx nun. Hab)	2,45	2,45	2,45	2,71	2,71	2,71
S. giganteus	1,86	1,86	1,86	3,26	3,26	3,26
Z. bonariensis	2,44	2,44	2,44	3,26	3,26	3,26

Essa metodologia tem uma vantagem em relação à outra metodologia, pois permite uma maior flexibilidade de gerenciamento dos recursos hídricos, já que permite operar com níveis variáveis dentro de uma faixa de valores “adequadamente” definidos em função não só da hidrologia, mas também levando em conta a parte de fauna e flora que representam o habitat do SHT. Esta metodologia apresenta assim uma proposta de gerenciamento que atenda os usos compartilhados entre a conservação do ecossistema e a produção de arroz. O hidroperíodo proposto, Figura 6-3, respeita as necessidades de várias espécies que formam o habitat do Banhado do Taim.

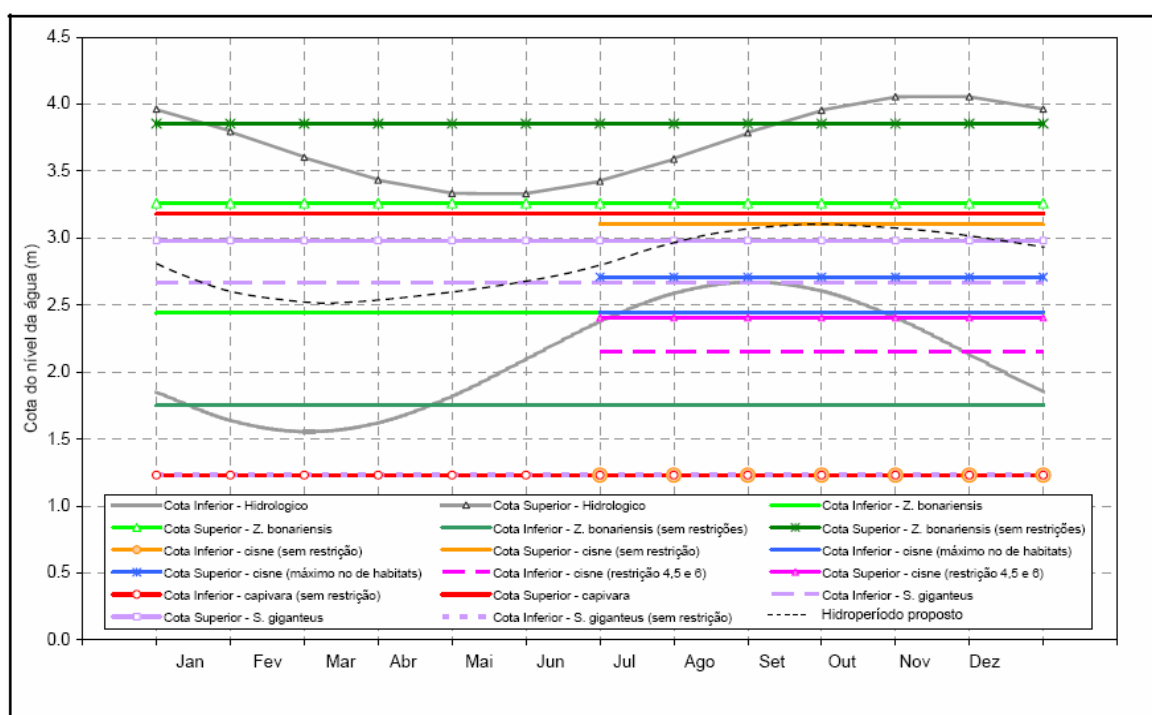


Figura 6-3 - Proposta de hidroperíodo respeitando os limites impostos para as espécies indicadoras e sazonalidade no Banhado do Taim/RS.

(Fonte: Tassi, 2007)

Cotejando a previsão de níveis com os IAs propostos por Tassi (2007), e identificada a condição crítica para a manutenção do ecossistema, é possível alertar os agricultores que poderá haver restrições com relação à disponibilidade de água, podendo haver negociação em termos de área a ser plantada. Uma situação contrária também pode ocorrer.

Definição de volume possível de ser retirado para irrigação com base no consumo da Agência Nacional de Águas (ANA)

Cálculo do consumo real da necessidade de água para o arroz irrigado por inundação

A quantidade de água exigida pela cultura para o cultivo do arroz é o somatório da água necessária para saturar o solo, formar uma lâmina de água, compensar a principalmente a evapotranspiração e, por perdas laterais, de canais, e por percolação que ocorre no solo. A quantidade de água depende das condições climáticas, características físicas do solo, do ciclo evolutivo da cultivar, entre outros. E os maiores consumos apontados na literatura variam em torno de 15.000 m³/ha (IRGA, 2007).

A água é muito importante para o arroz irrigado por inundação na garantia de obtenção de altos rendimentos de grãos. Tem como vantagens o aumento na disponibilidade de nutrientes, o auxílio no controle de plantas daninhas e o efeito termo-regulador da lâmina de água. Apesar dessas vantagens, a irrigação contínua tem desvantagens como a demanda de um elevado volume de água e a possibilidade de saída de nutrientes e pesticidas para os mananciais hídricos (MACEDO E MENEZES, 2011). No cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto, o início da irrigação da lavoura depende das condições de umidade do solo. É comum utilizar-se de banhos do solo para viabilizar o processo de germinação e emergência de plântulas. Mantendo esta umidade no solo, inicia-se a inundação 30 dias após a emergência das plântulas para cultivares precoces, e até 40 dias para cultivares de ciclo médio e longo.

Segundo o censo da safra 2004/2005 (IRGA, 2006) para a região sul do Rio Grande do Sul, onde se localiza o Sistema Hidrológico do Taim, o sistema de cultivo predominante da área é o cultivo convencional em linha (39,7%). Os outros sistemas de cultivos utilizados em percentagens da área cultivada são: mínimo (31%), convencional a lanço (20,8%), pré-germinado (0,1%) e o direto e outros (8,4%).

As demandas para irrigação do arroz irrigado por inundação dependem do clima do local, do ano e das características de cada lavoura, como solo, condições topográficas e manejo da irrigação.

Para o cálculo das estimativas de demandas de água, este trabalho seguiu a metodologia adotada pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2009), que uniformizou a estimativa da demanda usada na análise dos pedidos de outorga na bacia hidrográfica do rio Quaraí, estimando um consumo padrão por hectare. Nos cálculos, utilizou-se a planilha para a determinação das necessidades de irrigação (ANA, 2008).

A metodologia de cálculo da planilha, as estimativas dos volumes mensais são feitas a partir de parâmetros meteorológicos, das características das culturas, do método de irrigação e da eficiência de uso da água, descritas a seguir.

Precipitação provável - É a precipitação que apresenta uma probabilidade específica de ocorrência. Para a sua determinação, são necessárias séries históricas de dados. No caso de ser considerada apenas a precipitação média, como frequentemente ocorre em projetos de irrigação, o risco de falhas no suprimento aumenta consideravelmente. Em agricultura irrigada normalmente usam-se valores de precipitação provável com 75% ou 80% de probabilidade de ocorrência.

A precipitação mensal provável (P_{mp}) foi estimada em função das médias mensais de precipitação (T_m), usando-se as equações empíricas desenvolvidas pela FAO/AGLW (Equação 1). Estas equações foram desenvolvidas com base nas análises de diversos climas, considerando-se um nível de garantia de 80%.

$$\begin{aligned} P_{mp} &= 0,6T_m - 10 \quad (\text{para } T_m < 70 \text{ mm}) \\ P_{mp} &= 0,8T_m - 24 \quad (\text{para } T_m > 70 \text{ mm}) \end{aligned} \quad (1)$$

Precipitação efetiva - Em agricultura, a precipitação efetiva é definida como a parte da precipitação que fica armazenada no solo até a profundidade das raízes e que fica disponível para os cultivos. É a diferença entre a precipitação total e as diferentes perdas com o escoamento superficial, percolação além da zona radicular do solo e evaporação da água interceptada pela vegetação. A precipitação efetiva é um parâmetro de difícil determinação. É principalmente influenciado pela quantidade e intensidade da chuva, declividade do terreno, tipo, textura, estrutura e umidade do solo, sistema de cultivo, práticas culturais e conservacionistas, profundidade do sistema radicular e demais características das culturas.

A partir do cálculo da precipitação mensal provável foi feita a estimativa da parcela que ficaria disponível para ser usada pelas culturas, determinando-se a precipitação provável e efetiva (P_{pe}). Para tanto, foram usadas as fórmulas desenvolvidas pelo USDA Soil Conservation Service (Equação 2).

$$P_{pe} = \frac{P_{mp} \cdot (125 - 0,2 \cdot P_{mp})}{125} \quad (\text{para o } P_{mp} < 250 \text{ mm}) \quad (2)$$

$$P_{pe} = 125 + 0,1P_{mp} \quad (\text{para o } P_{mp} > 250 \text{ mm})$$

Evapotranspiração de referência (E_{to}) - A evapotranspiração de referência é um parâmetro usado para definir a água que é evapotranspirada em uma superfície de solo coberta

por vegetação com características específicas, quais sejam, vegetação rasteira (gramíneas), cobrindo uniformemente todo o solo, com altura entre 8 e 15 cm, em fase de crescimento ativo e sem restrição hídrica. Conceitualmente, os únicos parâmetros que afetam a E_{to} são os parâmetros climáticos, conseqüentemente, a E_{to} é um parâmetro que pode ser calculado a partir de dados de clima obtidos em estações meteorológicas.

Evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultura - A partir da evapotranspiração de referência (E_{to}), é possível estimar a evapotranspiração da cultura a ser irrigada, por meio dos coeficientes de cultivo (K_c), conforme a Equação 3:

$$E_{tc} = E_{to} * k_c \quad (3)$$

Na tentativa de englobar essas possíveis correções, a planilha apresenta o coeficiente de ajuste (K_{aj}) para que seja possível a incorporação dessas correções nos cálculos. No caso da irrigação por inundação, este coeficiente é usado para corrigir as demandas em função de necessidades adicionais para a saturação do perfil do solo e formação inicial da lâmina de inundação no primeiro mês de irrigação. Para esta finalidade, o valor de K_{aj} deverá ser maior do que 1, e para a região de Santa Vitória do Palmar é igual a 1,4.

A eficiência de irrigação (E_i), considerada na planilha, é a relação entre o volume mensal correspondente às necessidades de irrigação líquida e o volume mensal captado para irrigação da respectiva área. Portanto, engloba as perdas da captação, condução e aplicação. A Resolução nº 707/2004 (ANA, 2008) enumera as eficiências mínimas para cada método de irrigação para o uso da água ser considerado racional. Para irrigação por inundação, a eficiência deverá ser de no mínimo 50%, esse valor de eficiência é o mínimo estipulado pela ANA.

A partir dos volumes mensais de necessidade hídrica das culturas, pode-se determinar o consumo médio mensal por hectare ($l/s/ha$), conforme a Equação 4:

$$C_m = \frac{V \left(\frac{m^3}{mês} \right) * 1000 \left(\frac{l}{m^3} \right)}{N \left(\frac{dias}{mês} \right) * 24 \left(\frac{h}{dia} \right) * 3600 \left(\frac{s}{h} \right) * A (ha)} \quad (4)$$

Em que:

C_m : consumo médio mensal ($l/s/ha$);

V : demanda mensal da irrigação ($m^3/mês$);

N : número de dias do mês; e

A : área irrigada (ha).

O consumo médio mensal por hectare (l/s/ha) supõe um suprimento contínuo de água, ou seja, representa a necessidade de irrigação caso esta fosse realizada continuamente ao longo do tempo. É um valor adequado para ser usado em comparações de consumos, sendo também denominado de vazão contínua por hectare, vazão específica ou vazão distribuída.

Os dados usados nas estimativas são apresentados nas tabelas 6-2 e 6-3, são resultados do cálculo da precipitação provável efetiva e evapotranspiração de referência que será utilizada na determinação da necessidade mensal de água para a irrigação.

Tabela 6-2 - Dados meteorológicos usados nas estimativas em mm/mês.

	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Eto	145.8	127.3	108.5	80.4	59.9	44.6	45.7	56.4	70.8	92.6	115.8	138.9
Ppe*	49.6	56.3	48.1	48.0	53.4	58.1	65.9	58.5	61.7	53.8	45.5	42.1

* Precipitação provável efetiva estimada por fórmulas empíricas.

Tabela 6-3 - Dados meteorológicos usados nas estimativas em mm/mês. Pertencente à base de dados FAOCLIM.

	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Eto	139.0	108.0	89.0	51.0	27.0	14.0	18.0	33.0	52.0	87.0	111.0	137.0
Ppe*	60.6	67.7	51.6	45.3	49.3	62.2	60.6	64.0	65.5	56.5	39.5	36.7

* Precipitação provável efetiva estimada por fórmulas empíricas.

A área utilizada nas simulações foi de 1,0 ha, pois o objetivo da simulação é o cálculo do consumo por hectare.

No preenchimento da planilha foram utilizados os dados técnicos e os parâmetros que serão descritos a seguir. Foram testados 3 cenários.

- 1) Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos a partir dos dados mensais da base FAOCLIM, o $K_c = 1,2$ considerando-se a superfície água + arroz (Boletim FAO 56, Allen et al., 1998); na formação da lâmina e saturação do perfil usou-se uma correção do consumo para 30% maior, no primeiro mês de irrigação. Para essa finalidade, foi utilizado um coeficiente de ajuste (kaj) de 1,4. O ciclo de irrigação da cultura é considerado como sendo de 100 dias. Entretanto, para dar maior flexibilidade aos produtores, o período de irrigação

considerado foi de 4 meses. A eficiência de uso da água na irrigação é 50%, com a duração de captação de água de 18 h/dia.

- 2) Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos a partir dos dados mensais da região do Banhado do Taim, utilizado um $K_c = 1,2$, o coeficiente de ajuste (kaj) de 1,4 no primeiro mês, o ciclo de irrigação de 4 meses e a duração da captação de água diária de 21 h/dia.
- 3) Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos a partir dos dados mensais da base FAOCLIM, utilizado um $K_c = 1,2$, o coeficiente de ajuste (kaj) de 1,4 no primeiro mês, o ciclo de irrigação de 4 meses e a duração da captação de água diária de 21 h/dia.

RESULTADOS

Os resultados das estimativas estão apresentados nas Tabelas 6-4, 6-5 e 6-6. Considerando-se os dados e parâmetros usados, os meses que apresentaram maior demanda foram janeiro e dezembro, com um consumo médio de 0,94 l/s/ha. Em janeiro o consumo foi um pouco menor, 0,80 l/s/ha. O consumo, considerando o ciclo total de irrigação, foi de 8.855,0 m³/ha. Esse volume corresponde a uma lâmina de irrigação de 885 mm no ciclo da cultura. Se for considerado um ciclo de irrigação de 100 dias, corresponde a um valor médio de 8,8 mm/dia para o cenário 1, com eficiência de 50%.

Tabela 6-4 - Estimativa de consumo para irrigação do arroz (vazão contínua em l/s/ha) para os pedidos de outorga segundo a ANA. Supondo o cenário 1.

<i>Mês</i>	<i>Volume mensal (m³)</i>	<i>Consumo Médio com base mensal (l/s/ha)</i>
Nov	2.124,8	0,81
Dez	1.238,7	0,52
Jan	2.939,1	1,15
Fev	2.553,2	0,94
Total	8855,80	0,855

Tabela 6-5 - Estimativa de consumo para irrigação do arroz (vazão contínua em l/s/ha) para os pedidos de outorga segundo a ANA. Supondo o cenário 2.

<i>Mês</i>	<i>Volume mensal (m³)</i>	<i>Consumo Médio com base mensal (l/s/ha)</i>
Nov	2.981,8	1,13
Dez	2.490,3	0,94
Jan	2.505,9	0,94
Fev	1.928,5	0,78
Total	9216,7	0,948

Tabela 6-6 - Estimativa de consumo para irrigação do arroz (vazão contínua em L/s/ha) para os pedidos de outorga segundo a ANA. Supondo o cenário 3.

<i>Mês</i>	<i>Volume mensal (m³)</i>	<i>Consumo Médio com base mensal (l/s/ha)</i>
Nov	2.939,1	1,13
Dez	2.553,2	0,94
Jan	2124,0	0,78
Fev	1238,7	0,52
Total	8.855,00	0,842

A estimativa do consumo de água para irrigação, mais do que de outras atividades, apresenta muitas incertezas, especialmente decorrentes da aleatoriedade das condições climáticas entre diferentes locais, das diversas características dos solos, das culturas irrigadas e dos níveis tecnológicos dos irrigantes, que proporcionam diferentes eficiências no uso da água.

Os resultados das estimativas de necessidade líquida de irrigação mostraram variações consideráveis entre utilizar os dados meteorológicos fornecidos pela ANA e os dados meteorológicos observados no Banhado do Taim. Os valores encontrados diferem muito do valor máximo de consumo de 2 l/s/ha (IRGA, 2007), sugerindo-se a utilização do cenário 2, que, embora seja um cenário que apresente um maior consumo de água, utiliza dados observados na região.

Aplicação da metodologia para o Banhado do Taim

Da forma como é proposto, o preceito regulatório permite que os usuários possam saber com certa antecedência (e, evidentemente, com certo grau de incerteza) qual área poderá ser plantada com a água retirada da Lagoa Mangueira. Com isso, os usuários estarão cientes do risco que estarão correndo ao irrigar uma determinada área, e podem mesmo optar por reduzir/expandir a área irrigada no cultivo corrente.

Na Figura 5.4, é apresentado um exemplo da utilização da previsão de nível como instrumento de gestão. No exemplo, foi utilizado o período de outubro de 1999 a março de 2000. Nesta simulação foi utilizada a área plantada de 27000 ha (IRGA, 2006). A simulação de nível utilizou a precipitação prevista a partir do mês de outubro, gerando níveis futuros até o mês de março. Além da utilização da precipitação prevista pelos 3 modelos citados anteriormente, incluiu-se o valor da normal climatológica de precipitação para o mês de abril, já que este representa, na análise da série histórica, o mês com menor valor de nível médio.

Segundo Tassi (2007), o mês de abril é o mais crítico para o banhado do Taim, por ser um mês de menor precipitação média, considerando a série de informações disponíveis, e por apresentar o maior efeito da retirada de água para irrigação nos meses anteriores, dada a demora de resposta do sistema devido à sua inércia .

Em princípio, na análise da Figura 6-4, com relação aos critérios estatísticos hidrológicos, verifica-se que o regime hidrológico previsto para o período de outubro a março de 1999/2000 encontra-se dentro dos limites mínimos. Segundo Tassi (2007), os níveis de outubro são fortemente dependentes dos níveis dos meses anteriores, pois é justamente nesses meses que ocorrem os maiores valores de precipitação. No mês de outubro, há uma pequena infração da banda de confiança estabelecida para o habitat do cisne do pescoço preto, ficando acima do nível máximo. Para as tartarugas, o mês de outubro apresenta níveis mais baixos do que no mês de setembro, atendendo as exigências estabelecidas. Em relação ao jacaré do papo amarelo, foi adequado.

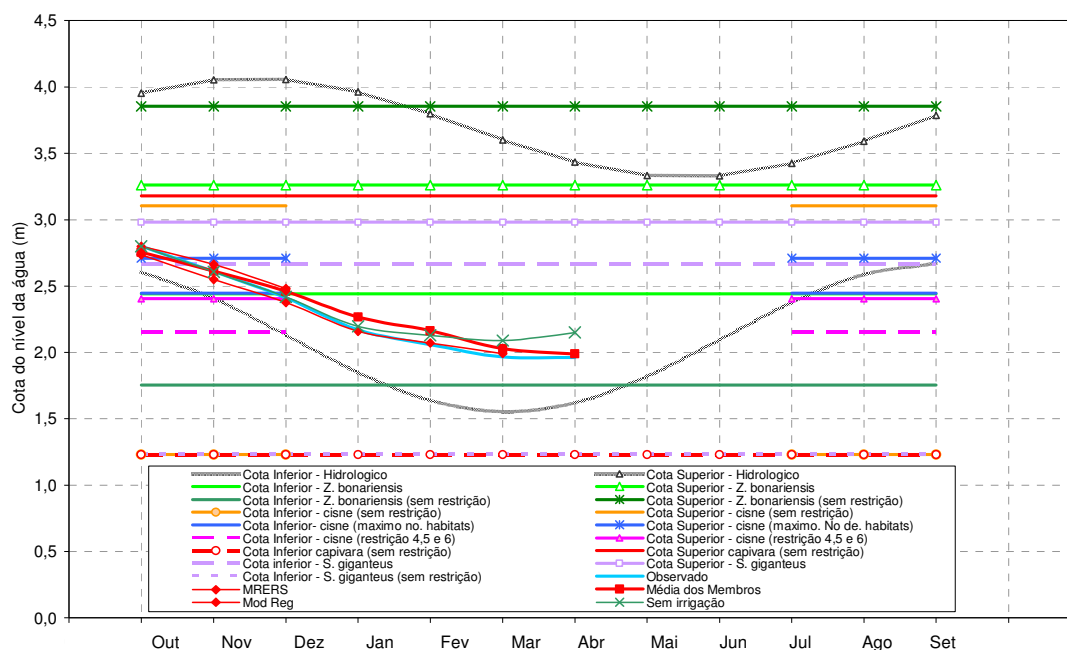


Figura 6-4 - Variabilidade sazonal do hidroperíodo, com os desvios e previsão futura para o período de outubro de 1999 a março de 2000.

(Fonte: Adaptado Tassi, 2007).

A simulação no cenário sem irrigação para os meses de outubro a março, mostrou que a diferença no final do período de irrigação (março) chega a 12 cm, no mês de abril o nível médio esperado no cenário com irrigação é aproximadamente 19 cm inferior ao esperado no cenário sem irrigação.

A mesma análise foi realizada para o período de 9 anos, sempre a partir de outubro, englobando os anos agrícolas de 1997/98 a 2004/05. A Tabela 5.6 apresenta o resumo dos resultados, para os outros anos de análise, as figuras da variabilidade sazonal do hidroperíodo com os desvios e previsão se encontram no anexo D.

A Tabela 6-7 mostra o resultado das simulações para um período de 9 anos. No primeiro período (1997/1998), o regime hidrológico encontra-se dentro da banda de confiança a partir do final de outubro e início de novembro. Em relação aos indicadores biológicos, o hidroperíodo encontra-se dentro dos limites, com exceção de duas espécies, para o jacaré a variação de níveis prevista entre o final do mês de outubro de 2004 e final do mês de dezembro do mesmo ano foi de, aproximadamente, 20 cm. Para a tartaruga, o nível da água do mês de outubro foi superior ao do mês de setembro, infringindo o critério estabelecido para este grupo. O período 1997/1998 mostra uma elevação nos níveis, pois o ano de 1997 foi

considerado de transição em relação a precipitação, com um aumento nos últimos meses do ano.

O ano de 1998 foi considerado com um ano úmido, para período de 1998/99 o regime hidrológico previsto encontra-se dentro da banda de confiança, mas com um nível elevado não favorecendo o habitat para as capivaras, o cisne-do-pescoço-preto, o jacaré e a tartaruga. Para o *S. giganteus* a condição hidrológica é favorável.

O período de 2000/2001 foi considerado úmido, sendo desfavorável para os jacarés e Cisne-do-pescoço-preto, para os demais índices encontra-se dentro dos limites. O próximo período também foi muito úmido, o regime hidrológico está dentro da banda de confiança, com relação aos indicadores biológicos, o regime hidrológico previsto encontra-se fora dos limites estabelecidos para a capivara, cisne, para a *S. giganteus*, tartaruga e jacaré encontra-se dentro dos limites.

O ano de 2002/2003 foi precedido por dois anos úmidos consecutivamente, o regime hidrológico previsto encontra-se fora da banda de confiança até aproximadamente início de novembro, com relação aos indicadores biológicos o hidroperíodo encontra-se fora dos limites estabelecidos para todos os indicadores biológicos.

Devido aos anos anteriores o período 2003/2004, quanto ao regime hidrológico está dentro da banda de confiança, mas o hidroperíodo continua elevado, não favorecendo a maioria dos indicadores biológicos, a partir do mês de dezembro a previsão mostra uma tendência de diminuição no nível, visto que os anos de 2003 e 2004 foram considerado normais em relação a precipitação.

No final de 2004 e início de 2005, a previsão do regime hidrológico encontra-se fora da banda de confiança, ficando abaixo do limite. Para a capivara o cenário hidrológico é favorável, assim como para o cisne-de-pescoço-preto e a tartaruga. Para o jacaré -de-papo-amarelo o regime hidrológico foi desfavorável, a variação do nível no final de dezembro de 2004 chegou a 33 cm, infringindo os limites estabelecidos. Para a *Z. bonariensis* o cenário hidrológico previsto promoveria baixa qualidade

Na simulação com o cenário sem irrigação, para todo o período analisado, a diferença entre os níveis só foi percebida nos dois últimos meses de simulação (fevereiro e março), onde é possível observar a redução significativa dos níveis provocada pela irrigação, a diferença na média ficou em torno de 0,20 cm, com um máximo no período de 2004/2005 que alcançou 0,36 cm. Ficando evidente que as atividades de extração de água colaboraram para a manutenção de níveis da água mais baixos no banhado do Taim.

Tabela 6-7 - Variabilidade sazonal do hidroperíodo, com os desvios e previsão futura.

Ano	Capivara	Cisne	Tartaruga	Jacaré	Z. bonariensis	Nível hidrológico
1997/98	Dentro dos limites	Dentro dos limites	Fora dos limites	Fora dos limites	Dentro dos limites	Dentro da banda de confiança
1998/99	Fora dos limites	Fora dos limites	Fora dos limites	Fora dos limites	Fora dos limites	Dentro da banda de confiança
1999/00	Dentro dos limites	Dentro dos limites	Dentro dos limites	Dentro dos limites	Dentro dos limites	Dentro da banda de confiança
2000/01	Dentro dos limites	Fora dos limites	Dentro dos limites	Fora dos limites	Dentro dos limites	Dentro da banda de confiança
2001/02	Fora dos limites	Fora dos limites	Dentro dos limites	Dentro dos limites	Dentro dos limites	Dentro da banda de confiança
2002/03	Fora dos limites	Fora dos limites	Fora dos limites	Fora dos limites	Fora dos limites	Fora da banda de confiança
2003/04	Fora dos limites	Fora dos limites	Dentro dos limites	Fora dos limites	Dentro dos limites	Dentro da banda de confiança
2004/05	Dentro dos limites	Dentro dos limites	Dentro dos limites	Fora dos limites	Fora dos limites	Fora dos limites

DISCUSSÃO

A análise dos resultados mostrou que o conhecimento prévio do comportamento do regime hidrológico para o Banhado do Taim pode ser uma ferramenta importante no gerenciamento dos recursos hídricos.

A previsão de níveis futuros e cenários sem irrigação, mostrou que a diferença média entre as cotas do nível da água no cenário sem irrigação e com irrigação foi de aproximadamente 20 cm. A captação de água para a irrigação não tem grande influência durante o período de irrigação, no entanto, os reflexos dessa tomada de água são “sentidos” de forma mais acentuada posteriormente, devido aos efeitos de armazenamento do sistema, o que pode levar a uma visão equivocada por parte dos irrigantes quanto à disponibilidade hídrica.

A partir dessa análise, ficou claro que a prática de orizicultura da região tem um importante papel no padrão do regime hidrológico do Banhado do Taim e de forma direta na conservação da biodiversidade, principalmente nos anos considerados secos, que correspondem aos anos de 2004 e 2005 no período de nove anos analisados.

As atividades de captação de água, no entanto, não são totalmente maléficas sob o ponto de vista de conservação de biodiversidade. Pode-se dizer que, dependendo da condição hidrológica existente no Banhado do Taim, elas podem até mesmo ser um fator de regulação de condições extremamente desfavoráveis, principalmente em condições de cheia, cenário no qual haveria um nível de água ainda mais elevado se não fosse promovida a captação de água. Em muitos casos, esses níveis elevados imporiam condições desfavoráveis para algumas espécies indicadoras, sendo que a captação de água causa a redução nos mesmos, com conseqüente melhoria da qualidade ambiental. Essa análise, no entanto, deve ser realizada com muito cuidado, pois dependerá da condição hidrológica específica. Por outro lado, em uma situação de estiagem, as atividades de irrigação podem piorar as condições ambientais para algumas espécies indicadoras (TASSI, 2007).

A metodologia proposta permite a avaliação de diferentes cenários de áreas irrigadas, buscando identificar um valor de captação de água que manteria as flutuações aceitáveis nos níveis do Banhado do Taim. Por exemplo, se o regime hidrológico fosse desfavorável a um indicador biológico por dois anos consecutivos, poderia se gerar um outro cenário de área plantada, buscando proporcionar condições ideais para a espécie, pelo menos em um dos anos.

É nesses casos que a implementação de uma política com fins de gerenciamento da água com usos múltiplos se enquadra, com regras adequadas, tanto para a captação de água para a orizicultura quanto para a conservação das características hidrológicas necessárias para a preservação da fauna e da flora.

A estimativa do consumo de água para irrigação apresenta muitas incertezas, especialmente decorrentes da aleatoriedade das condições climáticas entre diferentes localidades, das diferentes características dos solos, das culturas irrigadas e dos níveis tecnológicos dos irrigantes, que proporcionam variações de eficiência no uso da água. Para estimular o uso eficiente dos Recursos hídricos, deve-se levar em conta à eficiência do uso da água. Sendo assim, considerando-se as estimativas do consumo específico, sugere-se que, nas análises dos pedidos de outorga na Lagoa Mangueira, para as estimativas dos consumos para cada requerente, como forma de uniformização e maior praticidade, sejam considerados os valores mensais apresentados neste trabalho, que corresponde ao cenário que utiliza os dados

meteorológicos observados na região do Banhado do Taim, mas que seja implantado um sistema de monitoramento dos volumes efetivamente retirados, para que seja aprimorada a aplicação do modelo.

1. BIBLIOGRAFIA

- Agência nacional de Águas -ANA. Planilha para determinação das necessidades de água para irrigação – Finalidade outorga. Brasília. 2008. 10 p. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/OutorgaFiscalizacao/Outorga/default.asp>
Acesso em agosto de 2008.
- Agência nacional de Águas-ANA. Resolução nº 707, de 21/12/2004 - Dispõe sobre procedimentos de natureza técnica e administrativa a serem observados no exame de pedidos de outorga. Brasília. 2008. 8 p. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/Resolucoes/resolucoes2004/707-2004.pdf>
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56). Disponível: <http://www.fao.org>
- Irga – Instituto Riograndense do Arroz. Censo da Lavoura de Arroz Irrigado do Rio Grande do Sul – Safra 2004/2005. Porto Alegre. IRGA – Política Setorial, 2006. 122p.
- Motta Marques, D.L., Tucci, C. E. M., Calazans, D., Callagaro, V.L.M, Villanueva, A., 2002. O sistema hidrológico do Taim – Site 7. In: Os sites e o programa Brasileiro de Pesquisa Ecológica de Longa Duração. Belo Horizonte/MG. P. 125-144
- Paz, A. (2003). “Análise dos principais fatores intervenientes no comportamento hidrodinâmico do banhado do Taim (RS)”. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 179 p.
- Rio Grande do Sul. Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul. 2005. Acessado em outubro de 2010. Disponível na Internet: <http://www.scp.rs.gov.br/atlas>.
- Ruhoff, A. L., 2004. Gerenciamento de Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas: Modelagem ambiental com a Simulação de cenários preservacionista. Dissertação de mestrado (mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria. P: 93.
- Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado (SOSBAI). Arroz Irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Santa Maria: SOSBAI, 2005, 159 p.
- Tassi, R. 2007. Gerenciamento hidroambiental de terras úmidas. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. P: 257.
- Villanueva, A. O. N. (1997). Simulação de áreas de inundação dinâmicas, canais compostos e wetlands. Tese de doutorado. UFRGS – Porto Alegre. 125p.
- Villanueva, A.O.N., Motta Marques, D.L. & Tucci, C.E.M. 2000. The Taim wetland conflict: a compromise between environment conservation and irrigation. *Water International*. 25(4): 610 – 616.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os estudos realizados no decorrer deste trabalho permitiram alcançar um entendimento sobre dois importantes aspectos relacionados com a precipitação no Sistema Hidrológico do Taim (SHT). O primeiro foi avaliar os fatores que influenciam a variabilidade da precipitação no SHT e o segundo aspecto é a utilização da previsão de precipitação para um sistema de previsão de níveis futuros que poderá auxiliar na gestão da água da lagoa Mangueira, considerando os múltiplos usos.

A seguir, são apresentadas as principais conclusões dos estudos realizados e algumas recomendações para pesquisas futuras.

A precipitação do Banhado do Taim e as teleconexões

Existem diversos modos de variabilidade, também conhecidos como índices climáticos, que afetam o clima de determinadas regiões. Os modos mais conhecidos são o El Niño/Oscilação Sul (ENOS), Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), entre outros abordados neste trabalho.

A avaliação da influência de índices climáticos com a precipitação na região foi averiguada, mostrando que existe correlação entre alguns índices climáticos e a precipitação no Sistema Hidrológico do Taim, com diferentes intensidades e escalas temporais.

O índice que demonstrou, a partir das análises realizadas, tem a maior capacidade de modulação do clima no Sistema Hidrológico do Taim é a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), que na grande escala tem o poder de modular o clima por vários anos. A PDO se caracteriza por fases de aproximadamente 11 a 22 anos, todas as fases do PDO se encontram muito bem representadas no Taim, com mudanças na precipitação coincidentes com as mudanças de fase do PDO.

Outro índice que foi relacionado a variabilidade do clima no Sistema Hidrológico do Taim foi o El-Niño//Oscilação Sul (ENOS). Os resultados mostram que existe uma boa correlação, principalmente com a área do Niño 3.4. O PDO é conhecido por modular os efeitos de El-Niño, de forma que o efeito do PDO sobre o El-Niño, poderia ter modificado o comportamento de El-Niño, diminuindo seus efeitos sobre a precipitação no Taim. O mesmo ocorrendo para o La-Niña.

Outros índices utilizados neste trabalho como a Oscilação do Atlântico Norte (NAO), Oscilação do Atlântico Norte (NAO-Jones), Oscilação Antártica (AAO) Oscilação Artica (AO) e Índice de Oscilação Sul (IOS) não apresentaram correlação significativa com a variabilidade da precipitação no Taim. Verificou-se também a influência do Oceano Atlântico Sul sobre a precipitação na região.

A partir das análises estatísticas obtiveram-se resultados que indicaram que a variabilidade de precipitação na região é definida por multi-escalas temporais localizadas em certos intervalos de tempo. Principalmente a variabilidade interanual ligada ao ciclo de ENOS e a variabilidade decadal ligada ao PDO influenciaram na variabilidade pluviométrica local.

A importância do conhecimento entre índices conectivos e a precipitação reside no fato de estes poderem servir de subsídio para futuras previsões de precipitação e nível, auxiliando a gestão dos recursos hídricos, que é imprescindível à manutenção da fauna e flora do Sistema Hidrológico do Taim.

Avaliação da previsão de precipitação

Para a análise qualitativa da previsão de precipitação foram utilizados três modelos: um modelo dinâmico de circulação geral da atmosfera (MCGA - CPTEC/COLA), um modelo regional estatístico para o Rio Grande do Sul (MRERS_CPPMet) e um modelo estatístico baseado em índices climáticos (Mod Reg). Esses modelos possuem um horizonte de previsão de 6 meses, 4 meses e 3 meses, respectivamente.

Foi desenvolvido um modelo de previsão de precipitação com horizonte de 3 meses, utilizando Temperatura da Superfície do Mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico como variáveis de entrada. As variáveis de entrada foram aquelas que apresentam a maior correlação com a precipitação OND. As variáveis de entrada do modelo foram obtidas após uma busca exaustiva, limitada a um trimestre anterior ao da emissão da previsão. Os bons resultados obtidos nesse trabalho com o modelo de previsão de precipitação baseado em índices climáticos (Mod Reg), mostra a viabilidade do uso de índices climáticos como variáveis de entrada em modelos de previsão de longo prazo.

O modelo de previsão de precipitação baseado em índices climáticos (Mod Reg), se mostrou melhor que os dois modelos operacionais (CPTEC/COLA e MRERS), embora o horizonte seja de apenas 3 meses.

Dos modelos analisados, os que mostraram os melhores índices foram a média dos membros do modelo global (CPTEC/COLA) para os períodos normais e chuvosos e o

MRERS para o período seco. Os modelos utilizados não apresentaram erros sistemáticos para o período de análise.

As análises realizadas nesse trabalho são os primeiros passos para novos estudos de verificação que considerarão horizontes maiores de previsão, bem como a avaliação do desempenho de outros modelos.

Os resultados obtidos neste trabalho indicam, portanto, que já existe um forte potencial de utilização das previsões de modelos de previsão climática sazonal em recursos hídricos. Este potencial deverá aumentar à medida que melhoram as previsões de tempo e de clima.

Previsão hidroclimática

A previsão hidroclimática é a integração da área de conhecimento meteorológica e hidrológica para a previsão de níveis com diferentes antecedências.

Foram testados quatro cenários de informações meteorológicas de inicialização do modelo hidrológico, gerando a previsão hidroclimática propriamente dita.

Os bons resultados obtidos nesse trabalho com os modelos mostram a viabilidade do uso de índices climáticos como variáveis de entrada em modelos de previsão de longo prazo. As reduções dos erros de previsão relativos ao uso apenas da média climatológica como previsão foram importantes, sendo com o mínimo de 50% e chegando até um valor próximo a 75% nos diferentes testes efetuados, no período analisado.

Para o modelo global (CPTEC/COLA), os resultados indicam que as previsões de nível a partir da previsão de precipitação da média dos membros se mostraram melhores do que os outros membros do mesmo modelo. Os modelos que levam em consideração os índices climáticos (MRERS e Mod Reg) tiveram um desempenho melhor do que o modelo global, indicando uma grande influência dos índices climáticos no nível do Banhado do Taim.

Os resultados obtidos mostraram que o erro nas previsões de nível para o banhado do Taim tende a aumentar com o horizonte da previsão. O nível previsto conseguiu descrever a magnitude do nível observado - se abaixo, acima ou dentro da normal.

Este último ponto é de grande importância para a gestão dos recursos hídricos, pois fornece ao gestor a informação do tipo de anomalia de nível esperado em relação ao nível médio. No decorrer do tempo, as informações de previsão de níveis podem ser atualizadas mensalmente e comparadas com as observadas. Com isso, medidas de prevenção podem ser tomadas em caso de previsão de eventos extremos como secas ou enchentes.

Preceitos para o gerenciamento do uso da água no SHT

Considerando que a gestão dos recursos hídricos visa harmonizar a oferta com as necessidades de água, para atender os múltiplos usos, sem que haja risco de conflito (CHRISTOFIDIS, 2006), pode-se compreender a importância assumida pelo gerenciamento das demandas.

Este trabalho consistiu na elaboração de um conjunto de medidas para o uso da água, incluindo restrições de uso, de forma a possibilitar seu múltiplo uso. A elaboração de regras a despeito de todas as incertezas que existem em suas várias etapas, deve ser realista e factível. Não se pode, por exemplo, elaborar uma regra excessivamente conservadora, uma vez que isto acarretará restrições mais severas e prejuízos econômicos, de forma que os usuários acabam sendo levados a não cumpri-la.

A previsão hidroclimática aliada com o uso dos indicadores biológicos mostrou-se aplicável ao Banhado do Taim, à medida que a mesma poderá orientar, com certa antecedência (até seis meses), critérios para o gerenciamento para a próxima safra de arroz.

Os orizicultores terão uma estimativa do montante de água que estará disponível para a irrigação com antecipação, permitindo, assim, um melhor planejamento da área a ser plantada. Com a metodologia de previsão de nível no SHT apresentada é possível a adoção de critérios flexíveis para o gerenciamento dos recursos hídricos, que podem ser alterados a cada período, em função das condições hidrológicas e ambientais, ao contrário da utilização de um valor fixo e pré-estabelecido.

Em relação às estimativas do consumo específico efetuadas, sugere-se que, nas análises dos pedidos de outorga, como forma de uniformização e maior praticidade, sejam utilizadas as estimativas de consumos apresentados no cenário 2 (0,948 l/s/ha), que leva em conta os dados da região.

A metodologia proposta permite a avaliação de diferentes cenários de áreas irrigadas, buscando identificar um valor de captação de água que manteria as flutuações aceitáveis nos níveis do Banhado do Taim.

Recomendações

Os resultados obtidos nessa pesquisa devem ser vistos dentro de um processo evolutivo de conhecimento em que se buscam respostas às necessidades de diversas atividades. Por isso, a seguir são apresentadas algumas recomendações de aprimoramentos na metodologia de previsão hidroclimática que podem ser explorados em estudos futuros:

- ✓ Utilizar outros modelos de previsão de chuva. É possível que existam outros modelos que se adaptem melhor ao local. No Brasil, por exemplo, são feitas, rotineiramente, previsões com os modelos ETA (INPE) e RAMS (IAG-USP);
- ✓ Utilizar modelos de previsão de chuva com horizontes maiores do que os 6 meses utilizados nesta pesquisa;
- ✓ O período para o qual foram feitas as previsões (1997 a 2003) pode ter sido tendencioso, uma vez que se caracterizou por níveis normais e acima do normal. Recomenda-se explorar um período mais extenso, que inclua anos com níveis abaixo e acima da média, permitindo avaliar melhor o desempenho dos modelos climáticos na estimativa de anos com valores extremos de estiagem ou cheias; e
- ✓ Tornar a metodologia de previsão de nível com base na previsão climática operacional para o Banhado do Taim e acompanhar o desempenho do sistema de previsão ao longo do tempo.

8 REFERÊNCIAS

- Abreu, M. L.; Moura, A. D. (1996). Efeitos das TSMs do Atlântico e Pacífico sobre as anomalias de precipitação no verão de 1995 e 1996, simulados pelo MCGA do CPTEC/COLA. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 9., Campos do Jordão, 1996. Anais. São José dos Campos: INPE, v. 1, p. 818-82.
- Atger, E. (2001). Verification of intense precipitation forecasts from single models and ensemble prediction systems. *Nonlinear processes in Geophysics*, 8, p. 401-417.
- Ávila, A. M. H. et al. (1994). Probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial mensal igual ou maior que a evapotranspiração potencial para a estação de crescimento das culturas de primavera-verão no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v.2, n.2, p.149-154
- Berlato, M. A.; Fontana, D. C.; Bono, L. (1995). Tendência temporal da precipitação pluvial anual no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 3, p. 111-113.
- Buchianeri, V. C. (2004). Geração da série histórica de vazão por meio do modelo SMAP: subsídio para o plano de manejo da bacia do Rio Grande de Ubatuba. Dissertação (mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 105 p.
- Chang, K. H., Kim, J. H. Cho, C. H. Bae, D. H., Kim, J. (2004). Performance of a coupled atmosphere-streamflow prediction system at the Pyungchang river IHP basin. *Journal of Hydrology*. Vol. 288, p. 210-224.
- Carvalho, L. M. V.; Jones, C.; Ambrizzi, T. (2005). Opposite phases of the Antarctic oscillation and relationships with intraseasonal to interannual activity in the tropics during the austral summer. *Journal of Climate*, v. 18, n. 5, p. 702-718.
- Cavalcanti, I. F. A. (1985). Casos de intensa precipitação nas regiões Sul e Sudeste do Brasil no período de inverno de 1979 à 1983. São José dos Campos: INPE, 47p.
- Chaves, R.R. (1999). Variabilidade da Precipitação na Região Sul do Nordeste e sua Associação com Padrões Atmosféricos. 159p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Proclima. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/proclima/>>. Acesso em: 12 mar 2007.
- Conrado, H.(1992). Estudo Sinótico de Períodos Deficientes de Chuvas no Rio Grande do Sul. 146p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos.
- Chu, P. C. (1991). Teleconnections linking worldwide climate anomalies. In: Glantz, M. H.; Hatz, R. W.; Nicholls N. *Teleconnections linking worldwide climate anomalies*, Cambridge: University Press, 535p.
- CZM. (2001). The Massachusetts Office of Coastal Zone Management, Wetlands ecology and assessment. Disponível em: <<http://www.state.ma.us/czm/wastart.htm>>. Acesso em: 19 dez. 2010.
- Diaz A. F.; Studzinski, C. D.; Mechoso, C. R. (1998). Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic oceans. *Journal of Climate*, v. 11, n. 2, p. 251-171.
- Diaz A. F.; Studzinski, C. D. (1994). Rainfall anomalies in the Uruguay-Southern Brazil region related to SST in Pacific and Atlantic oceans using canonical correlation analysis. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, e Congresso Latino - Americano de Meteorologia, Belo Horizonte. Anais. São José dos Campos: INPE, v.1, p. 498-501.

- EMBRAPA, (2008) Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil. Manejo da Água em Arroz Irrigado, Sistemas de Produção, 3 ISSN 1806-9207, Versão Eletrônica,
- Georgakakos, K.P.; Krzysztofowicz, R. (2001). Probabilistic and ensemble forecasting. *Journal of Hydrology*. 249, p.1.
- Giarolla, E. (1999). Investigação numérica da variabilidade de mesoescala na confluência Brasil - Malvinas induzida pela atmosfera. 131p. Tese (Doutorado em Meteorologia) Departamento de Ciências Atmosféricas - IAG - USP, São Paulo.
- Gong, D.; Wang, S. Definition of Antarctic oscillation index. *Geophysical Research Letters*, v. 26, n. 4, p. 459-462, Feb. 1999.
- Grimm, A.M., Barros, V.R. e Doyle, M.E. 2000, Climate variability in southern South America associated with El Niño e La Niña events, *J. Climate* 13, 35-58.
- Grimm A, Ferraz S.E.T, Gomes J. (1998). Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño e La Niña events. *Journal of Climate*;11:2863-80.
- Grimm, A. M.; Sant'AnnaA, C. L. S. (2000). Influência de fases extremas da Oscilação Sul sobre a intensidade e frequência das chuvas no Sul do Brasil. [CD ROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia 11., Rio de Janeiro, 2000. Anais. São José dos Campos: INPE.
- Guedes, R.L. (1985). Condições de grande escala associada a sistemas convectivos de mesoescala sobre a região central da América do Sul. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), IAG/USP, São Paulo (SP).
- Hartmann, D. L; LO, F. (1998). Wave-driven zonal flow vacillation in the Southern Hemisphere. *Journal of the Atmospheric Sciences*. v. 55, n. 8, p. 1303–1315.
- Khan, V. M.; Kim, I. S. (2008). Análise de agrupamento pluviométrico nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. [CD ROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia 10., Brasília, 1998. Anais. São José dos Campos: INPE.
- Kidson, J. W. Indices of the Southern Hemisphere zonal wind. *Journal of Climate*, v. 1, n.2, p. 183–194, Feb. 1988.
- Kimura, R. (2002). Numerical weather prediction. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. V.90, p.1403-1414.
- Kousky. E.; Cavalcanti, I. F. A. (1984). Eventos Oscilação Sul - El Niño. Características, Evolução e Anomalias de Precipitação. *Ciência e Cultura*, v. 36(11), p. 1888-1899.
- Maidment, D.R. (1993). GIS and hydrology modeling. In: GOODCHILD, M.F.; PARKS, B.O. & STEYAERT, L.T. (eds.). *Environmental Modeling with GIS*. New York: Oxford University Press, pp. 147-167.
- Marble, A. D. (1992). *A guide to wetland functional design*, Lewis Publishers, Boca Raton, EUA, 222 p.
- Mcguffie, K. Henderson-Seller, A. (2001). Forty Years of Numerical Climate Modelling. *International Journal of Climatology*. Vol.21, p1067-1109.
- Marques, D. M.; Villanueva, A. O. N. (2001). Regime hidrológico do banhado do Taim e sua conservação. *ABRH Notícias, Revista Informativa da ABRH*, n. 4, p. 22-61.
- Marques, J. R. Q. (2004). Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul e sua relação com indicadores oceânicos. Porto Alegre, 2005, 209f. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Molders, N.; Ruhaak, W. (2002). On the impact of explicitly predicted runoff on the simulated atmospheric response to small-scale land-use changes-an integrated modeling approach. *Atmospheric Research*, v. 63, p. 3_38.

- Moura, A. D.; Shukla, J. (1981). On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: Theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal of Atmospheric Sciences*, v. 38, n. 4, p. 2653-2675.
- Nery, J. T. (1996). Estudio Climático de la precipitación del Brasil meridional asociado com fenómeno extrarregionales. Buenos Aires. 140 p. Tese (Doutorado e Meteorologia) Universidade de Buenos Aires, Argentina.
- Paz, A. R. 2003. Análise dos principais fatores intervenientes no comportamento hidrodinâmico do banhado do Taim (RS). Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.
- Pezzi, L. P. (1998). Previsões regionais sazonais e comparações com observações para o Sul do Brasil durante o episódio de El Niño Oscilação Sul 97/98. [CD ROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia 10., Brasília, 1998. Anais. São José dos Campos: INPE.
- Pezzi, L. P.; Cavalcanti, I. F. A. (1998). Precipitação sobre a América do Sul para uma situação de El Niño conjugada com dipolo positivo e negativo de TSM no Atlântico em simulações com o MCG CPTEC/COLA. [CD ROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia 10., Brasília, 1998. Anais. São José dos Campos: INPE.
- Pinto, D. E. G.; Nunes, H. M. T., de Palulo, R. G. F. Carvalho, D. D. de. (2005). Verificação das previsões de precipitação realizadas com o modelo MM5 para o sistema de alerta de cheias da bacia do Rio Doce. In: Simpósio brasileiro de recursos hídricos. Vol. 16. João Pessoa: ABRH.
- Ricklefs, R. E. (1993). *A Economia da Natureza*. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 542 p.
- Righetto, A. M. (1998). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. São Carlos. SP. EESC/USP. P. 840.
- Rolon, A. N.; Maltchik, L. (2006). Áreas palustres: classificar para proteger. *Ciência Hoje*, 38(228):66-70.
- Ropelewski, C., Halpert, M.: 1987, 'Global e regional scale precipitation patterns associated with the El Niño-Southern Oscillation', *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1606-1626.
- Savenije, H. H. G.; Van Der Zaag, P. (2002). Water as an economic good and demand management : paradigms and pitfalls. *Water international*, 27 (1), p. 98-104.
- Shiotani, M. (1990). Low-frequency variations of the zonal mean state of the Southern Hemisphere troposphere. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, v. 68, n. 4, p. 461-471.
- Silva Filho, V. P. 2005. Previsão de Vazão no Semiárido Nordeste, Utilizando Modelos Atmosféricos: um Estudo de Caso. Tese de doutorado. Fortaleza: Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará.
- Silva, B. C. 2005. Previsões de vazão para o sistema hidrelétrico com base em previsões atmosféricas. Tese de doutorado. IPH-UFRGS. Porto Alegre.
- Souza, E. P. P. (2003). Relação entre as Anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico e as precipitações na Amazônia oriental. Dissertação (mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE- São José dos Campos. 78p.
- Souza, E. P. P., Kayano, M. T.; Tota, J. Pezzi, L. Fisch, G., Nobre, C. (2000). On the Influences of the El Niño, La Niña and Atlantic Dipole pattern on the Amazonian Rainfall During 1960-1998. *Acta Amazonica*, v. 30, p. 305-318.
- Studzinski, C. (1995). Um estudo da precipitação na região Sul do Brasil e a sua relação com os Oceanos Pacífico e Atlântico tropical Sul. 99 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

- Tassi, R. 2007. Gerenciamento hidroambiental de terras úmidas. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. P: 257.
- Taylor, J. W.; Buizza, R. (2003). Using weather ensemble predictions in electricity demand forecasting. *International Journal of Forecasting*, 19, p. 57-70.
- Thompson, D. W. J.; Wallace, J. M. (2000). Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability. *Journal of Climate*, v. 13, n. 5, p. 1000–1016, Mar. 2000.
- Tucci, C.E.M. (1998). Modelos hidrológicos. Porto Alegre, Ed. Universidade UFRGS.
- Tucci, C. E. M.; Clark, R. T.; Collischonn, W.; Dias, P. L. S.; Sampaio, G. O. (2003). Long term flow forecast based on climate and hydrological modeling: Uruguay river basin. *Water Resources Research*, Boston, v.39, n.7, p.3 (1-11).
- Tucci, C.E.M.; Genz, F. (1996). Previsão e controle de inundações. in: *Hidrossedimentologia do Alto Rio Paraguai*, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Fundação do Meio Ambiente do Mato Grosso, Secretaria do Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul, Ministério do Meio Ambiente, 1996.
- Varejão Silva, M. A. (2001). *Meteorologia e Climatologia*, 2ª edição, Pax gráfica e editora, 532 p., Brasília.
- Vertessy, R.A.; Hatton, T.J.; O’Shaughnessy, P.J.; Jayasuriya, M.D.A. (1993). Predicting water yield from a mountain ash forest catchment using a terrain analysis based catchment model. *J. Hydrology*, 150:665-700.
- Vianello, R. L. *Meteorologia Básica e Aplicações*. Viçosa: UFG, Impr. Univ., 2000.
- Villanueva, A. O. N. et al. The Taim wetland conflict: a compromise between environment conservation and irrigation. *Water International*, v. 25, n. 4, p. 610-616, 2000.
- Villanueva, A.O. N. Simulação de áreas de inundação dinâmicas: canais compostos e wetlands. Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 125 p., 1997.
- Walker, G. T. (1928). World weather. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, v. 54, n. 226, p. 79-87.
- Widholzer, F.(1986). *Banhados do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Riocell S. A., p. 40.
- White, W. B.; Peterson, R. G. (1996). An antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind, temperature, and sea ice extent. *Nature*, v. 380, p. 699-702.
- Wood, A.W., Maurer, E.P., Kumar, A., Lettenmaier, D.P. 2002. Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States. *Journal of Geophysical Research*. V.107, n.20, p.6(1-15).

ANEXO A
Dados de Temperatura da Superfície do Mar

Região Atlântico Sul (SATL) (0-20°South, 30°West-10°East),

Ano	jan	Fev	mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1960	24.90	25.76	26.73	26.53	25.81	24.30	23.57	22.80	22.72	23.07	23.69	24.39
1961	25.18	26.08	26.66	26.41	25.90	24.49	23.27	22.68	22.82	23.08	23.76	24.41
1962	25.49	26.15	26.75	26.69	26.20	24.89	23.58	22.81	23.12	23.41	24.05	24.24
1963	25.35	26.22	27.17	27.16	26.46	25.18	23.97	23.47	23.17	23.60	24.41	25.24
1964	26.06	26.60	27.13	26.72	25.73	24.57	23.27	22.72	22.16	22.52	23.09	23.68
1965	24.93	26.26	26.96	26.79	26.00	24.44	23.20	22.55	22.65	22.91	23.44	24.15
1966	25.13	25.93	26.42	26.73	26.03	25.20	23.71	22.65	22.67	22.99	23.75	24.97
1967	25.52	26.65	26.85	26.55	25.53	23.96	22.93	22.32	22.35	22.57	23.12	24.26
1968	25.39	25.96	26.46	26.58	25.88	24.55	23.72	22.99	23.07	23.46	24.08	24.88
1969	25.60	26.70	27.24	27.03	25.99	24.51	23.19	22.62	22.52	22.91	23.67	24.18
1970	24.84	25.82	26.40	26.40	25.55	24.18	23.33	22.53	22.63	22.74	23.45	24.14
1971	25.36	26.37	26.80	26.85	26.42	24.85	23.44	22.79	22.64	22.94	23.23	23.72
1972	25.34	26.41	26.73	26.73	25.93	24.78	23.85	23.13	23.18	23.58	24.29	25.38
1973	26.17	26.99	27.36	27.55	26.69	25.33	24.22	23.29	23.40	23.71	24.31	24.71
1974	25.63	26.42	26.93	27.05	26.30	24.99	24.00	23.29	22.89	23.25	23.92	24.50
1975	25.18	26.01	26.70	26.60	25.99	24.91	23.53	22.86	22.56	22.91	23.55	23.99
1976	24.93	26.01	26.30	25.99	25.33	24.01	22.85	22.44	22.52	22.68	23.30	24.01
1977	25.13	26.17	26.65	26.70	25.88	24.64	23.25	22.86	22.74	23.14	23.73	24.24
1978	25.13	25.90	26.33	26.03	25.50	24.31	23.49	22.77	22.29	22.81	23.39	24.34
1979	25.31	26.10	26.48	26.66	25.92	24.82	23.71	23.00	23.15	23.30	23.87	24.37
1980	25.22	26.02	26.59	26.77	25.81	24.55	23.47	22.88	22.91	23.14	23.71	23.97
1981	25.29	25.88	26.27	26.33	25.64	24.51	23.60	22.78	22.98	23.61	24.20	24.74
1982	25.45	26.27	26.80	26.47	25.57	24.46	23.26	22.28	22.52	23.05	23.56	24.39
1983	25.72	26.67	26.84	26.59	25.55	24.28	23.24	22.79	22.83	23.01	23.87	24.88
1984	26.00	26.99	27.53	27.24	26.30	25.28	24.07	23.68	23.65	23.76	24.18	24.89
1985	25.84	26.83	27.06	26.91	26.13	24.80	23.79	23.16	22.99	23.47	24.11	24.74
1986	25.56	26.76	27.22	27.03	26.29	25.13	23.82	23.22	23.17	23.36	23.80	24.62
1987	25.46	26.43	26.97	26.96	26.29	25.12	24.01	23.24	23.16	23.60	24.44	24.90
1988	26.12	26.93	27.55	27.39	26.69	25.47	24.18	23.43	23.15	23.53	23.97	24.80
1989	26.09	26.74	27.28	27.16	26.38	25.09	23.91	23.42	23.18	23.50	23.80	24.23
1990	25.06	26.44	27.17	27.13	26.00	25.00	23.65	22.86	22.98	23.45	24.04	24.84
1991	25.48	26.37	27.04	27.09	26.51	25.04	23.62	22.89	22.65	23.00	23.44	24.56
1992	25.35	26.17	26.39	26.14	25.24	23.90	22.96	22.32	22.36	22.61	23.16	24.04
1993	25.14	26.18	26.77	26.91	25.93	24.72	23.68	22.96	23.44	23.80	24.56	25.19
1994	25.73	26.46	27.19	27.16	26.28	24.71	23.32	22.89	22.75	23.12	24.01	24.63
1995	25.64	26.86	27.63	27.55	26.58	25.33	23.93	22.96	22.86	23.17	23.82	24.52
1996	25.60	26.84	27.29	27.43	26.68	25.47	24.22	23.39	23.13	23.31	23.77	24.29
1997	24.83	25.76	26.26	26.03	25.22	24.02	23.17	22.69	22.90	23.75	24.65	25.55
1998	26.36	27.01	27.40	27.29	26.48	25.30	24.26	23.22	23.15	23.36	24.12	24.57
1999	25.28	26.31	27.00	27.23	26.43	25.11	24.19	23.33	23.07	23.45	24.01	24.92
2000	25.62	26.72	27.08	27.06	26.27	24.96	23.70	23.19	23.02	23.38	23.90	24.45
2001	25.44	26.29	26.98	27.03	26.47	25.07	23.69	23.01	22.84	23.32	23.88	24.39
2002	25.28	26.10	26.95	27.11	26.42	24.92	23.64	22.88	22.77	23.26	23.61	24.67
2003	25.78	26.90	27.49	27.17	26.21	24.85	24.08	23.58	23.41	23.75	24.40	25.15
2004	25.83	26.45	26.72	26.40	25.72	24.58	23.68	23.17	23.21	23.20	23.91	24.90
2005	26.07	27.03	27.42	26.93	25.85	24.41	23.45	22.98	22.94	23.34	23.89	24.58

Região Niño 3 (5°North-5°South)(150°West-90°West)

Ano	jan	Fev	mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1960	25.53	25.92	26.96	27.32	26.62	25.97	25.37	24.89	24.82	24.25	24.12	24.66
1961	25.10	26.42	26.88	27.55	26.92	26.62	24.82	24.27	23.61	23.97	24.36	24.87
1962	25.34	26.11	26.52	26.61	26.25	25.97	25.31	24.94	24.21	24.27	24.10	24.15
1963	25.05	25.81	26.94	27.58	26.96	26.67	26.43	25.85	25.44	25.55	25.76	26.05
1964	26.01	26.34	26.66	26.42	25.40	25.04	24.88	23.81	23.94	24.12	23.88	23.69
1965	24.80	26.08	26.97	27.68	27.61	27.19	26.75	26.20	26.03	26.18	26.39	26.64
1966	26.78	26.88	27.11	27.54	26.22	26.20	25.49	24.65	24.17	24.50	24.25	24.29
1967	25.13	26.21	26.41	26.53	26.76	26.54	25.13	24.24	23.66	23.80	23.98	24.22
1968	24.49	24.91	25.94	26.70	26.13	26.15	25.90	25.27	24.95	25.11	25.32	25.73
1969	26.37	26.74	27.69	27.89	28.02	27.09	25.80	25.50	25.44	25.66	25.73	26.26
1970	26.54	26.57	26.93	27.46	26.37	25.37	23.88	23.55	23.57	23.68	23.42	23.40
1971	24.35	24.95	26.17	26.69	26.37	25.71	25.11	24.14	23.94	23.91	23.90	23.94
1972	25.12	26.19	26.98	27.91	27.66	27.41	27.03	26.87	26.35	26.80	27.12	27.50
1973	27.37	27.39	27.37	26.89	26.12	25.34	24.39	23.65	23.60	23.57	23.47	23.55
1974	23.97	25.16	26.39	26.83	26.49	26.15	25.51	24.77	24.35	24.15	24.06	24.24
1975	25.18	25.73	26.57	27.11	26.00	25.24	24.77	24.14	23.69	23.40	23.72	23.38
1976	23.83	25.39	26.49	26.90	26.89	26.88	26.23	25.79	25.78	25.84	25.80	25.85
1977	26.47	26.82	27.42	27.00	26.94	26.46	25.50	24.57	24.70	25.26	25.36	25.34
1978	25.99	26.26	26.95	26.68	26.23	25.61	24.93	24.35	24.26	24.58	24.80	25.36
1979	25.40	26.26	27.27	27.63	27.16	26.75	25.46	25.02	25.83	25.26	25.25	25.48
1980	26.06	26.54	26.92	27.38	27.13	26.87	25.58	24.70	24.95	24.66	25.12	25.57
1981	25.05	25.60	26.80	26.94	26.74	26.24	25.08	24.02	24.67	24.92	24.79	25.44
1982	25.87	26.38	26.98	27.68	27.79	27.46	26.44	26.15	26.52	27.11	27.62	28.39
1983	28.92	28.92	29.10	29.12	28.97	28.15	26.62	25.87	25.24	24.61	24.17	24.44
1984	24.82	26.22	27.12	27.34	26.46	25.38	24.96	24.50	24.35	23.95	24.03	23.70
1985	24.51	25.19	26.11	26.52	26.12	25.60	24.74	24.40	24.15	24.15	24.28	24.29
1986	24.73	25.81	26.84	27.17	26.68	26.30	25.70	25.02	25.25	25.62	25.92	25.86
1987	26.69	27.42	28.20	28.49	28.22	27.71	27.07	26.52	26.57	26.20	26.13	26.20
1988	26.12	26.55	27.14	26.73	25.22	24.46	23.71	23.37	23.61	23.17	23.03	23.07
1989	24.15	25.61	26.02	26.67	26.37	26.08	25.28	24.56	24.45	24.49	24.56	24.71
1990	25.34	26.37	27.03	27.67	27.35	26.45	25.45	25.06	24.85	24.90	24.82	25.08
1991	25.65	26.27	26.99	27.32	27.58	27.34	26.57	25.47	25.05	25.60	25.98	26.52
1992	27.00	27.67	28.33	28.72	28.43	26.66	25.53	24.70	24.52	24.62	24.79	25.01
1993	25.56	26.61	27.54	28.45	28.16	27.11	25.77	24.93	24.97	25.21	25.17	25.32
1994	25.71	26.07	26.89	27.06	26.97	26.50	25.19	24.71	24.81	25.53	25.87	26.07
1995	26.34	26.87	27.08	27.10	26.40	26.20	25.42	24.33	24.02	24.01	24.03	24.19
1996	24.96	25.72	26.71	26.72	26.33	25.89	25.35	24.60	24.37	24.37	24.38	24.20
1997	24.70	25.75	26.98	27.59	28.06	28.14	28.01	27.84	27.84	28.17	28.55	28.76
1998	28.94	28.93	29.14	29.09	28.17	26.00	25.24	24.63	24.19	24.06	24.11	23.86
1999	24.41	25.57	26.67	26.66	26.44	25.59	24.85	24.02	23.72	23.75	23.46	23.54
2000	23.88	25.31	26.61	27.46	26.80	25.84	25.13	24.47	24.35	24.41	24.17	24.43
2001	24.99	26.06	27.23	27.52	26.89	26.35	25.43	24.72	24.27	24.45	24.35	24.60
2002	25.09	26.21	27.22	27.56	27.24	27.06	26.03	25.47	25.54	25.85	26.37	26.48
2003	26.38	26.70	27.28	27.15	26.14	25.83	25.75	25.04	24.97	25.33	25.40	25.56
2004	25.92	26.46	27.16	27.37	26.72	26.27	25.41	25.05	25.17	25.32	25.46	25.77
2005	25.89	26.20	27.01	27.77	27.48	26.81	25.93	25.19	24.57	24.69	24.28	24.28

Região Niño 3.4 (5°North-5°South)(170-120°West):

Ano	jan	Fev	mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1960	26.49	26.35	27.17	27.84	27.65	27.35	27.07	26.90	26.63	26.28	26.12	26.31
1961	26.23	26.61	27.03	27.76	27.84	28.05	26.90	26.45	25.93	26.03	26.16	26.28
1962	26.17	26.36	26.87	27.28	27.24	27.41	27.05	26.81	26.10	26.17	25.97	25.83
1963	25.88	26.19	27.14	27.83	27.55	27.61	28.01	27.62	27.42	27.59	27.45	27.58
1964	27.42	27.14	26.96	27.07	26.82	26.58	26.53	26.00	25.52	25.83	25.32	25.38
1965	25.82	26.41	27.15	27.75	28.09	28.27	28.23	28.05	27.93	28.16	28.13	28.31
1966	27.82	27.67	28.03	28.39	27.66	28.03	27.45	26.79	26.51	26.51	26.29	26.17
1967	26.15	26.42	26.58	26.87	27.50	27.74	26.93	26.48	26.04	26.09	26.19	26.11
1968	25.88	25.77	26.55	27.28	27.20	27.60	27.47	27.14	26.69	26.92	27.36	27.27
1969	27.69	27.81	27.99	28.17	28.57	28.09	27.28	27.33	27.27	27.44	27.24	27.62
1970	27.39	27.10	27.42	28.14	27.69	27.10	26.21	25.83	25.58	25.41	25.07	24.64
1971	25.01	25.27	26.11	26.64	27.16	26.93	26.64	26.24	25.88	25.92	25.58	25.61
1972	25.84	26.49	27.08	28.08	28.36	28.34	28.17	28.14	27.86	28.38	28.62	28.61
1973	28.25	27.98	27.82	27.53	27.26	26.70	26.04	25.66	25.44	25.25	24.76	24.58
1974	24.58	25.21	26.05	26.90	26.82	27.18	26.71	26.30	26.19	25.87	25.59	25.78
1975	26.08	26.33	26.59	27.15	26.87	26.41	26.13	25.55	25.31	25.07	25.23	24.82
1976	24.66	25.61	26.49	26.99	27.22	27.39	27.21	27.07	27.20	27.58	27.48	27.21
1977	27.38	27.03	27.54	27.58	28.03	27.86	27.38	26.85	26.96	27.30	27.29	27.16
1978	27.34	26.93	27.36	27.22	27.39	27.11	26.68	26.13	26.20	26.41	26.40	26.53
1979	26.50	26.69	27.60	27.88	27.81	27.76	26.84	26.69	27.50	26.87	26.88	27.04
1980	27.13	27.18	27.28	27.86	27.96	28.12	27.32	26.59	26.60	26.51	26.60	26.91
1981	26.11	26.16	26.92	27.28	27.46	27.41	26.65	26.01	26.57	26.80	26.41	26.58
1982	26.72	26.70	27.20	28.02	28.54	28.75	28.10	27.93	28.11	28.64	28.81	29.21
1983	29.36	29.13	29.03	28.91	28.89	28.24	27.07	26.53	26.44	25.87	25.58	25.59
1984	25.64	26.39	26.86	27.39	27.39	26.86	26.74	26.34	26.43	25.93	25.41	25.00
1985	25.43	25.67	26.23	26.80	27.11	26.86	26.69	26.50	26.25	26.19	26.19	26.11
1986	25.79	25.94	26.65	27.44	27.50	27.69	27.37	27.15	27.33	27.57	27.73	27.70
1987	27.91	28.02	28.47	28.80	28.75	29.03	28.80	28.58	28.39	28.07	27.99	27.60
1988	27.32	27.22	27.31	27.32	26.48	26.11	25.57	25.24	25.43	24.62	24.27	24.33
1989	24.53	25.33	25.90	26.69	27.09	26.98	26.74	26.33	26.25	26.26	26.24	26.38
1990	26.55	26.95	27.46	28.02	28.06	27.58	27.25	27.05	26.75	26.98	26.72	26.91
1991	27.01	26.93	27.25	27.98	28.35	28.36	27.92	27.44	27.07	27.63	27.86	28.37
1992	28.41	28.63	28.83	29.14	28.99	28.02	27.53	26.64	26.48	26.34	26.51	26.73
1993	26.69	26.97	27.66	28.59	28.82	28.28	27.55	26.84	26.92	26.93	26.91	26.76
1994	26.60	26.59	27.27	27.90	28.04	27.99	27.35	27.35	27.00	27.49	27.87	27.87
1995	27.55	27.45	27.63	27.93	27.73	27.59	27.01	26.33	25.96	25.67	25.66	25.57
1996	25.74	25.85	26.62	27.36	27.37	27.32	27.09	26.56	26.35	26.24	26.19	26.02
1997	25.96	26.36	27.03	28.03	28.60	28.94	28.92	28.84	28.93	29.23	29.32	29.26
1998	29.10	28.86	28.67	28.56	28.47	26.72	25.94	25.49	25.61	25.34	25.18	24.79
1999	24.90	25.41	26.25	26.84	26.97	26.60	26.35	25.59	25.71	25.64	25.12	24.90
2000	24.65	25.19	26.08	27.01	27.12	27.03	26.72	26.45	26.21	25.96	25.78	25.59
2001	25.74	26.11	26.84	27.52	27.60	27.68	27.32	26.87	26.55	26.59	26.45	26.17
2002	26.50	26.95	27.32	27.94	28.15	28.43	27.98	27.79	27.83	28.05	28.27	28.09
2003	27.76	27.49	27.81	27.81	27.37	27.48	27.43	26.85	26.96	27.19	27.05	26.89
2004	26.74	26.86	27.10	27.84	28.06	27.76	27.69	27.54	27.47	27.38	27.31	27.31
2005	27.10	26.96	27.55	28.07	28.20	28.05	27.47	26.88	26.63	26.75	26.34	25.89

ANEXO B
Dados de previsão de precipitação

Tabela 1 – Dados de previsão de precipitação extraídos do Modelo Global

Mês	Membro 1	Membro 2	Membro 3	Membro 4	Membro 5
out/97	138,3	142,2	150,6	109,5	158,4
nov/97	134,1	249,7	198,5	230,9	187,3
dez/97	170,5	145,9	153,4	150,1	141,5
jan/98	109,7	150,2	83,6	88,8	87,0
fev/98	91,6	125,7	101,3	69,3	153,8
mar/98	107,7	184,0	66,5	83,5	91,7
out/98	77,8	59,3	58,4	104,4	88,7
nov/98	50,3	107,4	81,8	88,9	42,9
dez/98	67,9	64,2	65,8	111,9	51,0
jan/99	54,4	168,7	122,3	113,4	29,1
fev/99	90,8	57,3	70,0	114,5	20,2
mar/99	189,3	27,2	122,0	76,0	52,6
out/99	56,8	62,3	50,2	42,2	27,9
nov/99	47,3	76,9	66,1	62,9	90,4
dez/99	55,6	118,9	91,7	94,8	133,2
jan/00	62,0	87,4	171,1	78,8	77,7
fev/00	90,4	62,4	69,2	44,5	144,4
mar/00	91,2	41,0	67,8	55,5	18,0
out/00	70,2	43,6	31,1	26,9	89,8
nov/00	60,6	17,2	59,6	34,3	102,6
dez/00	65,7	73,0	81,3	64,6	151,4
jan/01	74,0	149,2	68,2	69,8	76,2
fev/01	45,4	81,8	29,3	96,5	159,6
mar/01	90,4	83,9	88,6	33,2	52,6
out/01	27,3	49,9	45,7	118,3	39,8
nov/01	48,7	74,2	90,9	121,4	72,4
dez/01	118,5	152,3	133,1	127,9	90,0
jan/02	179,2	113,7	139,2	175,5	161,9
fev/02	100,6	102,2	119,5	164,6	198,6
mar/02	39,0	116,9	150,3	88,0	137,1
out/02	65,0	61,2	57,6	59,1	61,5
nov/02	101,2	69,6	60,9	156,5	56,3
dez/02	103,3	121,8	182,1	119,6	53,6
jan/03	107,5	72,7	117,6	218,4	134,0
fev/03	183,4	135,4	145,6	137,3	74,0
mar/03	60,7	97,8	91,2	204,1	176,0

out/03	126,3	34,1	12,9	48,8	27,8
nov/03	57,4	118,9	110,6	25,7	53,6
dez/03	61,0	66,1	100,9	51,8	72,7
jan/04	84,0	45,4	25,6	70,3	69,1
fev/04	64,4	113,3	58,5	47,8	83,7
mar/04	72,1	85,6	62,0	66,7	65,2
out/04	68,5	81,1	182,2	123,9	46,0
nov/04	132,6	84,1	53,3	79,7	29,6
dez/04	82,0	45,4	25,1	63,7	35,4
jan/05	23,7	34,5	82,2	26,2	31,5
fev/05	63,1	107,1	85,0	73,5	137,4
mar/05	113,6	77,1	108,7	137,0	104,8
out/05	60,8496	70,0195	136,523	51,709	125,244
nov/05	38,2031	74,2969	54,9902	40,8691	70,8105
dez/05	21,8115	70,8398	20,0977	56,0156	60,5859
jan/06	53,0713	78,2227	94,248	32,0508	43,2861
fev/06	48,2959	65,8447	175,635	118,389	58,5791
mar/06	101,367	102,803	82,4561	52,7344	134,355

Tabela 2 – Dados de previsão de precipitação do Modelo Regional Estatístico para o Rio Grande do Sul.

Ano	Out	Nov	Dez	Jan
1997	119,4	121,1	258,2	90,6
1998	26,0	115,4	118,4	129,6
1999	31,7	29,9	84,1	74,2
2000	61,6	94,8	68,7	53,2
2001	128,8	59,5	73,8	118,9
2002	93,4	93,7	167,3	104,9
2003	61,5	158,7	38,7	63,4
2004	60,6	82,7	80,2	20,0
2005	93,3	20,0	41,0	56,0

Tabela 3 – Dados de previsão de precipitação do Modelo por índices climáticos.

Ano	Out	Nov	Dez
1997	151,3	121,0	87,8
1998	92,8	89,0	61,6
1999	90,1	91,8	67,0
2000	104,0	74,7	50,9
2001	123,1	69,1	65,9
2002	118,4	107,5	75,2
2003	113,8	104,4	75,7
2004	108,6	99,4	57,9
2005	128,3	71,9	69,5

ANEXO C
Modelo Hidrológico-hidrodinâmico

Modelo Hidrodinâmico- hidrológico

O sistema hidrológico no qual se insere o banhado do Taim tem duas componentes principais: o banhado propriamente dito, e o subsistema sul (lagoa Mangueira e sua área de aportes). As observações determinaram que o aporte do subsistema norte era muito pequeno, e que não influenciavam o comportamento do banhado. Portanto o modelo do Taim simula a lagoa Mangueira (principal fonte de água do banhado) e o banhado propriamente dito, até sua conexão com a lagoa Mirim, nas comportas de saída do banhado. As componentes do modelo são as seguintes:

Módulo da Mangueira: Este módulo está composto por um modelo hidrológico simples que simula a transformação chuva - vazão na área de aporte à lagoa Mangueira e por uma equação de balanço da lagoa. Se relaciona com o módulo do banhado na interface lagoa - banhado, na qual, em função dos níveis, é calculada a vazão que sai da Mangueira e entra no Taim. Esta vazão é uma das componentes do balanço da Mangueira, e o nível da Mangueira é uma condição de contorno do módulo do banhado;

Módulo do banhado: Este módulo é o modelo hidrodinâmico do banhado, simula o escoamento no banhado propriamente dito e no canal lateral, e recebe a influencia da lagoa Mirim através das comportas de saída do banhado. Em termos de programação, este é o programa de comando, e utiliza o módulo da Mangueira como um subprograma.

Devido à complexidade do funcionamento do sistema e à escassez de dados, o modelo foi usado não só para simular os cenários e definir as medidas a serem adotadas para a preservação do Taim, como também para identificação tentativa de algumas características físicas e de funcionamento.

Modelo da Mangueira

Como já foi mencionado, o sistema do banhado do Taim é um sistema hidrológico não-típico, diferente daqueles para os quais em geral são desenvolvidos os modelos matemáticos. Isto significa que podem acontecer problemas de adaptação entre os modelos e o sistema a simular. Além disso, o intervalo dos dados disponíveis para o período a simular era mensal, o que implica uma simulação com simplificações metodológicas sobre a distribuição

temporal dos processos que ocorrem na bacia. Porém, em geral são filtrados os efeitos de curta duração, que não influenciam tanto o armazenamento e a área das lagoas e banhados estudados.

Para simular a lagoa Mangueira e sua área de contribuição foi utilizado um modelo de balanço de volumes, representado pela equação:

$$S(t+\Delta t)=S(t)+A_b C_e P+ A_M P-k_t E A_M -I_r -Q_T \Delta t \quad (1)$$

onde S = volume na lagoa Mangueira (m³), Ab = área de contribuição à Mangueira (m²), Ce = coeficiente de escoamento, P = precipitação no intervalo de tempo considerado (m), AM = área da lagoa Mangueira (m²), kt = coeficiente da evaporação de tanque, E = evaporação no intervalo de tempo, Ir = volume retirado para irrigação (m³), QT = vazão que sai da Mangueira para o Taim (m³/s) (calculada pelo modelo do Taim como vazão de entrada, é o elo entre os dois subsistemas). A soma das áreas Ab e AM é constante, e igual a 1597 km², que é a área total do subsistema da Mangueira.

As relações cota-volume e área-volume da lagoa Mangueira são usadas para obter a cota e área da lagoa, correspondentes ao volume no final do intervalo de tempo. Essas relações são:

$$z = -5,49 + 0,00824 S \quad S < 637,7 \text{ hm}^3 \quad (2)$$

$$z = -0,7 + 0,00136 S \quad S > 637,7 \text{ hm}^3 \quad (3)$$

$$A_M = 1108,14 - 426464,5/S \quad (4)$$

Esse modelo tem como vantagem o fato de ter só dois parâmetros (Ce e k), que são calibrados em conjunto com o modelo do Taim. A desvantagem é que os fenômenos são representados de forma muito simplificada, e os parâmetros absorvem efeitos além dos que teoricamente representam. No entanto, como será visto no referente à calibração do modelo, os resultados da simulação da Mangueira foram bons.

Modelo do Taim

Para representar o banhado do Taim foi utilizado o modelo de celas, embora o modelo seja originalmente concebido tendo o rio como componente principal, nada impede usá-lo para representar um sistema em que o rio é secundário ou simplesmente não existe (neste caso

seria necessário usar um canal “dummy”, por questões do algoritmo). A única adaptação necessária, para simular um sistema em que a área inundada era a principal componente em termos de escoamento, foi psicológica: deixar de pensar em função do canal e passar a fazê-lo em função do banhado, e se adaptar a tempos de resposta do sistema muito maiores.

Discretização do banhado

O sistema foi representado usando 13 seções no canal e 28 celas no banhado (Figura 1), procurando representar todas as características relevantes conhecidas. O comprimento dos trechos é da ordem de 3 km, e a área das celas de aproximadamente 9 km². O escoamento entre as celas foi representado mediante ligações tipo canal ou vertedor.

Devido à escassez de dados topográficos (as cartas que cobrem a região não tem curvas de nível, só alguns pontos isolados com cotas definidas como duvidosas pela mesma carta), todo e qualquer tipo de informação disponível foi aproveitada. Além das cartas e um estudo anterior (DNOS, 1968), isto incluiu imagens de satélite, aerofotografia, observação visual durante visitas ao local, fotografias tiradas durante um vôo, comentários do pessoal do IBAMA e do IPH e inferências a partir da vegetação. Mesmo assim, a região compreendida entre a seção do Cachorro e a lagoa Mangueira nunca deixou de ser terra incognita, tanto em termos de topografia quanto de funcionamento. Por causa das características da vegetação predominante, as imagens de satélite e as fotografias apresentam uma imagem uniforme, da qual é muito difícil extrair alguma informação.

Um divertimento adicional foi proporcionado pela diferença entre os dois sistemas de referência de níveis (IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, e SGE, Serviço Geográfico do Exército). Na sua primeira visita ao Taim, o autor foi conferir os níveis na região perto da seção do Cachorro, e para sua surpresa, o que segundo as cartas deveria estar seco tinha seus bons 40 cm de água. Algumas averiguações indicaram que as cartas eram SGE, e o sistema de réguas do Taim estava referenciado ao IBGE. Tentou-se então descobrir qual era a relação entre os dois sistemas que, ingenuamente, se imaginou fixa e conhecida. É variável e desconhecida, e só pode ser determinada localmente (com sorte), comparando RNs dos dois sistemas. Felizmente na região do Taim existem vários RNs referenciados aos dois sistemas ou próximos o suficiente para fazer comparações. Finalmente chegou-se a uma diferença de 0,33 m ($SGE=IBGE+0,33$) entre os dois, com a que foi possível separar novamente as terras das águas. Todos os níveis em este trabalho estão referenciados ao SGE.

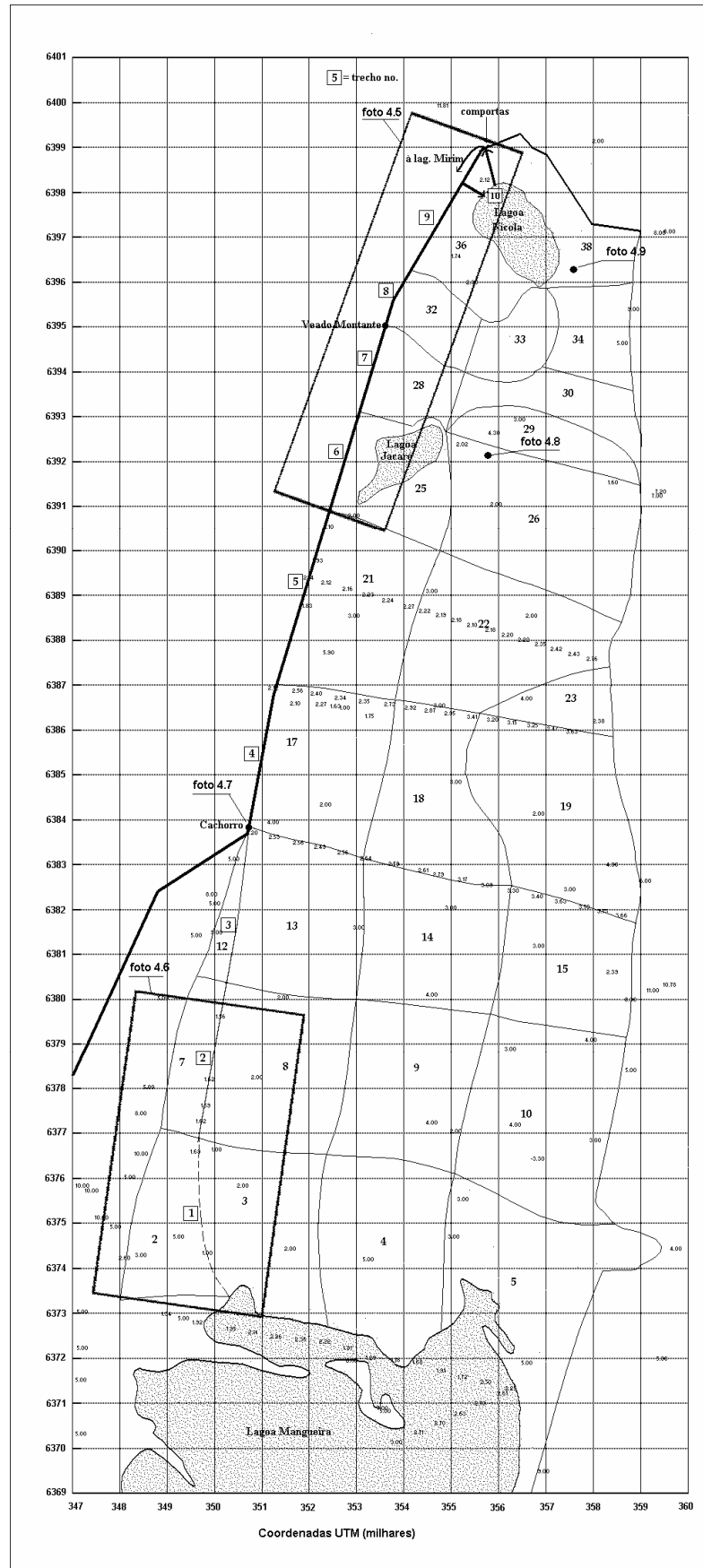


Figura 1: Discretização do banhado do Taim.

Os critérios básicos para definir as celas foram:

- divisões naturais, seja por obstáculos definidos (albardões), ou por diferenças marcadas de altitude do terreno. Foi aplicado principalmente na região das lagoas Nicola e Jacaré, que é onde se encontra um “relevo” mais marcado, na parte leste do banhado, e no canal da Sarita.

- conhecimento da topografia da fronteira entre as celas. Foi utilizado na área central do banhado, fundamentalmente em função dos perfis executados no estudo do DNOS (1968).

- tendências aparentes do escoamento. Foi aplicado como critério complementar em todas as áreas.

A discretização do canal foi bem mais simples, só requerendo um pouco mais de análise nos extremos. No extremo sul, aparentemente, o canal termina bruscamente, uns 7 km ao sul da seção do Cachorro. Nesse ponto a vegetação fecha o canal, e existe um degrau bem marcado no fundo (~1 m). No entanto, as fotografias tiradas do avião mostravam a existência de uma espécie de via preferencial de escoamento, que se estende até o encontro com a lagoa Mangueira. Esse trecho foi considerado como parte do canal, respeitando o degrau, e com uma rugosidade muito alta (da mesma ordem que a das celas), tendo como condição de contorno a cota na Mangueira.

As cotas de fundo das seções de ligação canal - Mangueira, do degrau do canal e de saída da Nicola tiveram que ser ajustadas ao longo da simulação, porque, em períodos muito secos, o nível caía abaixo delas, interrompendo o processo de cálculo. Para evitar isto, a cota do fundo foi rebaixada artificialmente, e entre o fundo real e o redefinido foi colocada uma rugosidade muito alta (~1,0), para obter vazão praticamente nula e poder continuar com o cálculo.

No extremo norte, o traçado original do canal tem sofrido alterações, e, em lugar de ir diretamente para as comportas, o escoamento entra na lagoa Nicola, e dela sai para as comportas. Uma consequência disso é que a saída de água do Taim, no curto prazo, é agora controlada em boa medida pela seção de saída da Nicola. Na discretização adotada, a lagoa Nicola tecnicamente faz parte do canal, mas representada por uma formulação que faz com que seu funcionamento, ao igual que na natureza, seja semelhante ao das celas.

No resto do canal, as seções foram colocadas de maneira a coincidir com as divisões das celas que se encontram ao longo dele.

Parâmetros do modelo

Intervalo de tempo e redutores canal-cela

Cada um dos dois módulos que compõem o modelo do sistema trabalha com um intervalo de tempo diferente, que depende das características do fenômeno simulado e do modelo utilizado para representá-lo. O modelo da Mangueira é um modelo hidrológico simples, e seu intervalo de tempo está condicionado basicamente pelo intervalo de tempo dos dados hidrológicos disponíveis. Para o período de calibração (1995 - 1996), os dados hidrológicos tinham intervalo diário (chuva, evaporação) ou eram feitas duas leituras diárias (cotas). No entanto, como o intervalo de tempo dos dados do período de aplicação era mensal, optou-se por trabalhar com esse intervalo. O intervalo de tempo real do balanço foi, portanto, mensal, dividido em intervalos de cálculo de 12 h, para fornecer a entrada ao modelo do banhado, com os valores de chuva e evaporação distribuídos igualmente entre eles.

No caso do modelo hidrodinâmico que representa o banhado, o principal condicionante foi a relação de tamanhos entre o canal e as celas. No caso das celas teria sido possível utilizar um Δt de até 24 h, embora isso requereria uma calibração muito cuidadosa, e um Δt entre 6 e 12 h sem maiores problemas. Para o canal isolado, o Δt poderia ser até da ordem de 6 h, porque as velocidades são muito baixas (da ordem de 0,10 m/s e até menores), e o amortecimento numérico não é problema, já que o que interessa reproduzir é o transporte de volumes a longo prazo. No entanto, como a área superficial dos trechos de canal (~30 m x 3000 m) é muito menor que a das celas (~3000 m x 3000 m), o tempo de resposta do canal ao intercâmbio de água com as celas é muito mais rápido que o das celas (simplicemente, a quantidade de água que, saindo de uma cela, a faria descer 0,01 m, ao entrar no canal o faria subir 1 m). Além disso, a vazão do canal é muito pequena, o que significa que este tem pouca capacidade para repor ou evacuar os volumes de intercâmbio com a cela. O que acontece na natureza é que a descida do nível da cela é um processo lento e contínuo, a superfície da mesma não desce de maneira horizontal, existem declividades nas diferentes direções de fluxo, e, portanto, os desníveis perto das fronteiras são menores que os medidos entre os centros das celas. Existe uma propagação dentro da cela que não é levada em conta pelo modelo. Na natureza acontece um processo de transição que não está representado na formulação utilizada. Quando as componentes do sistema (celas e trechos de canal) são de tamanhos semelhantes, as diferenças entre a formulação discreta e a contínua não são

importantes, e o processo de cálculo transcorre sem maiores problemas. O algoritmo iterativo (ver 3.3.2) se encarrega de atenuar as oscilações que eventualmente apareçam em pontos particularmente críticos. O critério utilizado para as iterações foi de ter variações da cota menores que 2 cm, entre duas iterações sucessivas.

Representar esse processo requereria um Δt muito pequeno (5 a 10 min), mais ainda com a formulação simplificada que é usada para o intercâmbio cela-canal. Com intervalos de tempo da ordem dos indicados para as celas ou para o canal isoladamente, o resultado era uma violenta instabilidade e destruição do processo de cálculo. Por outro lado, o Δt adequado era incompatível com os computadores facilmente disponíveis no momento de executar o trabalho (486 DX2 e DX4). Com o intervalo de tempo finalmente utilizado (2 h), a simulação do período 1960 - 1996 demorava de 2,5 a 3 h, e com um Δt da ordem indicada seria de 1 a 3 dias.

A solução adotada foi aplicar um redutor adicional à transferência entre o canal e as celas, de maneira a fazer mais lento o intercâmbio de água (que, com o mecanismo mencionado anteriormente, é o que acontece na natureza). Vários testes realizados mostraram que uma redução da ordem de 10^{-1} era suficiente para manter a estabilidade, e não afetava a qualidade dos resultados. Assim, se os redutores de área (ver item seguinte), por efeito de obstrução, são da ordem de 0,5 entre celas, com o canal são da ordem de 0,05. Isto permitiu trabalhar com um intervalo de tempo de 2 h, que era razoável do ponto de vista prático.

Rugosidades e redutores cela-cela

As rugosidades do canal foram tratadas da forma convencional, com valores de 0,04. Para o escoamento entre celas o problema era diferente, por causa da obstrução da palha, que produz dois efeitos: rugosidade muito alta e redução da área de passagem. A solução foi tratar os dois aspectos por separado.

Para levar em conta a redução da área foi incorporado um termo (R_d) na equação de fluxo entre duas celas (equação 3.7), que é simplesmente a proporção de área livre. Essa modificação só foi introduzida quando a relação era tipo canal, já que nos casos em que se utilizou uma relação tipo vertedor, a inspeção visual determinou a inexistência de obstruções sistemáticas. De fato, nas partes altas dos albardões, que ficam secas boa parte do tempo, a vegetação é basicamente grama, já que a palha precisa de uma certo tirante mínimo a maior parte do tempo (Marques e Irgang, 1997). A equação fica agora

$$Q_{i,j} = \frac{Ah^{2/3}}{n} \sqrt{\frac{|z_i - z_j|}{\Delta x_{i,j}}} R_d \quad (4.5)$$

No que diz respeito à rugosidade, era necessário ter uma ordem de grandeza como base para iniciar o processo de calibração e usar como referência em torno da qual fazer variar os valores. A referência encontrada (Klaassen e van der Zwaard, 1974), trata de planícies de inundação com obstáculos “discretos” (hedgerows e árvores), e não “contínuos”, como é o caso da palha, que se estende de maneira uniforme por grandes extensões.

Para obter um valor de referência decidiu-se então analisar o efeito, sobre a condutância hidráulica, de dividir uma determinada seção de escoamento em “fatias” (figura 4.10), só por causa do aumento do raio hidráulico (a redução da área já estava incorporada na equação). Uma análise semelhante, embora com outro objetivo, foi apresentada por Tucci (1987).

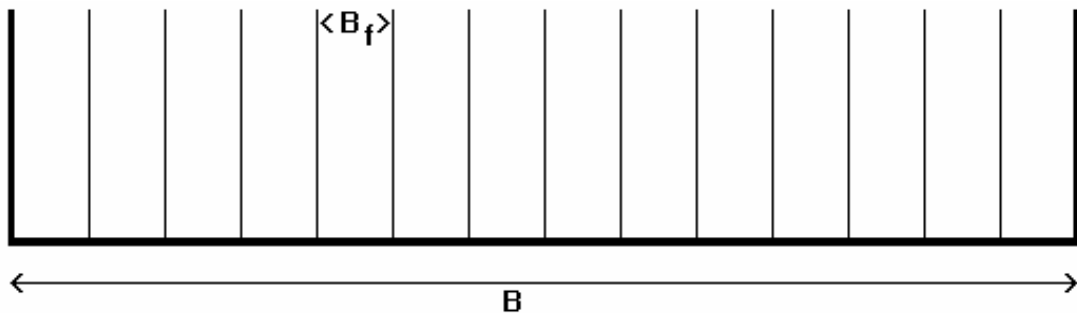


Figura 4.10: Divisão de uma seção em fatias.

Na figura 4.11 pode ser vista a redução de K em função do tamanho das fatias, para larguras totais da seção entre 1000 e 4000 m (tirante ~ 1 m). Os pontos para qualquer largura caem sobre a mesma curva, o que significa que a redução depende só do tamanho das divisões. Para o tamanho médio de área livre (entre folhas de palha) que se encontra no Taim, da ordem de 1 a 5 cm, a redução é de 15 a 20 vezes ($K/15$ a $K/20$), o que significa valores de n de Manning entre 0,30 e 0,60 (considerando que a seção sem obstruções teria um n de 0,020 a 0,030).

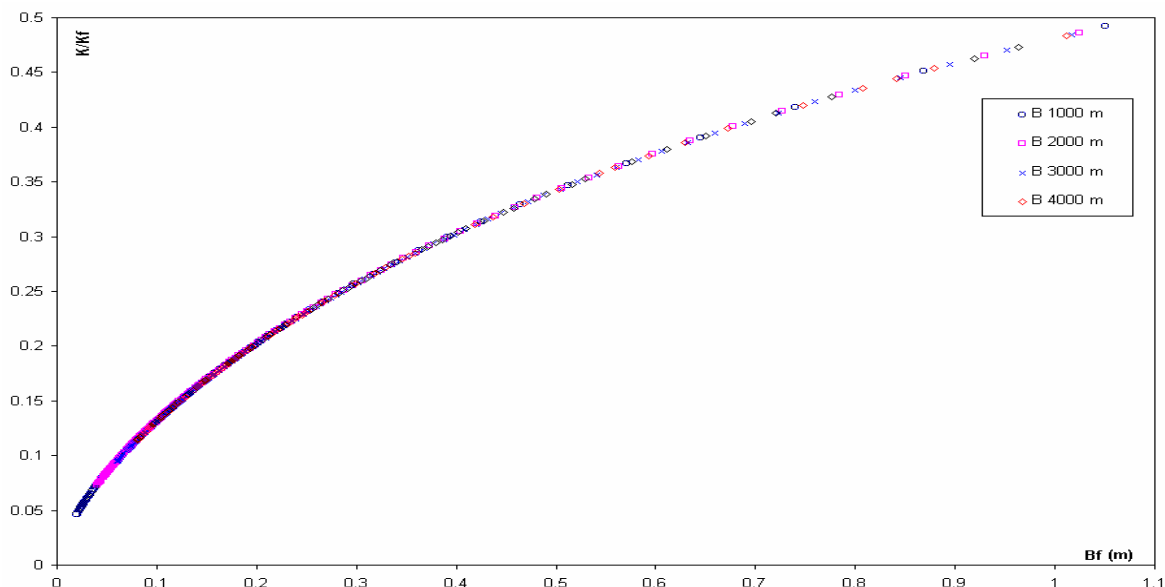


Figura 4.11: Redução da condutância hidráulica em função da subdivisão de uma seção.

As comportas de saída do Taim para a lagoa Mirim

No projeto que visava drenar o Taim, e destinar as terras à lavoura de arroz foram projetadas comportas para regular a descarga do Banhado do Taim em direção à lagoa Mirim. O sistema projetado é composto por dois conjuntos de comportas, com as seguintes características:

Comportas para vazões freqüentes: compostas por oito vãos que passam por baixo da BR-471, na direção Lagoa Nicola - Canal da Lagoa Mirim. As medidas das comportas são: 1,524 x 1,524 m de seção transversal, separados por colunas de 0,20 m de espessura. O comprimento aproximado é de 32,0 m, sendo a cota de fundo do canal -2,20 m SGE;

Comportas para vazões excepcionais: semelhantes às anteriores, são oito vãos localizados 100 m ao norte das comportas anteriores, com cotas de fundo de -0,60 m SGE. para escoar os volumes das enchentes. As características são similares às comportas anteriores.

Esse sistema atualmente encontra-se danificado e as aberturas fechadas por tapumes, sendo que sua capacidade de descarga está tão reduzida que é aproximadamente equivalente à de um orifício de $\sim 3,75 \text{ m}^2$ de área de passagem (calculada a partir do coeficiente de descarga ajustado na calibração), ou seja, $\sim 10 \%$ da área máxima possível .

Como não se conhecia a área livre real das comportas, na calibração utilizou-se um coeficiente de descarga (C_d) que inclui o efeito do coeficiente de orifício, a área de passagem e o termo $(2g)^{1/2}$. O valor resultante da calibração foi $C_d = 10$ para a situação atual e $C_d = 40$ para o período 67 - 68, em que as comportas estavam mais abertas. Este último valor foi o utilizado para a simulação da situação histórica (cenário 1), e o primeiro para as simulações da situação atual.

Problema do desnível Mangueira - Taim

Um problema especial apareceu na interface entre a Mangueira e o banhado. Os valores registrados pelo IPH durante o período 1995 - 1996 mostravam um desnível mínimo sistemático da ordem de 0,50 m (ver valores observados na figura 4.12). Não foi possível reproduzir este desnível com nenhuma combinação fisicamente coerente de características físicas e parâmetros de escoamento. Também não foi possível achar uma explicação que justificasse a existência desse desnível, já que existe continuidade física entre a Mangueira e o Taim, o que significa que o desnível não pode estar localizado na interface. Por outro lado, as velocidades (da ordem de poucos cm/s), e demais características gerais observadas do escoamento, não são coerentes com a declividade que seria necessária para atingir esse desnível no escoamento dentro do Taim. Além disso não existem dados topográficos ou outras informações sobre a metade sul do banhado, incluído a interface com a Mangueira. Percorrer a região desde o lado do banhado requer um tipo especial de barco que não estava disponível, e as vezes que foi tentado entrar pela Mangueira não foi possível por causa do forte vento. As cotas dos zeros das réguas que apresentavam esse desnível (Santa Marta e Cachorro) foram verificadas, e uma medição de ida e volta, com GPS (Ground Positioning System) geodésico, deu uma diferença de 0,15 m na cota do zero entre a ida e a volta, (e de 0,25 m entre a máxima e a mínima cota obtidas nas várias medições executadas durante o desenvolvimento deste estudo), levantando suspeitas em relação à precisão desses aparelhos, mas não permitiu chegar a identificar positivamente um erro que explicasse o desnível.

Para conseguir simular esse desnível, na comunicação entre a Mangueira e o Taim foi utilizada uma equação tipo comporta ($Q=C(hm-hj)^{1/2}$). Isso permitiu reproduzir o desnível de maneira localizada, sem ter que forçar os parâmetros em outras partes do sistema. Como não era razoável supor que a vazão entre a Mangueira e o Taim era só função do desnível (e independente do tirante), a equação foi multiplicada por uma função do tirante ($h^{5/3}/2$) semelhante à que o tirante apresenta em uma equação tipo Manning. A equação resultante é:

$$Q_{i+1} = C_0 \sqrt{|z_i - z_{i+1}|} (h^{5/3}/2) \quad (4.6)$$

O autor não descarta a existência de algum fenômeno físico ou feição do banhado, que justifique o desnível, e que não tem sido capaz de identificar. No entanto, considera muito provável algum erro na determinação do zero das régua, provavelmente na régua de Santa Marta, já que os outros valores dentro do banhado são coerentes entre si.

Calibração

Existiam basicamente dois conjuntos de parâmetros a ajustar: os do modelo da Mangueira e os do modelo hidrodinâmico do banhado. Os primeiros regulam os volumes e cotas da lagoa, e através destas a entrada de água ao banhado. Por sua vez, as cotas do banhado influenciam a saída de água da Mangueira, afetando portanto seus volumes e cotas. Como os dois sistemas são interdependentes, não seria possível calibrar os modelos por separado, a menos que fossem conhecidas as vazões na interface lagoa - banhado, que não era o caso. Como já foi mencionado, essa região é um buraco negro em termos de informação. Dispunha-se de dados de dois períodos, sendo o primeiro o estudo realizado pelo IPH em 1995 - 96, com cotas observadas em vários pontos da lagoa e do banhado e situação conhecida na saída do sistema para a lagoa Mirim, o que permitia fazer uma estimativa razoável do balanço de volumes. Os outros dados disponíveis eram só cotas na lagoa Mangueira no período 1967 - 68.

O processo de calibração foi bem mais complexo que no caso da simulação de um rio, por vários motivos:

- complexidade do sistema;
- interação entre as componentes (Mangueira e Taim);
- tempo de resposta muito longo;
- pouca informação sobre as características e funcionamento do sistema;
- duração do período a simular e variedade de situações abrangidas.

A quantidade de parâmetros a ajustar era grande, da ordem de 70 nominalmente, que em termos práticos podem ser reduzidos a algo em torno de 30, já que a boa parte dos

parâmetros das celas foi atribuído um valor único, por causa da falta de informação e da uniformidade de algumas áreas. A falta de informação topográfica obrigou a incluir algumas cotas entre os valores a serem ajustados na calibração. O tipo de “parâmetro” era também bastante variado, já que incluía parâmetros de escoamento, parâmetros hidrológicos e características topográficas. Além disso, pela forte interação entre as componentes, alterações em um tipo ou conjunto de parâmetros freqüentemente influenciava os efeitos dos outros tipos ou conjuntos. Essa influencia freqüentemente aparecia vários anos depois, e as vezes com efeitos totalmente inesperados.

A calibração foi executada utilizando dois períodos. O primeiro foi 1995-1996 (fig. 4.12), no qual é possível estimar as vazões que passam pela comporta de saída do Taim e, indiretamente, as que saem da Mangueira para o Taim. Isso permitiu ajustar os valores do coeficiente de escoamento da área de aporte à Mangueira ($C_e = 0,25$), e de transformação da evaporação de tanque em evaporação de superfície livre, para a Mangueira ($k = 0,90$) e para o Taim ($k = 1,00$). O coeficiente de tanque da Mangueira é um pouco alto, mas pode ser justificado pelo forte vento que costuma soprar sobre a lagoa. Em relação ao coeficiente de escoamento, conceitualmente teria sido melhor usar C_e variável mês a mês, no entanto, alguns testes mostraram que a diferença seria mínima, e não justificaria o aumento no número de parâmetros a ajustar. Os coeficientes de rugosidade e dos vertedores e algumas cotas também foram ajustados neste período.

Durante este período (fevereiro de 1996) houve uma alteração na configuração da saída do Taim para a Mirim: a saída da lagoa Nicola foi fechada com um aterro. Isso foi simulado no modelo com um aumento contínuo da rugosidade dessa seção ao longo de 15 dias, até chegar a um valor que, em termos práticos, zerava o escoamento.

Na segunda etapa trabalhou-se com o período 60-68 (fig. 4.13), para ajustar 67-68 (1/67 - 6/68). O motivo para simular desde 1960 até 1967 é que este período gera as condições iniciais do período conhecido, principalmente as do banhado, que eram desconhecidas, e são afetadas pela calibração. Os coeficientes C_e e k não foram alterados, já que não existiam dados para fazer controle dos volumes, mudando só rugosidades, coeficientes de vertedores e cotas. Esta parte do processo de calibração é importante na medida em que, a partir de condições iniciais geradas pelo próprio modelo, consegue-se reproduzir adequadamente o comportamento de uma das componentes do sistema, a lagoa Mangueira (os erros são da ordem de 0,15 m).

Foi feito um processo recursivo entre os ajustes dos dois períodos, simulando um deles com os parâmetros obtidos do ajuste do outro, até obter resultados razoáveis para ambos, embora não ótimos para qualquer um deles. Isto é razoável, dado que há 30 anos entre eles, com alterações no sistema. Além disso, por causa do problema do tempo de resposta do sistema, o processo recursivo incluiu simulações do período completo, para verificar que os parâmetros não gerassem problemas em situações não contempladas nos dados disponíveis para o ajuste. Nas figuras 4.12 e 4.13 podem ser vistos os resultados, com os parâmetros finais, para os dois períodos.

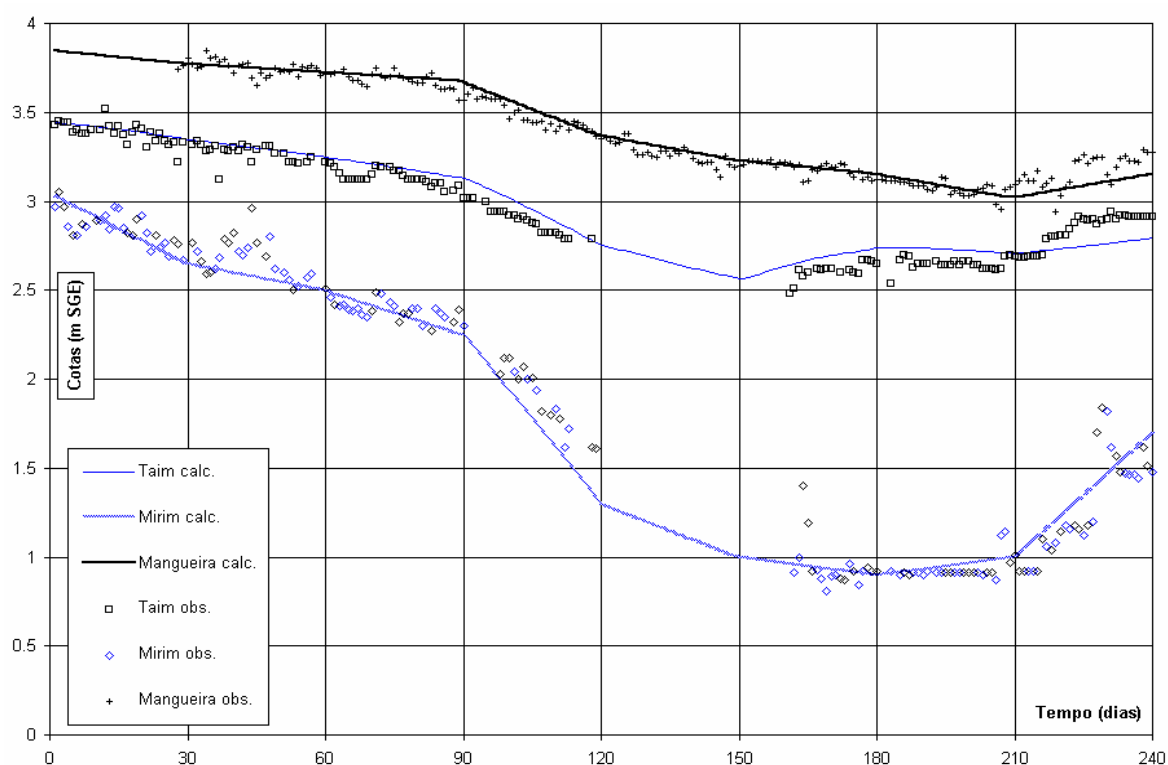


Figura 4.12: Ajuste do período 1995 - 1996.

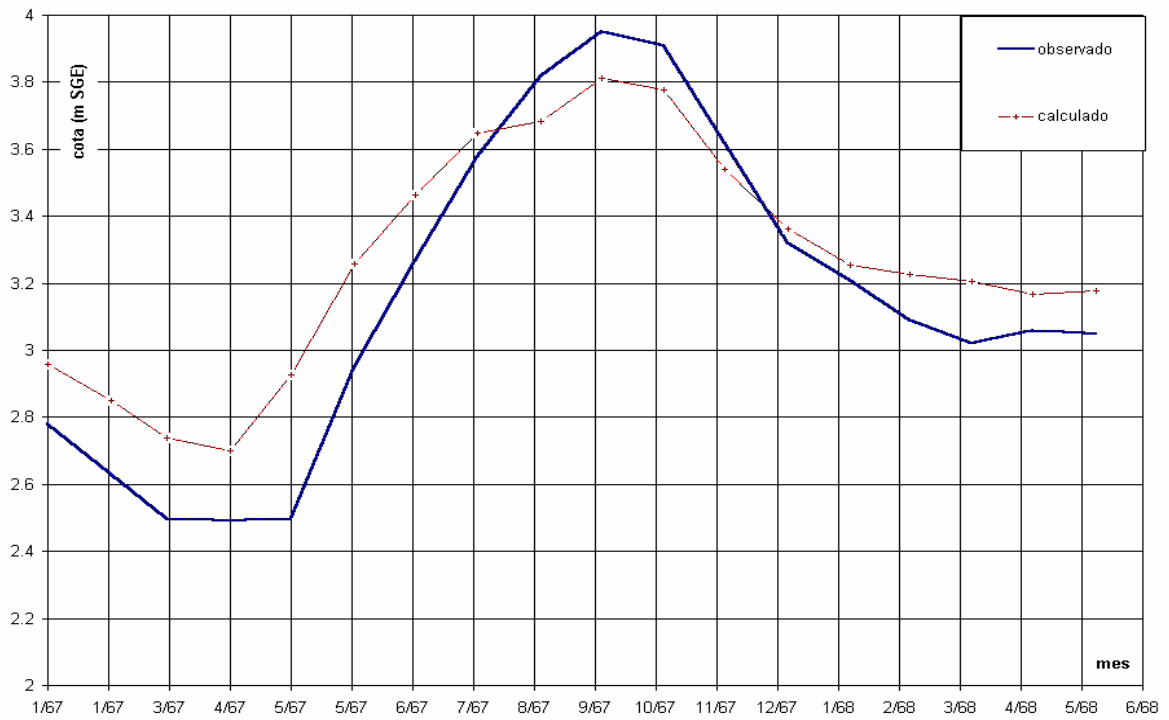
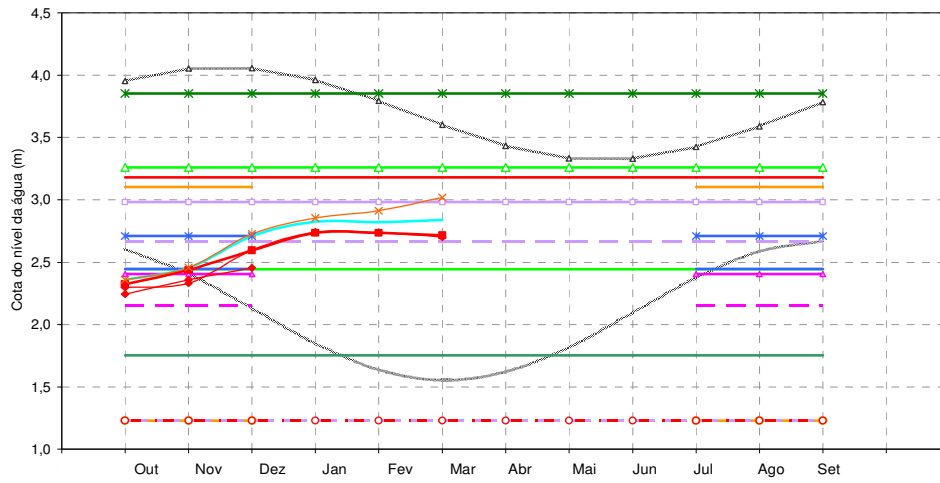


Figura 4.13: Ajuste da lagoa Mangueira, período 1967 - 1968.

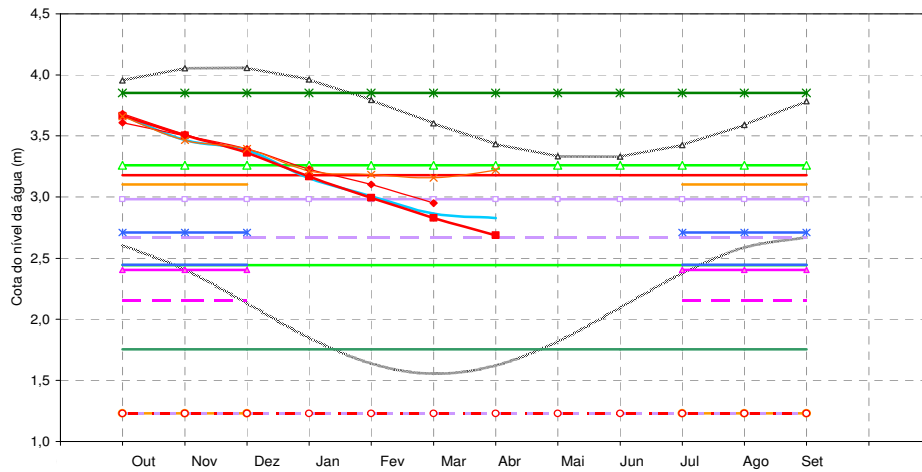
ANEXO D

Figuras da variabilidade sazonal do hidroperíodo, com os desvios e previsão futura

1997/98

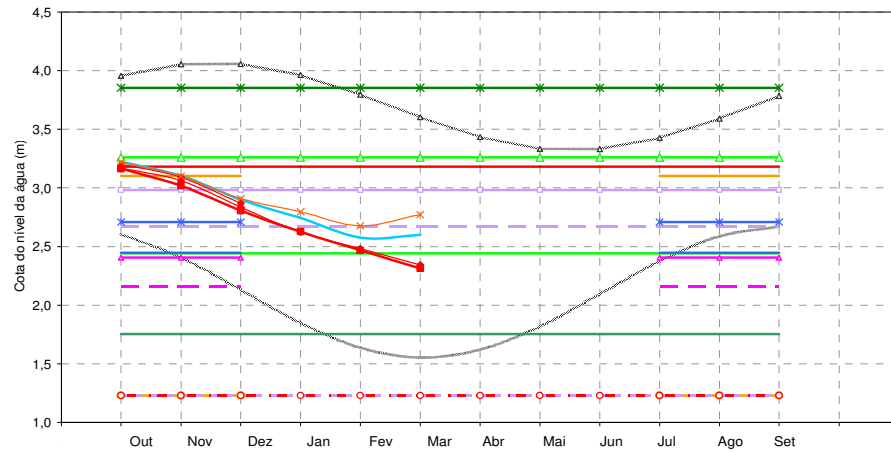


1998/99

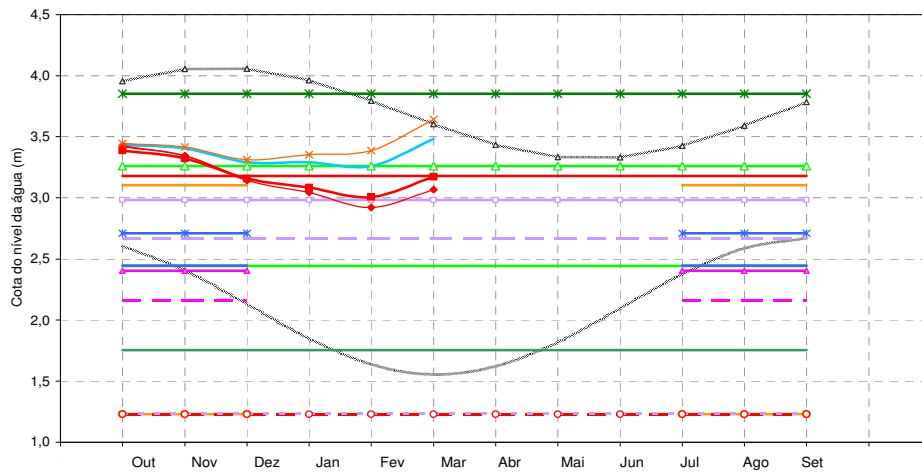


- | | |
|--|---|
| ----- Cota Inferior - Hidrologico | ----- Cota Superior - Hidrologico |
| ----- Cota Inferior - Z. bonariensis | ----- Cota Superior - Z. bonariensis |
| ----- Cota Inferior - Z. bonariensis (sem restrição) | ----- Cota Superior - Z. bonariensis (sem restrição) |
| ----- Cota Inferior - cisne (sem restrição) | ----- Cota Superior - cisne (sem restrição) |
| ----- Cota Inferior- cisne (maximo no. habitats) | ----- Cota Superior - cisne (maximo. No de. habitats) |
| ----- Cota Inferior - cisne (restrição 4,5 e 6) | ----- Cota Superior - cisne (restrição 4,5 e 6) |
| ----- Cota Inferior capivara (sem restrição) | ----- Cota Superior capivara (sem restrição) |
| ----- Cota inferior - S. giganteus | ----- Cota Superior - S. giganteus |
| ----- Cota Inferior - S. giganteus (sem restrição) | ----- Observado |

2000/2001

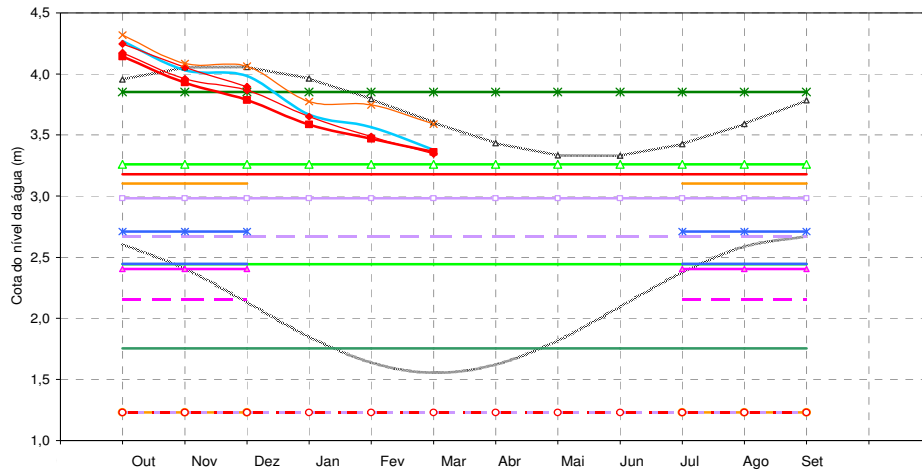


2001/2002

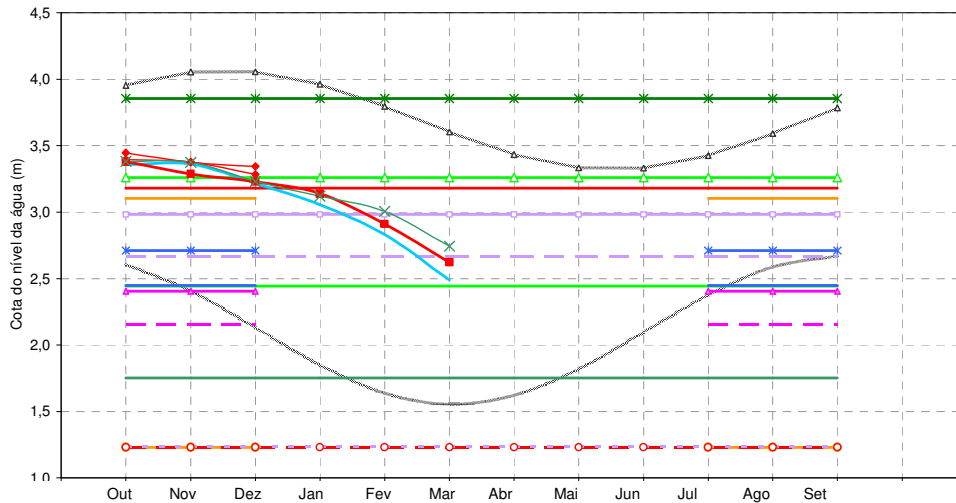


- | | | | |
|-------|--|-------|--|
| ~~~~~ | Cota Inferior - Hidrologico | ~~~~~ | Cota Superior - Hidrologico |
| — | Cota Inferior - Z. bonariensis | —△ | Cota Superior - Z. bonariensis |
| — | Cota Inferior - Z. bonariensis (sem restrição) | —* | Cota Superior - Z. bonariensis (sem restrição) |
| —○ | Cota Inferior - cisne (sem restrição) | — | Cota Superior - cisne (sem restrição) |
| — | Cota Inferior - cisne (maximo no. habitats) | —* | Cota Superior - cisne (maximo No de. habitats) |
| — | Cota Inferior - cisne (restrição 4,5 e 6) | —△ | Cota Superior - cisne (restrição 4,5 e 6) |
| —◇ | Cota Inferior capivara (sem restrição) | — | Cota Superior capivara (sem restrição) |
| —□ | Cota inferior - S. giganteus | —□ | Cota Superior - S. giganteus |
| --- | Cota Inferior - S. giganteus (sem restrição) | — | Observado |

2002/2003



2003/2004



- | | | | |
|-------|--|-------|---|
| ----- | Cota Inferior - Hidrologico | ----- | Cota Superior - Hidrologico |
| ----- | Cota Inferior - Z. bonariensis | ----- | Cota Superior - Z. bonariensis |
| ----- | Cota Inferior - Z. bonariensis (sem restrição) | ----- | Cota Superior - Z. bonariensis (sem restrição) |
| ----- | Cota Inferior - cisne (sem restrição) | ----- | Cota Superior - cisne (sem restrição) |
| ----- | Cota Inferior- cisne (maximo no. habitats) | ----- | Cota Superior - cisne (maximo. No de. habitats) |
| ----- | Cota Inferior - cisne (restrição 4,5 e 6) | ----- | Cota Superior - cisne (restrição 4,5 e 6) |
| ----- | Cota Inferior capivara (sem restrição) | ----- | Cota Superior capivara (sem restrição) |
| ----- | Cota inferior - S. giganteus | ----- | Cota Superior - S. giganteus |
| ----- | Cota Inferior - S. giganteus (sem restrição) | ----- | ----- |
| | | ----- | Observado |

2004/2005

