

FABIO MARTINS AYRES

**PREVISÃO DE CHEIAS VIA SATÉLITE PARA O
PLANEJAMENTO AMBIENTAL DO PANTANAL:
SUBSÍDIOS PARA AS ATIVIDADES HUMANAS NO
COMPLEXO**

**UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO LOCAL
MESTRADO ACADÊMICO
CAMPO GRANDE - MS
2004**

FABIO MARTINS AYRES

**PREVISÃO DE CHEIAS VIA SATÉLITE PARA O
PLANEJAMENTO AMBIENTAL DO PANTANAL:
SUBSÍDIOS PARA AS ATIVIDADES HUMANAS NO
COMPLEXO**

Dissertação apresentada como exigência
parcial para obtenção do Título de Mestre em
Desenvolvimento Local à Banca
Examinadora, sob orientação do Prof. Ph.D.
William Tse Horng Liu

**UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO LOCAL
MESTRADO ACADÊMICO
CAMPO GRANDE - MS
2004**

BANCA EXAMINADORA

Orientador – Prof. William Tse Horng Liu, Ph. D. - UCDB

Prof. Dr. Reginaldo Brito da Costa - UCDB

Prof. Dr. Edson Kassar - UFMS

**“Deste sacrário natural orgulho e privilégio da
Nação ecoa um grito de alerta para que todo
brasileiro conheça, ame e defenda o
fascínio do imenso Pantanal.”**

Luiz Antonio Franco

Dedico:

Aos meus pais, *Rubens e Durcelia*, que sempre me incentivaram em dar continuidade aos estudos.

À minha adorada namorada, *Daniela*, que sempre esteve ao meu lado na difícil empreitada.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador *Prof. Dr. Willian Tse Hornng Liu*, do CPPGE, da Universidade Católica Dom Bosco-UCDB, que oportunizou a elaboração da pesquisa em uma área que era muito distante dos meus conhecimentos.

À minha *família*, que sacrificou diversas horas para que permitisse a conclusão dos trabalhos.

À minha *amiga Sylvia Torrecilha*, que foi uma companheira nesta caminhada e que permitiu a conclusão do trabalho e sempre me ajudou a crescer aproveitando cada situação.

Aos *Professores do Programa de Mestrado em Desenvolvimento Local*, pela transmissão de seus conhecimentos que serviram de base para conclusão do trabalho.

À *Professora Dr^a. Maria Augusta Castilho*, pela dedicação e incentivo em minhas horas de socorro e orientação deste e outros trabalhos.

Ao *Humberto Cardoso*, coordenador técnico do Programa GEF/Alto Paraguai e sua equipe que forneceu preciosos materiais que facilitou o levantamento de dados e informações.

Ao *Prof. Dr. Milton Mariani*, coordenador do curso de Turismo da UCDB que oportunizou minha expansão desde graduação até no mestrado.

Ao meu *irmão Sandro Martins Ayres*, que me acompanhou toda minha escalada sempre me apoiando.

As *todas as pessoas* que direta ou indiretamente sempre me apoiaram de formas carinhosa a superar os obstáculos.

RESUMO

As condições hidrológicas da Bacia do Alto Paraguai foram estudadas através de toda a bacia bem como suas seis sub-bacias de acordo com os dados hidrometeorológicos disponíveis. As sub-bacias foram nomeadas de acordo com a estação hidrometeorológica a qual monitora a área de drenagem da sub-bacia incluindo: Cuiabá, Cáceres, São Francisco, Ladário, Porto Esperança e Porto Murtinho. Dados de Cota mensal, Precipitação e NDVI para o período de 1981 a 1993 foram utilizados para construção do modelo de COTA utilizando a abordagem de regressão linear e o período de 1995 a 2000 foi utilizado para validação do modelo de COTA. As correlações entre COTA e Precipitação (PCP) e entre COTA e NDVI foram feitos com o objetivo de selecionar as variáveis dependentes satisfatórias para a construção do modelo. Os resultados dos modelos revelaram os valores de R 0.757, 0.600, 0.865, 0.747, 0.758, 0.748 e 0.575 obtidos respectivamente nos modelos da BAP, Cuiabá, Cáceres, São Francisco, Ladário, Porto Esperança e Porto Murtinho respectivamente. Através do modelo de validação, os erros absolutos médios de 16.85%, 102.16%, 15.36%, 7.67%, 14.34%, 20.0% e 29.02% foram obtidos pela BAP, Cuiabá, Cáceres, São Francisco, Ladário, Porto Esperança e Porto Murtinho respectivamente. Observa-se que o modelo apresentou uma eficácia com exceção do modelo de Porto Murtinho apresentou erros de previsão causados por uma variabilidade inter anual de COTA mais elevada. Conclui-se que o modelo de previsão de COTA baseado em abordagens estatísticas apresentadas neste estudo podendo oferecer uma ferramenta útil para prever COTA e conseqüentemente para prevenir estragos em períodos de COTA elevada assim como para prever o controle do tráfico fluvial, evitando desta forma erosões da barranca dos rios durante as COTA reduzidas. Para estudos futuros, será necessário um adequado modelo de simulação hidrológica baseado no modelo numérico do terreno de grande acurácia e um sistema de previsão de chuvas como os sistemas de radar para atender uma previsão avançada de inundação em tempo real e definição de medidas de mitigação.

Palavras chaves: Sensoriamento Remoto, Pantanal, Cheias, NDVI, Bacia do Alto Paraguai, COTA.

ABSTRACT

Upper Paraguay River Basin (UPRB) hydrological conditions were studied by the whole basin and its 6 sub basins according to the available hydrometeorological data. The sub basins were named according to the hydrological station which monitors the sub basin drainage water, including: Cuiabá, Cáceres, São Francisco, Ladário, Porto Esperança and Porto Murtinho. Monthly River Water Level (RWL), Precipitation (PCP) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data for the period of 1981 to 1993 were used for RWL model construction using linear regression approach and the period of 1995 to 2000 were used for RWL model validation. Correlations between RWL and PCP and between RWL and NDVI were done in order to select suitable dependent variables for model construction. The results showed that R^2 values of 0.757, 0.600, 0.865, 0.747, 0.758, 0.748 and 0.575 were obtained for BAP, Cuiabá, Cáceres, São Francisco, Ladário, Porto Esperança and Porto Murtinho respectively. From model validation, averaged absolute errors of 16.85%, 102.16%, 15.36%, 7.67%, 14.34%, 20.0% and 29.02% were obtained for BAP, Cuiabá, Cáceres, São Francisco, Ladário, Porto Esperança and Porto Murtinho respectively. It is observed that models worked quite well except the Cuiabá and Porto Murtinho models had rather high prediction errors caused by higher inter annual RWL variability. It is concluded that the RWL prediction models based on statistical approach presented in this study may provide us a useful tool to predict RWL and hence to prevent flood damage in high RWL periods as well as to control river transportation traffic in order to prevent riverbank erosion during low RWL periods. For future studies, an adequate hydrological simulation model based on a high accuracy digital elevation model and a rainfall forecasting system such as a radar system are needed to fulfill a real time flood advancing prediction and mitigation tasks.

Keywords: remote sensing, Pantanal, Inundation, NDVI, river water level, Upper Paraguay River Basin.

LISTA DE MAPAS

Mapa 01– Tema de GEOMORFOLOGIA do PCBAP.....	27
Mapa 02– Tema de VEGETAÇÃO do PCBAP	28
Mapa 03– Localização dos Projetos executados na BAP pelo GEF Pantanal Alto Paraguai	31
Mapa 04 – Localização da Bacia do Alto Paraguai – BAP.	36
Mapa 05– Principais Sub-Bacias da BAP.....	38
Mapa 06– Localização da Estação Fluviométrica e das seis estações Pluviométricas utilizadas na construção do modelo.	42
Mapa 07 – Sub-bacias de acordo com as estações hidrometeorológicas.....	44
Mapa 08 – Localização da Sub-Bacia do Rio Taquari	45

LISTA DE SIGLAS

AGNPS	–	Agricultural Non-Point Source Pollution Model
ANA	–	Agência Nacional de Águas
ANEEL	–	Agência Nacional de Energia Elétrica
AVHRR	–	Advanced Very High Resolution Radiômetro
BAP	–	Bacia do Alto Paraguai
CIEG	–	Centro Integrado de Estudos em Geoprocessamento
CNPS/EMBRAPA	–	Centro Nacional de Pesquisas de Solos
COTA	–	Volume de água escoada na superfície
CPAC/EMBRAPA	–	Centro de Pesquisas do Agropecuárias do Cerrado
CPAP/EMBRAPA	–	Centro de Pesquisas Agropecuária do Pantanal
CREAMS	–	Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems
DAAC	–	Distributed Active Archive Center
EMBRAPA	–	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GAC	–	Global Area Coverage
GSFC	–	Goddard Space Flight Center
HRPT	–	High Resolution Picture Transmission
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
INPE	–	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPH	–	Instituto de Pesquisas Hidráulicas

MBM	–	Museu Botânico de Curitiba
MMA	–	Ministério do Meio Ambiente
MSE	–	Média de Erro Quadrado
MZUSP/USP	–	Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo
NDVI	–	Normalized Vegetation Condition Index
NOAA	–	National Oceanic Atmospheric Administration
PCBAP	–	Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai
PCP	–	Precipitação
PNUD	–	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNUMA	–	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
SD	–	Desvio Padrão
SIG	–	Sistema de Informações Geográficas
SRH/MMA	–	Secretaria de Recursos Hídricos, do Ministério do Meio Ambiente
UCDB	–	Universidade Católica Dom Bosco
UFMS	–	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UFMT	–	Universidade Federal de Mato Grosso
UFPR	–	Universidade Federal do Paraná
UFRGS	–	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Serie mensal de COTA da estação de Ladário, a média de NDVI da BAP e a média de PCP da parte alta da BAP no período de 01/1988 a 02/1989.....	49
Figura 02 – Serie mensal de COTA da estação de Ladário, a média de NDVI da BAP e a média de PCP da parte alta da BAP no período de 01/1999 a 02/2000.....	50
Figura 03 – Serie mensal de COTA da estação de Ladário, a média de NDVI da BAP e a média de PCP da parte alta da BAP no período de 01/1992 a 02/1993.....	50
Figura 04 – Serie mesnal de COTA da estação de Ladário, a média de NDVI da BAP e a média de PCP da parte alta da BAP no período de 01/1986 a 02/1987.....	51
Figura 05 – Comparação da COTA observada com COTA simulada no período de Novembro de 1981 a Fevereiro de 1994 da estação de Ladário.	54
Figura 06 – Comparação da COTA observada com COTA prevista no período de Abril de 1995 a Setembro de 2000 da estação de Ladário.	56
Figura 07 – Comparação da COTA observada e simulada no período de julho de 1981 a Dezembro de 1993 da sub-bacia de Cuiabá.	65
Figura 08 – Comparação de COTA observada e prevista no período de janeiro de 1995 a Dezembro de 1995 da sub-bacia de Cuiabá.	66
Figura – 09 Comparação de COTA observada e simulada no período de julho de 1981 a Dezembro de 1993 da sub-bacia de Cáceres.....	68
Figura 10 – Comparação de COTA observada e prevista no período de janeiro de 1995 a Dezembro de 2000 da sub-bacia de Cáceres.....	69
Figura 11 – Comparação de COTA observada e simulada no período de julho de 1981 a Dezembro de 1993 da sub-bacia de São Francisco.....	71
Figura 12 Comparação de COTA observada e prevista no período de janeiro de 1995 a Dezembro de 2000 da sub-bacia de São Francisco.....	72
Figura 13 - Comparação de COTA observada e simulada no período de julho de 1981 a Dezembro de 1993 da sub-bacia de Ladário.....	74
Figura 14 - Comparação de COTA observada e prevista no período de janeiro de 1995 a Dezembro de 2000 da sub-bacia de Ladário.....	75

Figura 15 - Comparação de Cota Observada e Cota Simulada pelo Modelo no período de novembro/81 a maio/94 (estação fluviométrica de Forte Coimbra)	79
Figura 16 – Comparação de Cota Observada e Cota Prevista pelo Modelo no período de jan/95 a mar/98 (estação fluviométrica de Forte Coimbra)	80
Figura 17 - Comparação de COTA observada e simulada no período de julho de 1981 a Dezembro de 1993 da sub-bacia de Porto Esperança.	82
Figura 18 - Comparação de COTA observada e prevista no período de janeiro de 1995 a Dezembro de 2000 da sub-bacia de Porto Esperança.	83
Figura 19 - Comparação de COTA observada e simulada no período de julho de 1981 a Dezembro de 1993 da sub-bacia de Porto Murtinho.	85
Figura 20 - Comparação de COTA observada e prevista no período de janeiro de 1995 a Dezembro de 2000 da sub-bacia de Porto Murtinho.	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Coeficiente de correlação de PCP x COTA, NDVI x COTA e PCP x NDVI .50	50
Tabela 02 – Comparação da média anual de COTA (m), PCP (mm) e NDVI (%) das seis sub bacias da BAP.56	56
Tabela 03 – Correlação de COTA mensal das seis sub-bacias da BAP57	57
Tabela 04 – Correlação de PCP mensal das seis sub-bacias da BAP.56	56
Tabela 05 – Correlação de NDVI mensal das seis sub-bacias da BAP.58	58
Tabela 06 – Correlação de coeficiente (r) para PCP x COTA e NDVI x COTA e tempo de atraso das COTAS na correlação da sub-bacia de Cuiabá.....59	59
Tabela 07 – Correlação de coeficiente (r) para PCP x COTA e NDVI x COTA e tempo de atraso das COTAS na correlação da sub-bacia de Cáceres.....59	59
Tabela 08 – Correlação de coeficiente (r) para PCP x COTA e NDVI x COTA e tempo de atraso das COTAS na correlação da sub-bacia de São Francisco.....60	60
Tabela 09 – Correlação de coeficiente (r) para PCP x COTA e NDVI x COTA e tempo de atraso das COTAS na correlação da sub-bacia de Ladário.60	60
Tabela 10 – Correlação de coeficiente (r) para PCP x COTA e NDVI x COTA e tempo de atraso das COTAS na correlação da sub-bacia de Porto Esperança.61	61
Tabela 11 – Correlação de coeficiente (r) para PCP x COTA e NDVI x COTA e tempo de atraso das COTAS na correlação da sub-bacia de Porto Murtinho.....61	61
Tabela 12 - Correlações entre COTA x PCP e COTA x NDVI da sub-bacia do Taquari ...76	76
Tabela 13 – Equações, R ² , SD e erros absolutos de simulados e previsto dos oito modelos construídos.88	88

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	20
3 REFERENCIAL TEÓRICO	21
3.1 ANÁLISE PARA PLANEJAMENTO DO MANEJO NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS	21
3.2 ESTUDOS INTEGRADOS NA BAP.	23
3.2.1 Diagnósticos dos Estudos	23
3.2.1.1 Análise da Bacia	23
3.2.1.2 Plano de Gestão Integrada	29
4 METODOLOGIA	32
4.1 PREVISÃO DE COTA NA BACIA DO ALTO PARAGUAI UTILIZANDO OS DADOS DE PRECIPITAÇÃO E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO.....	35
4.1.1 Caracterização da Área de Estudo	35
4.1.2 Dados Utilizados para a construção do modelo de toda a BAP	40
4.1.3 Construção do Modelo para a construção do modelo de toda a BAP	43
4.2 PREVISÃO DE COTA DAS SEIS SUB-BACIAS UTILIZANDO OS DADOS DE PRECIPITAÇÃO E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO.....	43
4.2.1 Caracterização da Área de Estudo	43
4.2.2 Dados Utilizados na construção do modelo da sub-bacia do Rio Taquari	46
4.2.3 Construção dos Modelos de previsão de COTA para as seis sub-bacias	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	48

5.1 PREVISÃO DE COTA NA BACIA DO ALTO PARAGUAI UTILIZANDO OS DADOS DE PRECIPITAÇÃO E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO.....	48
5.1.1 Análises hidrometeorológicas.	48
5.1.2 Modelo da BAP	52
5.1.3 Validação do Modelo da BAP.	54
5.2 PREVISÃO DE COTA DAS SEIS SUB-BACIAS UTILIZANDO OS DADOS DE PRECIPITAÇÃO E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO.....	56
5.2.1 Modelo de Cuiabá	62
5.2.2 Modelo de Cáceres	66
5.2.3 Modelo de São Francisco	69
5.2.4 Modelo de Ladário	72
5.2.5 Modelo de Porto Esperança	79
5.2.6 Modelo de Porto Murtinho	82
5.2.7 Comparação dos resultados dos modelos desenvolvidos.	85
CONCLUSÕES	88
REFERÊNCIAS.....	90

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento e a interpretação de dados a respeito da disponibilidade de alimentos, água e condições ambientais são muito importantes no mundo atual. Sendo assim, as ciências ligadas ao setor ambiental e agrícola têm buscado aproveitar-se de novas tecnologias, tal como Sensoriamento Remoto que fornecem dados espaciais para estudos como: zoneamentos ecológicos econômicos, suporte nos monitoramentos dos desastres climáticos e ambientais (seca, inundações, geadas, queimadas, furacões, tempestades, degradação do solo, terremotos, erosões, etc.). As condições do crescimento, produção agrícola e expansão das fronteiras ocasionam diversos impactos climáticos e ambientais, muitas vezes pela forma desordenada no manejo das áreas.

Uma bacia hidrográfica pode ser estudada analisando a composição espacial de numerosos pontos, onde processos como: precipitação, infiltração, evapotranspiração, escoamento e produção de sedimentos são registrados nas séries temporais. Neste contexto o ciclo hidrológico deve ser analisado segundo seus componentes, de acordo com a evolução dinâmica de sua ocorrência e as características do sistema envolvido. A dinâmica do ciclo hidrológico envolve mudanças no tempo e no espaço. O espaço incorpora as características do sistema (tipos de solo, uso e cobertura, geologia, etc.), enquanto que o tempo é representado pelas séries temporais do comportamento hidrológico. Esses processos não lineares agem diretamente sobre a bacia.

Os rios têm importância, chave na sustentação e desenvolvimento das civilizações e estabilidade sócio econômica em vários aspectos tanto na produção rural quanto nos núcleos urbanos. Seus usos desordenados vêm causando diversos impactos climáticos e ambientais.

A larga faixa de escalas sobre as quais os fluxos canalizados ocorrem desde os pequenos rios nas cabeceiras de drenagem até grandes rios, criam problemas de amostragem e complicam a modelagem dos processos físicos que ocorrem nos rios e em toda bacia hidrológica.

A proposição de solução para diminuir o impasse entre equilíbrio em curto prazo e a evolução do sistema fluvial em longo prazo surgiu em consideração da forma no equilíbrio dos processos fluviais em tempos variados tais como nos ciclos dinâmicos. Essas considerações tornam-se de grande importância para estudos de ambientes fluviais complexos como sistema de drenagem dos rios da Bacia do Alto Paraguai - BAP.

Na BAP a precipitação anual varia de 1100 mm a 1900 mm com estações seca e úmida bem distinta. A parte elevada desta bacia possui altitudes entre 200 e 700 metros e na planície (Pantanal) altitudes que variam de 80 a 150 metros. O Pantanal apresenta uma declividade entre 0,7 a 5 cm/km no sentido norte-sul e entre 7 a 50 cm/km no sentido leste-oeste, sendo praticamente plano, constituindo a maior planície alagada do mundo. O volume d'água proveniente do planalto da bacia adentra o Pantanal e, acrescido do volume de chuvas locais e a influência das águas subterrâneas que ocasionam às enchentes anuais periódicas.

A alternância dos ciclos nos anos consecutivos de cheia e seca no Pantanal, constitui um dos mais importantes fatores intervenientes da sócio-economia e na biodiversidade da região. Através do hidrograma do rio Paraguai em Ladário pode-se evidenciar a alternância nos ciclos de cheia e seca desde 1900, ressaltando um aumento na duração destes ciclos a partir da década de 60 (GALDINO e RESENDE, 2001).

Alguns trabalhos já foram realizados para prognosticar ocorrência de inundações usando análise de probabilidade e tempo de realidade dos dados de COTA (GALDINO e CLARKE, 1997). Porém estes modelos apresentaram com os dados insuficientes para prognosticar COTA somente usando dados de Precipitação - PCP desde que a COTA reflita no resultado de água da superfície rápida e na substituição da superfície lenta em áreas que inundem com o fluxo de uma bacia inteira.

O Pantanal é área declarada de patrimônio nacional pela constituição brasileira em virtude da sua grande biodiversidade e importância na manutenção dos processos ecológicos e a inclusão da área na Conservação RAMSAR de Áreas Úmidas de Importância Internacional.

Na Bacia do Alto Paraguai, a planície (Pantanal) está inserida em um ciclo hidrológico de secas e cheia que a vida da ictiofauna nas estações da cheia: período de chuva contínua no Planalto com inundação da planície, geralmente de outubro a abril, inicia-se a reprodução dos peixes ocorre no início dessa estação, com o deslocamento de peixes do leito dos rios para as áreas inundadas. Em suas vazante o período coincidindo com o fim da estação cheia, geralmente de abril a maio. Os peixes dispersam-se das áreas

alagadas e voltam aos leitos dos rios por meio de canais de drenagens, isto é, através das vazantes e corixos. Na estação de seca, que ocorre geralmente de junho a outubro, as espécies de peixes sedentárias, isto é, aquelas que não migram, enfrentam baixos níveis de oxigênio nas águas rasas e mornas, e algumas espécies permanecem dormentes na lama durante toda a estação seca. A produtividade ecológica é determinada pela dinâmica ou pulso hidrológico dos rios e pelas propriedades físicas, químicas, microbiológicas do substrato e pelas comunidades de plantas e animais especializados a condições de solos saturados ou inundados.

Podem ser diagnosticadas grandes alterações nos ciclos de vida incluindo os rendimentos dos peixes causados pela variação sazonal e anual nos padrões de inundações. Os animais podem ter dificuldade para encontrar refúgios em locais secos no ambientes alagados durante os anos elevados da inundação (MITTERMEIER et al. 1997).

As ameaças à BAP estão multifacetadas, o planalto vem enfrentando pressões causadas pelo desenvolvimento agrícola a partir da década de 70. Existe uma preocupação crescente de que a produção de monoculturas esteja associada com a perda de habitat, erosão e assoreamento, já que essas áreas predominam solos arenosos que são facilmente erodidos. A ocorrência das extremas cheias dificulta o transporte fluvial e terrestre e aumentam o volume de sedimentos na planície, já os eventos de extremas secas afetam no transporte fluvial aumento nos processos de solapamento nas margens dos rios e interrompem o ciclo de vidas de fauna e flora.

A combinação da má administração do solo com manejos inadequados em solos arenosos na área de planalto da BAP acarretam sérias erosões e aceleram a carga de sedimento para o Pantanal durante os últimos trinta anos. Além da perda gradual de áreas cultivadas e de pastagens formadas, esta aceleração no processo natural ocasiona as inundações não previstas que resultam freqüentemente na perda de gado, culturas e danificam também as vias de transportes terrestres e fluviais.

A solução para os problemas da comunidade envolvida seria minimizada a partir do entendimento e a importância das relações construídas entre o meio ambiente e as situações sócias econômicas do lugar, portanto, como desenvolvimento de caráter endógeno, nascendo do meio local com preocupações na educação ambiental e aplicação adequada dos recursos investidos no uso da dinâmica da bacia.

Nesse contexto a questão norteadora foi a necessidade da realização de estudos para a construção de modelos para previsão de cheias e secas com a intenção de servir de

instrumento importante para as tomadas de decisões, planejamento das ações sócio-econômicas e para o controle e auxílio para os transportes fluviais e terrestres.

2 OBJETIVOS

Construir os modelos de previsão de COTA via satélite será utilizada para prever de maneira inédita as ocorrências de cheias e secas do Pantanal observando os processos hidrológicos na BAP e suas sub-bacias. Desenvolver um modelo de previsão de cheia via satélite para toda bacia do Alto Paraguai BAP utilizando PCP e NDVI para prever COTA que servirão para dar suporte nas tomadas de decisões, na compreensão dos ciclos de cheias, bem como controlar as erosões causadas pelas atividades humanas.

Construir seis modelos referentes a cada sub-bacias da BAP estabelecidas a partir das estações hidrometeorológicas, para melhor entendimento da dinâmica fluvial, como também melhorar sua estimativa das condições de água coletada para a estimativa de COTA em cada sub-bacia.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ANÁLISE PARA PLANEJAMENTO DO MANEJO NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

A freqüente alteração do sistema ambiental é ocasionada, pelas variabilidades climáticas, hidrológicas e atividades antropogênicas. É de extrema importância procurar um método adequado de previsão de cheias para auxiliar no planejamento para um sistema de manejo socioeconômico adequado para o desenvolvimento sustentável (HAMILTON et al, 1996).

Galdino e Clarke (1997) apresentaram um modelo probabilístico de ocorrência de chuva correlacionada com a COTA. Devido a complexibilidade do comportamento hidrológico da BAP, o modelo baseado somente nos dados de chuva de uma estação e COTA não alcança a precisão satisfatória na previsão das cheias (LIU et al, 2002). Recentes avanços em aplicações de dados de satélite demonstraram que os dados de NDVI gerados pelos satélites NOAA podem ser aplicados para monitoramento das variabilidades climáticas e das ocorrências de seca (LIU et al. 1994; LIU e JUAREZ, 2001).

Recentes avanços nas aplicações de dados de satélite mostraram que o NDVI indica amplos estados de umidade do solo nas respostas espectrais altas com um certo atraso de tempo depois de um certo período de chuva. O NDVI pode ser aplicado para monitorar os parâmetros tais como: precipitação, umidade do solo, evapotranspiração, condições de crescimento da vegetação e estimativas de área plantada, produção primária, biomassa e produtividade das culturas (LIU et al. 1994; LIU e KOGAN, 1996, LIU e JUAREZ, 2001).

A relação entre índices climáticos de graus-dia, precipitação anual total e umidade anual foram avaliados por Potter e Brooks (1998), em escala global, onde mostraram que, em conjunto, esses indicadores podem quantificar entre 70 a 80% a variação geográfica entre os valores máximos e mínimos de NDVI, em determinados anos. Estas variabilidades relacionam-se com os indicadores de graus-dia de crescimento das

plantas e precipitação total anual, mostrando que a disponibilidade de calor e da água influem acentuadamente sazonal da variabilidade bioclimática.

A utilização dos conceitos de Sistema de Informações Geográficas - SIG em conjunção com modelos hidrológicos não é muito recente. Gupta e Solomon (1977) usaram uma grade regular para armazenar informações do terreno e do canal a fim de modelar o escoamento superficial e o transporte de sedimentos. Os modelos CREAMS (“Chemicals, Runoff, and Environment Response Simulation”, Beasley et al. 1982) e AGNPS (“Agricultural NonPoint Source”, Young et al. 1989) são exemplos de modelos distribuídos, capazes de simular a distribuição de sedimentos e a concentração de poluentes agrícolas em diferentes pontos da bacia, utilizando estrutura em grade a fim de armazenar os dados que representa a variabilidade espacial das variáveis e vem sendo largamente utilizados por várias entidades públicas e organizações privadas em diversas partes do mundo.

Quando os modelos anteriores foram criados, apenas alguns conceitos de SIG foram utilizados. No final da década de 80, muitos modelos começaram a utilizar toda a funcionalidade do SIG, com armazenamento, apresentação e modelagem dos dados distribuídos. O SIG foi utilizado para armazenar, modelar e apresentar os dados necessários ao sistema e para análise e comparação de vários resultados do modelo. Panuska et al. (1991) apresentaram procedimentos idênticos integrando o modelo AGNPS com SIG. Drayton et al. (1992) desenvolveram um modelo chuva-vazão utilizando uma grade retangular e baseando-se em imagens de satélite, mapas de solos e modelos numéricos do terreno.

Segundo Mendes (1996), os resultados dos modelos anteriores demonstram que conceitualmente a integração entre o SIG e os modelos hidrológicos é possível, sendo realizada através das seguintes fases:

- 1 – Obtenção dos dados (dados de campo, analógicos e digitais);
- 2 – Processamento e análise dos dados de entrada;
- 3 – Operações em SIG;
- 4 – Simulação hidrológica;
- 5 – Simulação visual dos resultados.

Nas etapas anteriores, apenas a fase 4 representa o modelo hidrológico. Todas as demais podem ser realizadas pelos SIG. Na prática, a integração utilizada pode ser executada de duas maneiras: (1) Modelagem interna no SIG e (2) Formatos idênticos no modelo e SIG.

Algumas tentativas já foram realizadas no sentido de construir funções internas no SIG que consigam representar as transformações chuva-vazão (BERRY E SAILOR, 1987). A limitação atual desta forma de integração é o uso de modelos baseados em funções empíricas e demasiadamente simplificados. A maioria dos modelos distribuída atualmente utiliza a segunda opção de integração, e estruturam os respectivos bancos de dados de forma que possam ser lidos pelos SIG. Com base em todos os conceitos explicitados o sistema é composto por:

1 – um sub-modelo de balanço hídrico local, onde as propriedades envolvidas (tais como geologia, topografia, chuvas, etc.) interagem no sentido do desdobramento dos diversos elementos do ciclo hidrológico (infiltração, evaporação, escoamento superficial, etc.);

2 – um sub-modelo de transferência onde os elementos do ciclo hidrológico se movimentam ao longo da bacia. Este sub-modelo está fundamentalmente baseado na utilização do Modelo Numérico do Terreno.

3.2 ESTUDOS INTEGRADOS NA BAP.

3.2.1 Diagnósticos dos Estudos

3.2.1.1 Análise da Bacia

A Bacia do Alto Paraguai abrange uma diversidade ambiental muito grande e seu relacionamento com as ações demandariam a realização de estudos para ordenamentos e ações estratégicos, que tem por objetivo o melhor desenvolvimento local da bacia em geral.

Foram realizados três importantes Levantamentos dos Recursos Naturais no Estado, notadamente:

- ✓ Projeto RADAMBRASIL – Programa de Integração Nacional – Levantamento dos Recursos Naturais, Realizado pelo Ministério das Minas e Energia, publicado em 1993;
- ✓ Macrozoneamento Geoambiental do Estado de Mato Grosso do Sul, - realizado em parceria entre o Governo do Estado através da Secretaria de Planejamento e o IBGE, publicado no ano de 1989;

- ✓ Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai, realizado pelo MMA (Ministério do Meio Ambiente) em parceria com os estados de MS e MT, viabilizado pelo PNMA (Programa Nacional do Meio Ambiente), publicado em 1997.

Dentre estes estudos integrados, somente o PCBAP¹ se caracteriza por uma abordagem mais conservacionista. O restante, pela própria característica das instituições executoras, foi realizado para fins de planejamento da utilização dos recursos naturais do Estado, e região Centro-Oeste.

Dada a preocupação geral do PCBAP em orientar o desenvolvimento com a conservação e a proteção do Pantanal, os estudos de diagnóstico permitiram apontar os problemas sócio-ambientais e sócio-econômicos principais, na elaboração de diversos temas que possibilitaram dinamizar e compreender melhor as condições naturais da BAP. Alguns temas serviram de base para muitas ações nas tomadas de decisões da BAP devido sua abrangência contemplando as análises temáticas do ambiente natural sócio-econômico e aqueles de natureza na região. Foram identificadas as grandes potencialidades, as fragilidades e os principais problemas definindo programas para a melhoria ambiental e sócio-econômica da região. A partir da caracterização geral da região foi efetuada uma proposta de zoneamento ambiental da bacia, com a definição de diretrizes para uso adequado da região.

Sua arquitetura tinha uma visão no conhecimento e a orientação do desenvolvimento local existente e potencial da BAP, com a intenção da conservação dos recursos naturais e do incentivo a atividades produtivas, garantindo padrões culturais e tecnológicos adequados à capacidade de suporte dos ecossistemas da planície pantaneira (Pantanal) e da região de planalto na BAP.

Os estudos se concentraram nos problemas ambientais da BAP, com o objetivo de definir as estratégias de ação para criar as condições necessárias à existência de um processo de ordenamento territorial de caráter permanente.

¹ O PCBAP foi um estudo realizado com fundos do Banco Mundial e do Governo brasileiro, com apoio operacional do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, sob coordenação do Ministério do Meio Ambiente – MMA e dos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, através de seus órgãos de meio ambiente. Foi realizado no período de 1991 a 1996, tendo seus resultados publicados pelos MMA em 1997 em 3 volumes e 7 tomos ilustrados com figuras e mapas.

O Plano contou com a participação de várias entidades que atuaram no seu desenvolvimento e execução, a saber: Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS, Centro de Pesquisas Agropecuárias do Pantanal – CPAP/EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisas de Solos – CNPS/EMBRAPA, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS e Centro Integrado de Estudos em Geoprocessamento – CIEG/UFPR; tendo como instituições colaboradoras: Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo – MZUSP/USP, Centro de Pesquisas Agropecuárias do Cerrado – CPAC/EMBRAPA, Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE e Museu Botânico de Curitiba – MBM.

A realização do diagnóstico integrado dos ambientes naturais, socioeconômico, de estruturação e operacionalização de um sistema de informações geográfica para monitoramento constante das condições ambientais prevendo estudos hidrossedimentológicos para a geração de conhecimento sobre o regime hídrico e seu monitoramento, visando criar as condições para previsão das ocorrências de cheias e inundações. A estruturação do PCBAP baseou-se em uma abordagem de zoneamento ambiental para a formulação de diretrizes gerais e específicas destacando os sub-temas:

- ✓ Conservação do solo – mapa base de geomorfologia (ver mapa 01);

Apresentam um relevo expresso na área do planalto com terras acima de 200m de altitude, compreendendo depressões e na planície pantaneira ou Pantanal com altitudes que variam de 80 a 150 m de acordo com o PCBAP.

As grandes unidades de relevo estão expressas:

Terras altas na região Norte, direção de oeste para leste:

- ✓ Chapada dos Parecis (700 m);
- ✓ Planalto do Jauru (700 m);
- ✓ Serra de Santa Bárbara (500-900 m);
- ✓ Depressão do Jauru (200 m);
- ✓ Planalto do Rio Branco (300-500 m);
- ✓ Província Serrana (400 m);
- ✓ Planalto do Tapirapuã-Tangará (400-500 m);
- ✓ Depressão do Alto Paraguai (250-300 m);
- ✓ Depressão Cuiabana (150-450 m);
- ✓ Chapada dos Guimarães (850 m);
- ✓ Elevação Arruda-Mutum (400-500 m).

Terras altas na região Leste, direção do norte para o sul:

- ✓ Planalto dos Alcantilados (400-500 m);
- ✓ Depressão de Rondonópolis (300-500 m);
- ✓ Chapada do Rio Correntes (800 m);
- ✓ Depressão do São Jerônimo-Aquidauana (250 m);
- ✓ Planalto do Taquari (500-700 m);
- ✓ Chapada das Emas (500-700 m);
- ✓ Chapada de São Gabriel-Coxim/Campo Grande (500-700 m).

Terras altas na região Sul, direção de leste para oeste:

- ✓ Planalto de Maracajú - Campo Grande (300-600 m);

- ✓ Depressão do Miranda (200-300 m);
- ✓ Planalto da Bodoquena - Bonito (400-650 m);
- ✓ Planalto do Amonquijá
- ✓ Depressão do Miranda (350 m).

Terras altas na região Oeste, direção do norte para o sul:

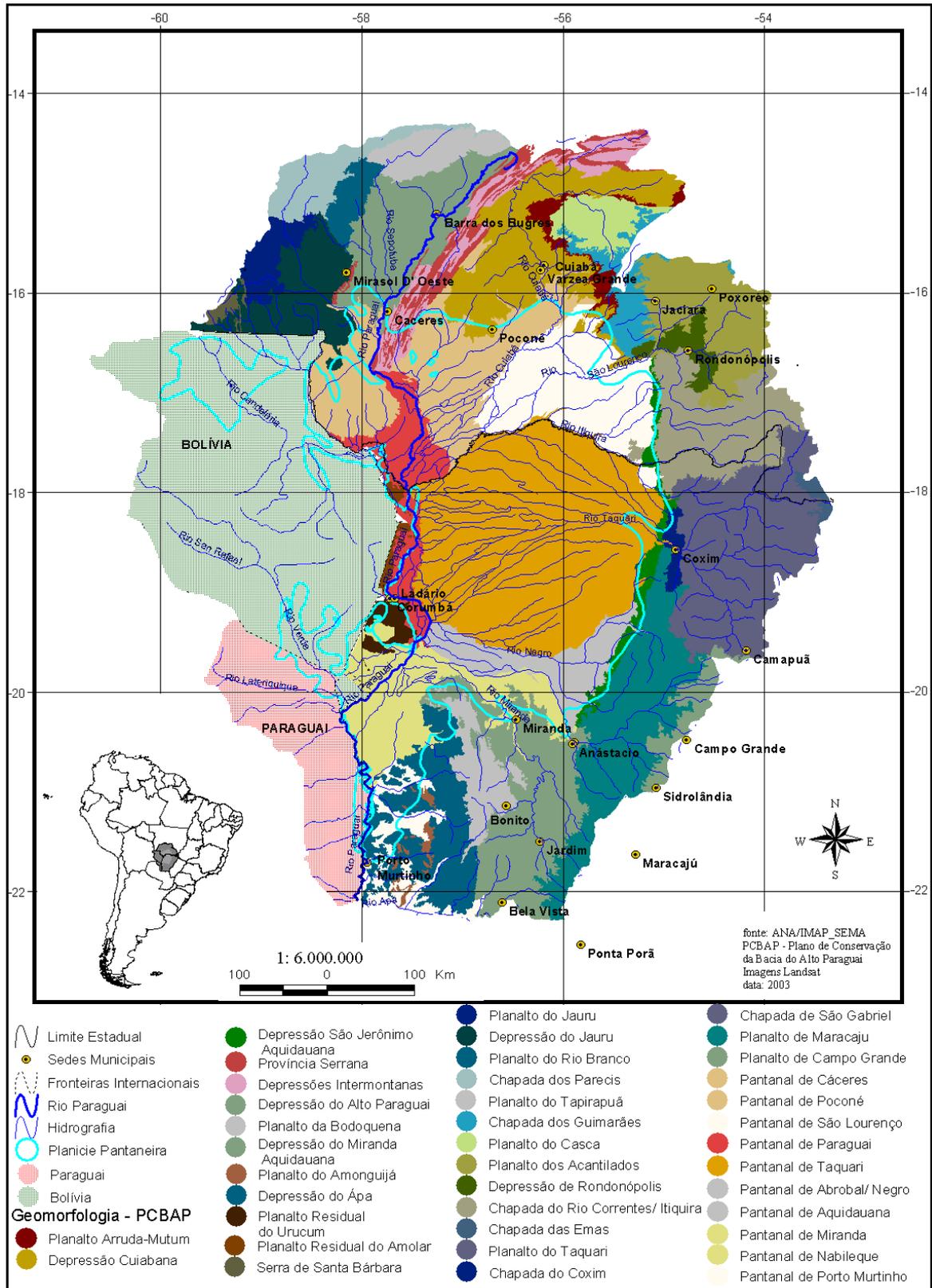
- ✓ Residuais do Amolar (300-400 m);
- ✓ Residuais do Urucum (300-1.000 m).

Planície pantaneira ou Pantanal:

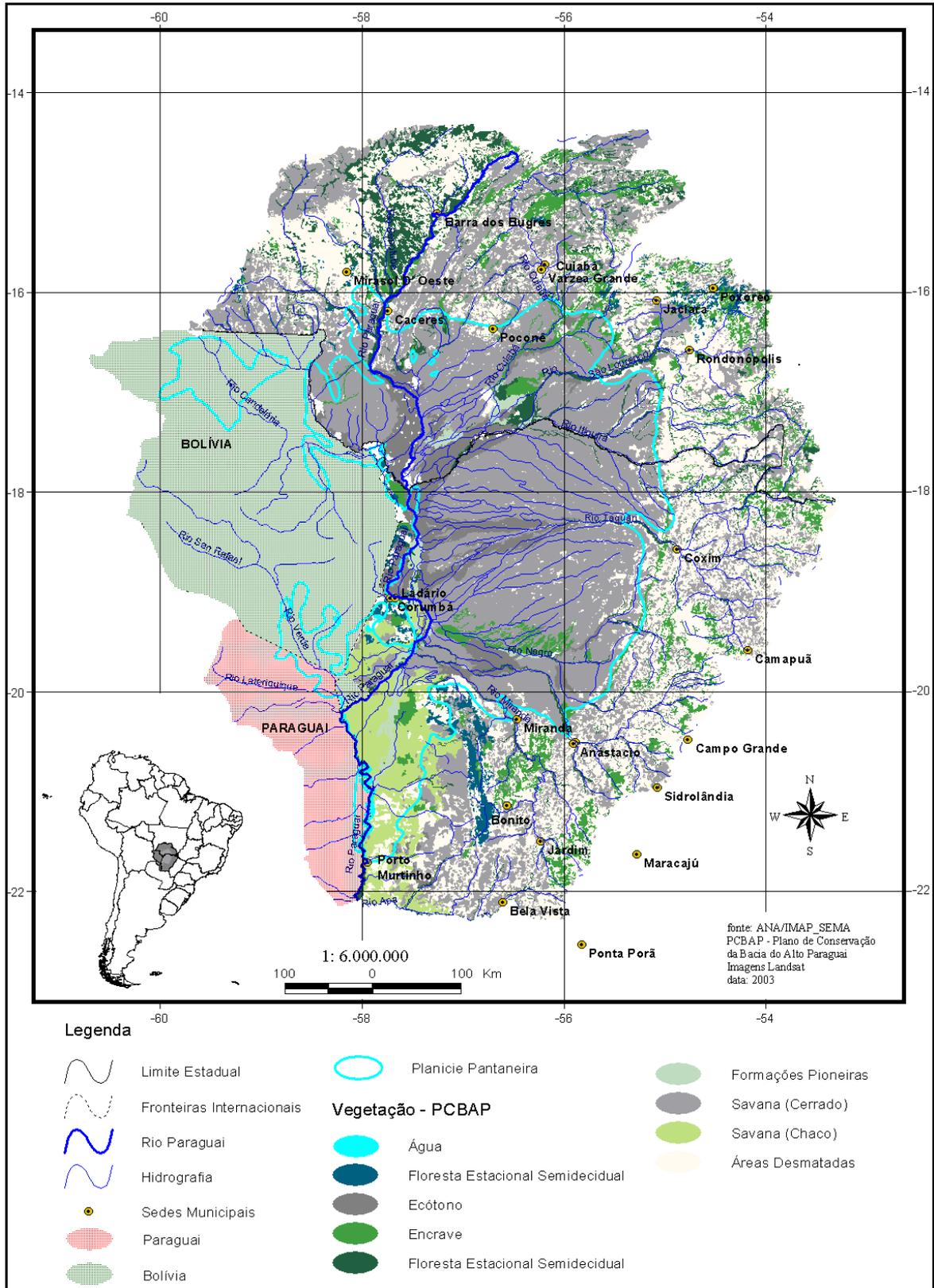
Terras de pequena declividade e baixa capacidade de drenagem, sujeitas a inundações periódicas.

- ✓ Reabilitação de terras degradadas tendo proposto um sistema de informações geográficas para facilitar a divulgação de informações físicas, biológicas, sociais, legais e econômicas – mapa base de vegetação domínios, classes e sub-classes (ver mapa 02);

- ✓ Sistema de alerta contra inundações, a fim de prevenir impactos negativos nas áreas urbanas e rurais.



Mapa 01– Tema de GEOMORFOLOGIA do PCBAP
Fonte: Laboratório de Geoprocessamento – UCDB, 2003.



Mapa 02– Tema de VEGETAÇÃO do PCBAP
Fonte: Laboratório de Geoprocessamento – UCDB, 2003.

3.2.1.2 Plano de Gestão Integrada

O Plano de Gestão Integrada apresenta o Projeto GEF Pantanal/Alto Paraguai² foi constituído por uma equipe multidisciplinar de consultores que participaram da preparação do Projeto, por meio da coleta e revisão da literatura básica existente a respeito da BAP, realização de entrevistas com pessoas representativas de órgãos governamentais e não-governamentais, análise, avaliação e seleção das propostas apresentadas nos workshops realizados. A proposta do Projeto, avalizada pelo CIBHAP-P, foi aprovada pelo Comitê Diretor do Projeto, em março de 1998.

O Projeto GEF Pantanal/Alto Paraguai, considera grandes problemas heterogêneos e complexos de gerenciamento e conservação da Bacia. Alguns de seus objetivos básicos são:

- ✓ Proteger o hábitat – terras e águas – e sua biodiversidade contra ações atuais de mau gerenciamento;
- ✓ Diagnosticar, recomendar e implementar medidas que realcem a consciência pública da importância dos recursos hídricos e biológicos e da necessidade de protegê-los;
- ✓ Promover atividades econômicas sustentáveis, que devem substituir as atuais práticas não-sustentáveis;
- ✓ Proporcionar instrumentos que fortaleçam e apoiem as instituições, buscando treinar profissionais e conscientizar e preparar a comunidade em geral para a implementação de programas de gerenciamento;
- ✓ Elaborar um PAE para ser implementado pelos governos federal e estaduais com apoio de organismos não governamentais e recursos nacionais e de fontes externas;

² O Projeto GEF Pantanal/Alto Paraguai foi preparado com recursos do Fundo para o Meio Ambiente Mundial (GEF) com base em amplas consultas públicas com os interessados de ambos os Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. A Secretaria de Recursos Hídricos, do Ministério do Meio Ambiente (SRH/MMA) foi inicialmente o órgão executor do projeto, transferido, em janeiro de 2001, para a Agência Nacional de Águas (ANA).

✓ Desenvolver um DAB³ de bacia hidrográfica como uma síntese das principais atividades desenvolvidas durante a execução do projeto.

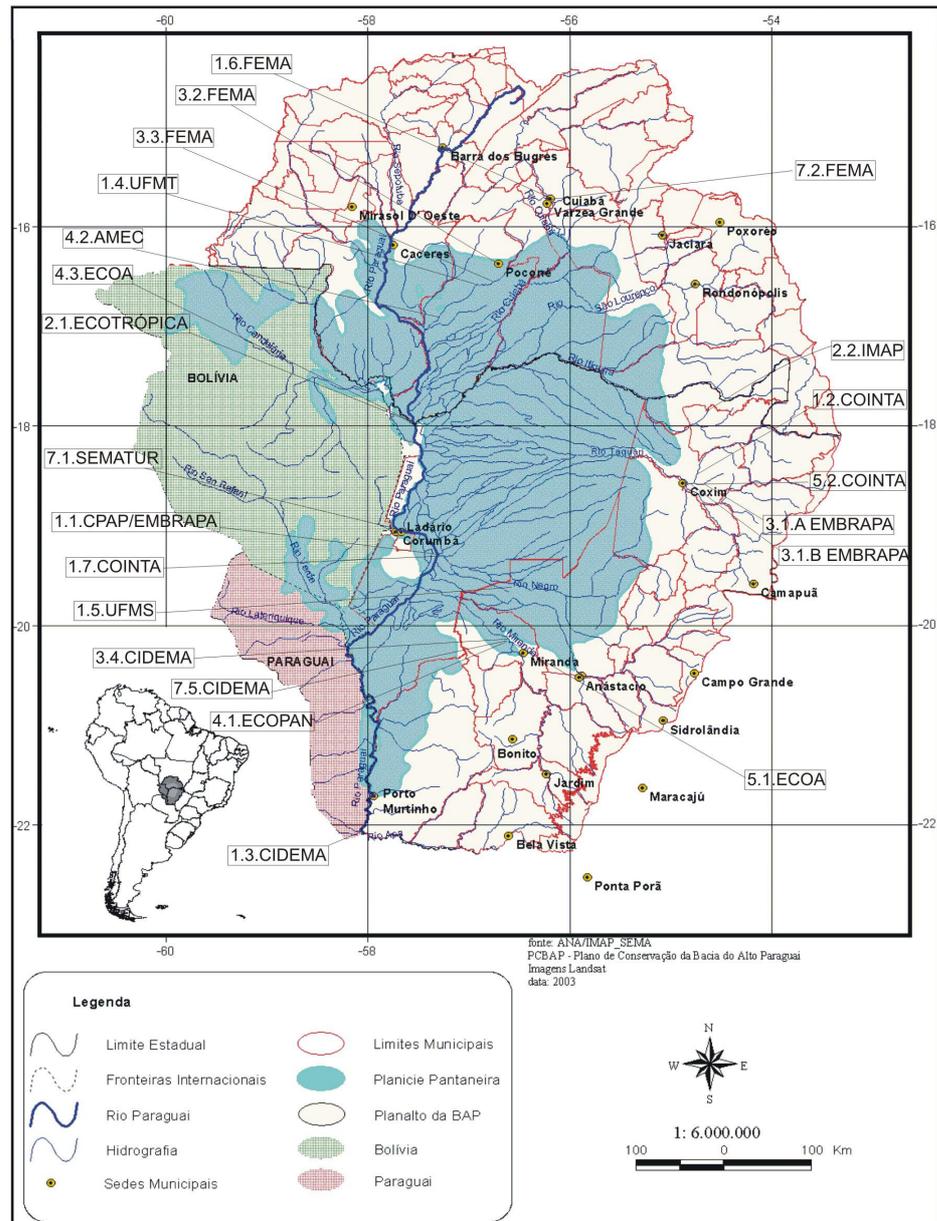
O projeto está dividido em componentes:

- I - Qualidade da Água e Proteção Ambiental;
- II - Conservação do Pantanal;
- III - Degradação da Terra;
- IV - Envolvimento dos Interessados e Desenvolvimento Sustentável;
- V - Desenvolvimento da Estrutura Organizacional; e
- VI - Implementação do Plano de Ações Estratégicas para o Gerenciamento Integrado para a Bacia do Pantanal/Alto Paraguai (PAE).

Apresentados todos em sub-projetos que estão distribuídos por toda BAP de acordo com o mapa 03.

³Considerando a relevância, as potencialidades e as fragilidades da Bacia, o Governo brasileiro solicitou a cooperação do Fundo para o Meio Ambiente Mundial – GEF, do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA e da Organização dos Estados Americanos – OEA para, em conjunto com a Agência Nacional de Águas – ANA e outros organismos nacionais governamentais e não governamentais, realizar ações com vistas a elaborar o Diagnóstico Analítico da Bacia – DAB e o Programa de Ações Estratégicas para o Gerenciamento Integrado do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai – PAE.

O DAB está baseado em uma metodologia utilizada globalmente nas bacias com estudos do GEF, que consiste no desenvolvimento de Cadeia Causal de Temas Críticos, cujo objetivo final é agregar todos os elementos relacionados às ameaças para definir ações capazes de mitigar os efeitos da gestão não integrada da Bacia, que resultam na pressão crescente sobre os recursos biológicos e recursos hídricos do Pantanal e da Bacia do Alto Paraguai.



Subprojetos que tratam de Qualidade de Água e Proteção Ambiental			
1.1. - CPAP/EMBRAPA	1.3. - CIDEMA	1.5. - UFMS	1.6. - FEMA/MT
1.2. - COINTA	1.4. - UFMT	1.6. - IMAP/MS	1.7. - COINTA/CPAP-EMBRAPA
Subprojetos que tratam da Conservação do Pantanal			
2.1. - ECOTRÓPICA	2.2. - IMAP/MS	2.3. - TNC	2.4. - IMAP/MS
Subprojetos que tratam da Degradação do Solo			
3.1. A - CPAP-EMBRAPA	3.2. - FEMA/MT	3.4 - CIDEMA	
3.1. B - CPO-EMBRAPA	3.3. - FEMA/MT		
Subprojetos que tratam de Envolvimento dos Interessados e Desenvolvimento Sustentável			
4.1. - ECOPAN	4.3. - ECOA	5.1.MT - FEMA/MT	6.1. - IMAP/MS
4.2. - AMEC	5.1.MS - ECOA	5.2. - COINTA/CPAP-EMBRAPA	
Subprojetos que tratam de Estrutura Organizacional			
5.3. - ANA	7.3. - ANA	8.1.A - IMAP/MS	8.2.MT - FEMA/MT
5.4. - ANA	7.4.MS - IMAP/MS	8.1.B - UFMT	8.3.MS - IMAP/MS
7.1. - SEMATUR	7.5. - CIDEMA	8.2.MS - IMAP/MS	
7.2. - IMAP/MS			
Subprojetos com atuação no Pantanal e na BAP			
2.3. - TNC	6.1. - IMAP/MS	8.1. A - IMAP/MS	8.3.MS - IMAP/MS
2.4. - IMAP/MS	7.2. - IMAP/MS	8.1. B - UFMT	8.3.MT - FEMA/MT
5.3. - ANA	7.3. - ANA	8.2. MS - IMAP/MS	
5.4. - ANA	7.4. - IMAP/MS	8.2. MT - FEMA/M	

Mapa 03– Localização dos Projetos executados na BAP pelo GEF Pantanal Alto Paraguai
Fonte: Laboratório de Geoprocessamento – UCDB, 2003.

4 METODOLOGIA

O desenvolvimento dos modelos para previsão de cheia via satélite no Pantanal, iniciei com a geração de informações sobre os processos fluviais dos rios da BAP para a compreensão do funcionamento desses rios e de relações que permitam a conjectura de manejo visando à redução das alterações ambientais ao longo do sistema.

Como alternativa ao estudo do sistema hidrológico da BAP considero a obtenção dos dados para compreender os aspectos morfológicos do Pantanal e da BAP, associada aos processos fluviais, de erosão e deposição de sedimentos com a finalidade prognosticar as relações entre as alterações hidrológicas e mudanças geomorfológicas representadas através dos rios que compõem todo sistema hídrico da BAP.

O procedimento para a construção dos modelos para previsão de cheia via satélite na BAP teve início com as investigações de projeto e levantamentos secundários sobre o conhecimento relacionado com o assunto.

Os levantamentos primários e tratamento dos dados foi realizado no laboratório de Geoprocessamento da UCDB com a seguinte cronologia:

1. Coleta e tabulação dos dados foram realizadas utilizando informações sobre COTA, precipitação (PCP) e dados de NDVI, respectivamente adquiridos da ANA – Agência Nacional de Águas, 6º Distrito Naval da Marinha Brasileira em Ladário, Embrapa e DAAC da NASA;
2. Desenvolver de modelos alternativos de previsão de COTA para a BAP e cada sub-bacia;
3. Validar os modelos alternativos para a previsão do avanço das cheias no Pantanal utilizando os parâmetros bioclimáticos gerados com os dados de NOAA AVHRR;
4. Fornecer informações necessárias para gerar o alerta da ocorrência das cheias para tomada de decisões adequadas, minimizando ou evitando os danos graves causados pelas cheias.

Para a construção do modelo de previsão de cheia, além das informações de NDVI obtidas pelo sensor orbital, foram utilizados os parâmetros de Precipitação – PCP, coletados pelas estações hidrometeorológicas pontuais distribuídas na superfície terrestre e informações do nível de água mensal – COTA, todas as informações foram separadas e analisadas.

A partir do ano de 1981 os dados do Advanced Very High Resolution Radiômetro (AVHRR) têm sido usado para gerar o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). O AVHRR⁴ é um scanner óptico multiespectral e em sua versão mais recente, apresenta um radiômetro com cinco canais de varredura, sendo um na região do visível, um no infravermelho próximo, um médio e dois canais na região do infravermelho termal com resolução de 1,1 Km no nadir em cada canal. Seus dados são transmitidos em tempo real, ao mesmo tempo em que armazenados a bordo da espaçonave para retransmissão, sob o comando e aquisição de dados (CDA) das estações Wallops Island, Virginia ou Fairbanks, Alaska. As transmissões diretas são recebidas por antenas como a da Embrapa Monitoramento por Satélite, que é chamada HRPT (High Resolution Picture Transmission).

O sensor AVHRR está a bordo dos satélites do “National Oceanic and Administration (NOAA)⁵” que mede a luz solar refletida e a radiação emitida (calor) da terra.

O instrumento de AVHRR possibilitou a construção de uma série temporal dos anos de 1980 até 2000 utilizando os dados de NDVI gerados com as informações obtidas do NOAA AVHRR GAC com uma resolução de 8 x 8 km e intervalo de tempo mensal de todos os anos analisados apresentados nas séries das imagens que foram recortadas a partir

⁴ O arquivo original da série temporal de imagens AVHRR parte dos dados Pathfinder Land arquivados no Goddard Space Flight Center (GSFC), Goddard Distributed Active Archive Center (DAAC) da NASA, obtidos das passagens diárias do NOAA, que são derivados dos dados do NOAA AVHRR Global Area Coverage (GAC) 1B. Os dados do AVHRR usados são fornecidos pelo GSFC/DAAC com as correções radiométricas pelo método standard do NOAA (Kidwell, 1990; Rao and Chen, 1995), e possuem correções atmosféricas incluindo o espalhamento molecular de Rayleigh pelo método sugerido por Gordon et al. (1988) e a correção da absorção de ozônio pelo método de Fleig usado pelo Eidenshink e Faundeen (1997).

⁵ Os satélites da série NOAA são satélites meteorológicos. A série NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration), iniciada em 1970, teve prosseguimento com o lançamento de mais de uma dezena de satélites e diversos instrumentos operacionais (sondas e imageadores). Eles circulam do pólo norte ao pólo sul, são caracterizados por órbita polar com a inclinação de 99,02° cruzando o plano equatorial. O período é de 101 minutos por órbita. Sua altitude é de 833 Km. Um dia completa 14,1 órbitas. A resolução no nadir é de 1,1 Km, à medida que o satélite avança em sua órbita quase perpendicular ao Equador, uma faixa de 2.700 km de largura é imageada. Normalmente, dois satélites são operados ao mesmo tempo. Enquanto um faz observações do começo da manhã ao começo da tarde (nó descendente), o outro faz do começo da tarde ao meio da noite (no ascendente).

de uma área que representa as dimensões da BAP entre as coordenadas geográficas 13° a 24°S e 52° a 61°W.

Os dados adquiridos de NDVI já estavam com aplicações das técnicas para eliminar parcialmente a contaminação e nuvens nas imagens de NDVI (HOLBEN, 1986).

Os dados já foram processados com calibração radiométrica padrão do NOAA e as correções atmosféricas de espalhamento Raleigh e absorção de ozônio. Os dados de NDVI adquiridos do sensor AVHRR encontra-se a partir do canal 1 (Ch1: 0.58-0.68 μm) e o canal 2 (Ch2: 0.725 -1.10 μm) dividido pela soma deles pelos quais estão expressos na equação:

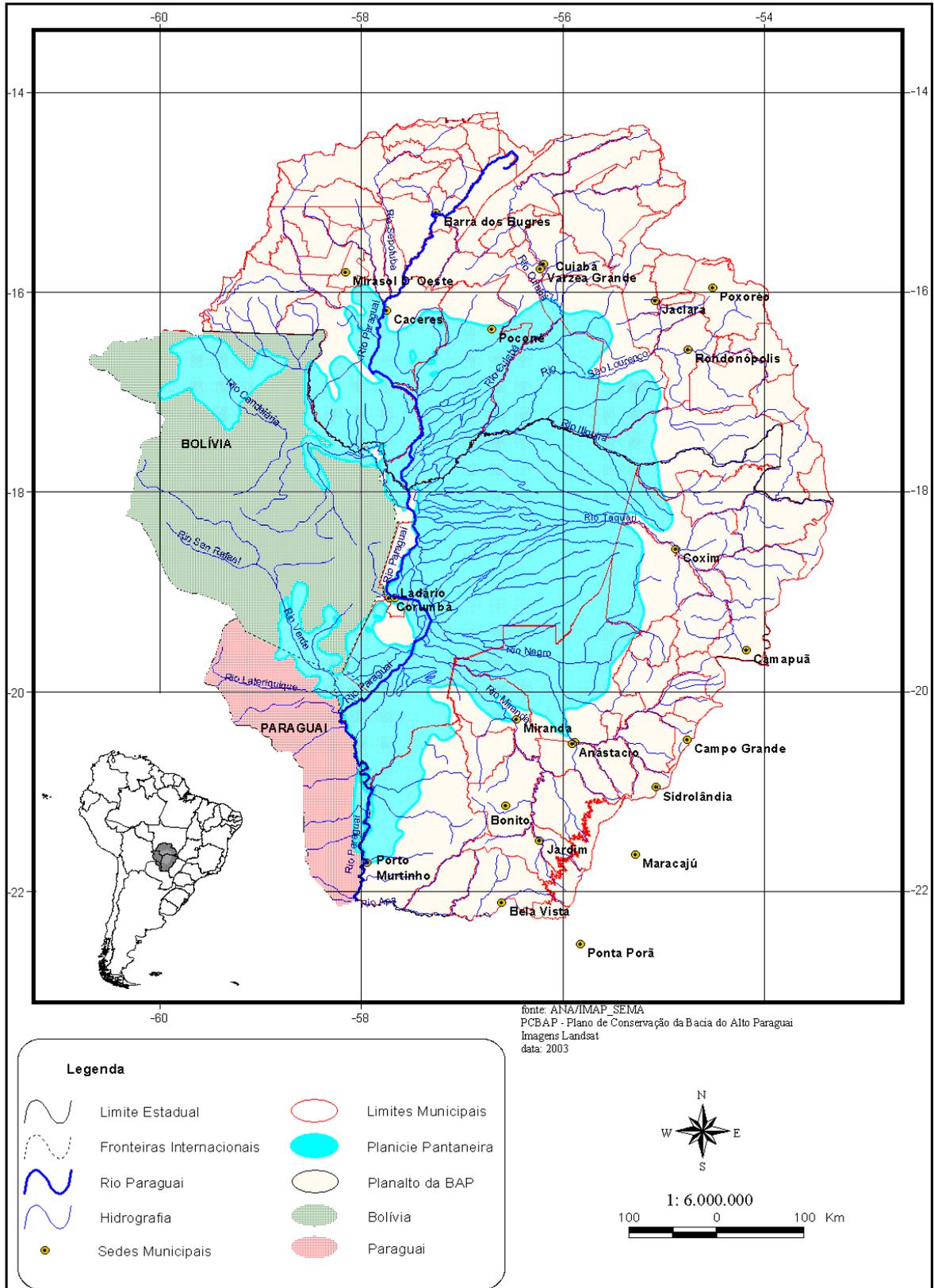
$$\text{NDVI} = (\text{Ch2} - \text{Ch1}) / (\text{Ch2} + \text{Ch1}).$$

Os dados das estações hidrológicas administradas pela da Agência Nacional de Águas e da Embrapa, que possuem um maior número de estações distribuídas por toda a BAP. Esses dados possibilitaram a construção de modelos para as sub-bacias, mesmo com algumas séries sem consistência dos dados do preenchimento da série temporal adequada para a construção do modelo. Será necessário construir um modelo para a BAP representando toda área da bacia e seis modelos, dividindo a área total da BAP, foi construídos com o propósito de estimar COTA na BAP e nas sub-bacias possibilitando compreender melhor os avanços de cheias e a inter-relação entre as sub-bacias que fornecendo as previsões de ocorrência de cheia e seca extrema no Pantanal.

4.1 PREVISÃO DE COTA NA BACIA DO ALTO PARAGUAI UTILIZANDO OS DADOS DE PRECIPITAÇÃO E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO.

4.1.1 Caracterização da Área de Estudo.

A Bacia do Alto Paraguai (BAP) é parte integrante da Bacia do Prata, tem uma área de 496.000 km² compartilhada pelo centro oeste brasileiro, leste da Bolívia e nordeste do Paraguai. Em território brasileiro, a área é de 363.442 km² (MS e MT). A BAP se divide em duas regiões distintas: a superior (Planalto) e a inferior na (Planície) denominado Pantanal (ver mapa 04). Em conjunto com os rios Uruguai e Paraná, o rio Paraguai representa um dos três principais componentes da Bacia da Prata, que drena quase 20% da água do continente sul-americano. O ponto de saída dos confluente dos rios das sub-bacias como, por exemplo, o rio Paraguai está localizado em Porto Murtinho. Portanto, os dados de cota e vazão deste ponto inferem a quantidade d'água captada pela BAP.



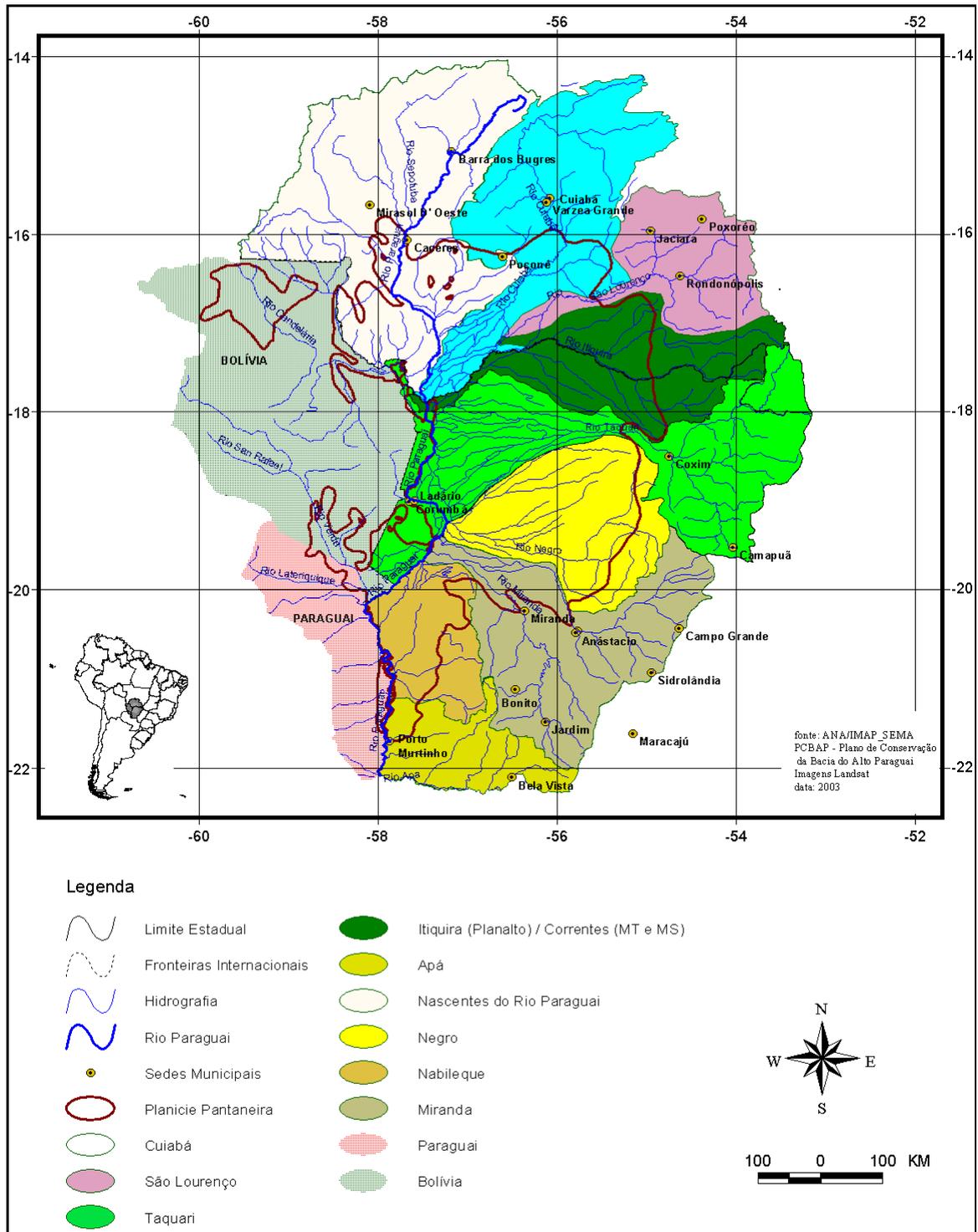
Mapa 04 – Localização da Bacia do Alto Paraguai – BAP.
Fonte: Laboratório de Geoprocessamento – UCDB, 2003.

Segundo dados do IBGE o Estado de Mato Grosso do Sul ocupa na bacia uma área aproximada de 188.178,94 Km², correspondente a 52,54% da área do Estado. O Pantanal representa no Estado cerca de 24,6% de sua área. Na BAP a população humana é esparsa, embora atinja quase 2.000.000 de pessoas, a maioria residem em áreas urbanas.

Os principais centros urbanos da BAP estão distribuídos no estado de Mato Grosso com: Cuiabá 483.346 habitantes; Várzea Grande 215.298 habitantes; Rondonópolis 150.227 habitantes e em Cáceres 85.857 habitantes. Já no Mato Grosso do Sul está representado apenas por Corumbá com 95.701 habitantes. A BAP expressa 44 municípios no estado de Mato Grosso e 25 no estado de Mato Grosso do Sul, onde 83% estão em áreas urbanas.

Os setores econômicos que abrigam a população da BAP estão distribuídos em: 20% no setor primário, 18% no setor secundário e 62% no setor terciário com rendimento médio mensal dos responsáveis pelo domicílio de 3,6 salários mínimos. A pecuária, a pesca, mineração e a agricultura são as principais atividades econômicas da região, fora dos centros urbanos. A poluição das terras e águas, o desmatamento, a erosão do solo e a pesca excessiva são algumas das conseqüências oriundas da falta de planejamento e do gerenciamento deficiente. Também ocorrem pressões no sentido de elevar os níveis de atividade econômica, muitas vezes agressora do ambiente natural.

Há uma grande polêmica no que tange a divisão da BAP em sub-bacias até mesmo o limite da bacia. O IBGE e outros órgãos governamentais brasileiros adotam um limite de sub-bacias que os fatores limitantes são os aspectos políticos estipulados pelas linhas de fronteiras internacionais e limites estaduais, apresentados na seguinte forma: Nascentes do Rio Paraguai, Cuiabá, São Lourenço, Itiquira, Correntes, Taquari, Miranda, Negro, Nabileque e Apá (ver mapa 05). Esta delimitação das sub-bacias analisadas separadamente compromete os estudos da dinâmica hidrológica não expressando dados confiáveis para conclusão das análises.



Mapa 05– Principais Sub-Bacias da BAP
Fonte: Laboratório de Geoprocessamento – UCDB, 2003.

Na litologia o planalto da BAP apresenta-se nas formações Pré-Cambriana (500-600 milhões de anos), com pacotes de rochas do Cretáceo e Terciário e várias formações oriundas de diferentes eventos geológicos: Complexo Xingu, Complexo do Rio Apá, parte do Cristalino brasileiro. Já na planície pantaneira está formada pelo acúmulo de

sedimentos desde o Quaternário (época Cenozóica, incluindo a época Recente), tendo sua origem no Pleistoceno.

O pantanal tem características fisionômicas e hidrográficas muito específicas representado por formações denominações regionais nas formas de: **baías** – depressões cheias de água; **vazantes** – baías ou áreas inundáveis interligadas por depressões mais rasas e **corixos** – canais que interligam vales de inundação.

A vazão média do rio Paraguai está em 1.833 m³/s, o que representa 1% da descarga média dos rios brasileiros. Ainda temos 1.260-2.500 m³/s na cidade de Cuiabá, representando 80% do fluxo total da região.

As descargas por sub-bacias podem ser expressas da seguinte forma:

Alto Paraguai – 12,7 l/s/km²; Alto Cuiabá – 15,4 l/s/km²; Baixo Cuiabá < 0,5 l/s/km²; Alto São Lourenço – 13,8 l/s/km²; Itiquira/Correntes – 13,8 l/s/km²; Taquari - < 0,5 l/s/km²; Negro - < 0,5 l/s/km²; Miranda – 6,0 l/s/km²; Nabileque - < 0,5 l/s/km²; Apá – 5,0 l/s/km².

A análise da utilização dos recursos hídricos da BAP esta distribuída em sub-bacias para melhor compreensão da situação dos recursos hídricos relacionadas ao uso e potencial descrita no quadro 01.

Quadro 01. Disponibilidade e demanda dos recursos hídricos na bacia do Rio Paraguai.

UNIDADE HIDROGRÁFICA	Área (km ²)	P (mm)	E (mm)	DISPONIBILIDADE			DEMANDA (m ³ /s)						Demanda / Disponibilidade *** (%)
				Q (m ³ /s)	Q (L/s/km ²)	Q ₉₅ (m ³ /s)	Urbana	Rural	Animal	Industria	Irrigação	Total	
Alto Paraguai	53.440	1.508	1.109	676	12,7	238	0,42	0,36	1,50	0,26	0,44	2,97	1,3
Alto Cuiabá	28.884	1.468	981	446	15,4	86	1,91	0,36	0,41	0,60	0,17	3,45	4,0
Baixo Cuiabá	58.562	1.306	1.337	(57) *	-	-	0,04	0,07	0,78	0,01	0,61	1,50	0,28**
Alto São Lourenço	21.442	1.459	1.025	295	13,8	119	0,53	0,10	0,67	0,11	0,45	1,86	1,6
Itiquira/Correntes	17.580	1.456	1.022	242	13,8	97	0,02	0,02	0,43	0,04	2,36	2,87	2,9
Taquari	68.802	1.347	1.378	(68)*	-	-	0,39	0,10	1,61	0,05	0,58	2,73	0,51**
Negro	34.635	1.351	1.381	(34)*	-	-	0,01	0,02	0,76	0	0,14	0,92	0,17**
Miranda	44.061	1.403	1.214	263	6,0	69	0,25	0,16	1,75	0,04	3,14	5,34	7,8
Nabileque	18.600	1.323	1.354	(18)*	-	-	0,00	0,00	0,32	0	0,01	0,33	0,05**
Apá	17.436	1.489	1.330	88	5,0	33	0,07	0,03	0,57	0	0,19	0,86	0,13**
TOTAL	363.442	1.396	1.239	1.833	5,0	687	3,64	1,22	8,80	1,10	8,10	22,83	3,32
% DO PAÍS	4,26	-	-	1,10	-	0,90	0,80	1,00	7,60	0,42	0,66	1,04	-

P: Precipitação média anual; E: Evapotranspiração real; Q: Vazão média de longo período; q: Vazão específica;

Q₉₅: Vazão com permanência de 95%.

* Contribuições efluentes devido à alta evapotranspiração potencial na região do Pantanal.

** Disponibilidade considerada como o somatório do Q₉₅ das bacias de montante.

*** Disponibilidade considerada igual a Q₉₅.

A contribuição de territórios estrangeiros para as vazões médias da Região Hidrográfica é de 595,23 m³/s.

Demanda Urbana: volume de água distribuída por sistemas públicos de abastecimento às populações atendidas com redes gerais.

Demanda rural: demanda rural potencial adicionada da demanda urbana não atendida por rede geral. A demanda rural potencial foi obtida a partir das populações rurais municipais fornecidas no Censo Demográfico (IBGE, 2000) e os respectivos coeficientes per capita. Foi considerada demanda não-atendida por sistema geral de abastecimento de água a diferença entre a demanda urbana potencial menos a demanda urbana atual.

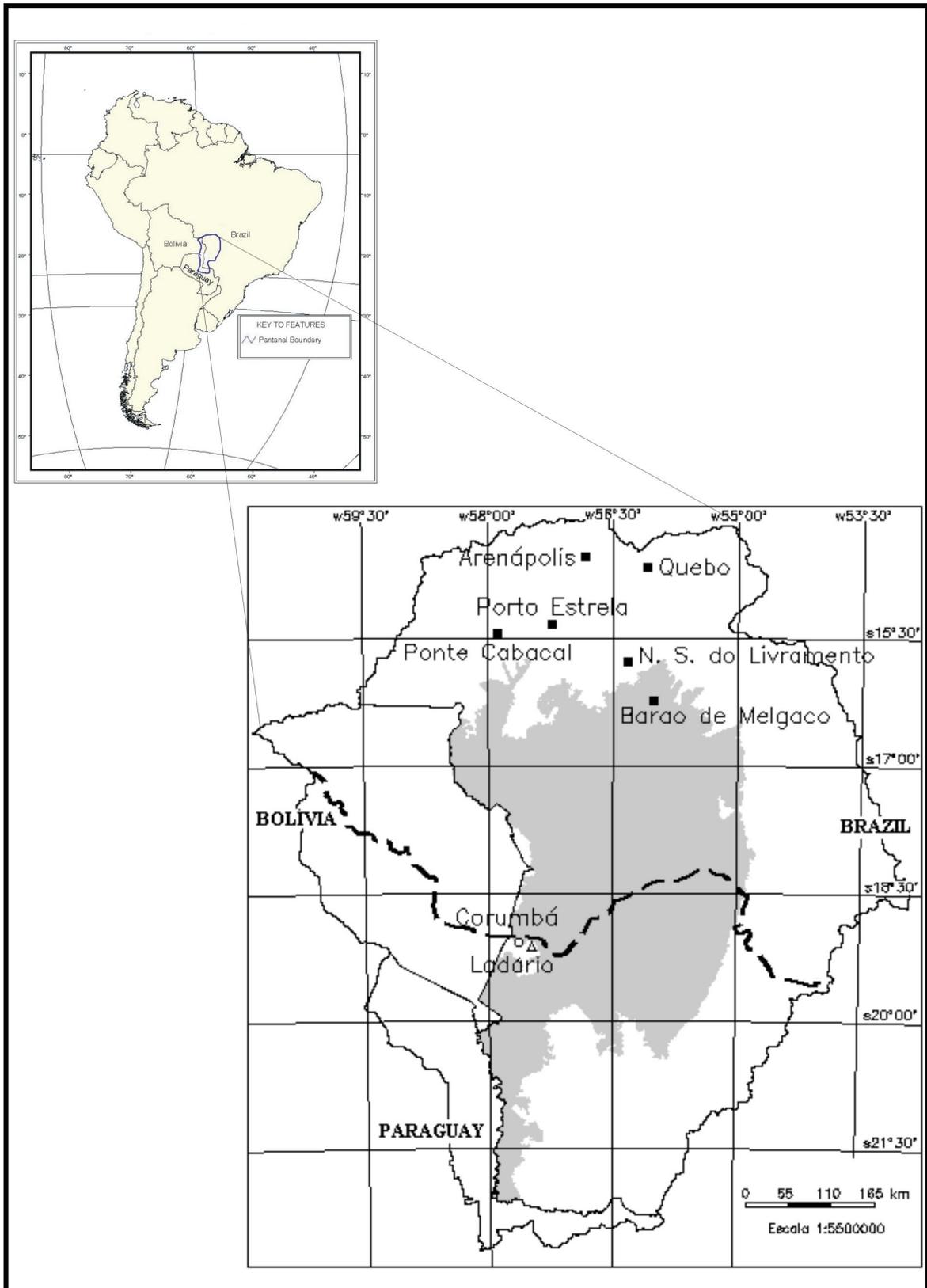
Fonte: ANA, 2003.

4.1.2 Dados Utilizados para a construção do modelo de toda a BAP.

Na construção do modelo foram utilizados os dados de COTA, NDVI e Precipitação PCP no período de junho de 1981 a fevereiro de 1993 e os períodos de novembro de 1994 a setembro de 2000 para validação do modelo. Os dados da sub-bacia de COTA foram do registro adquiridos da estação hidrológica do 6º Distrito Naval da Marinha Brasileira em Ladário no Estado de Mato Grosso do Sul (Latitude: 19° 05'S; Longitude: 57° 30'W). Foi selecionado apenas seis estações de PCP mensal, destacando as estações Arenópolis (14.51°S, 56.1°W), Quebo (14.65°S, 56.11°W), Porto Estrela (15.31°S, 56.23°W), Ponte Cabaçal (15.47°S, 57.9°W), Nossa Senhora do Livramento (15.77°S, 56.35°W) e de Barão Melgaço (16.19°S, 55.95°W), administrados pela Agência

Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), hoje representado pela Agência Nacional de Águas (ANA).

Os dados foram espacializados representando os locais de COTA e PCP registrados nas estações e apresentada no mapa 06. Também foram calculadas as médias dos dados das seis estações de PCP para representar o volume de chuva recebida na parte superior da BAP. A COTA representa o nível de água de rio da área de drenagem indicado pela área sobre a linha de colisão onde foi selecionada a estação fluviométrica de Ladário para desenvolver os modelos (ver mapa 06).



Mapa 06– Localização da Estação Fluviométrica e das seis estações Pluviométricas utilizadas na construção do modelo.

Fonte: Laboratório de Geoprocessamento – UCDB, 2003.

4.1.3 Construção do Modelo para a construção do modelo de toda a BAP.

Na construção do modelo os dados hidrometeorológicos foram analisados para diagnosticar os melhores comportamentos das variações sazonais de COTA, PCP e NDVI. Considerando que o tempo de atraso na resposta da COTA em Ladário em relação as precipitações recebidas na parte montante da BAP, as várias correlações de COTA x PCP e COTA x NDVI foram feitas com o tempo de atraso progressivo de COTA de um mês até obter o valor do coeficiente de correlação máxima.

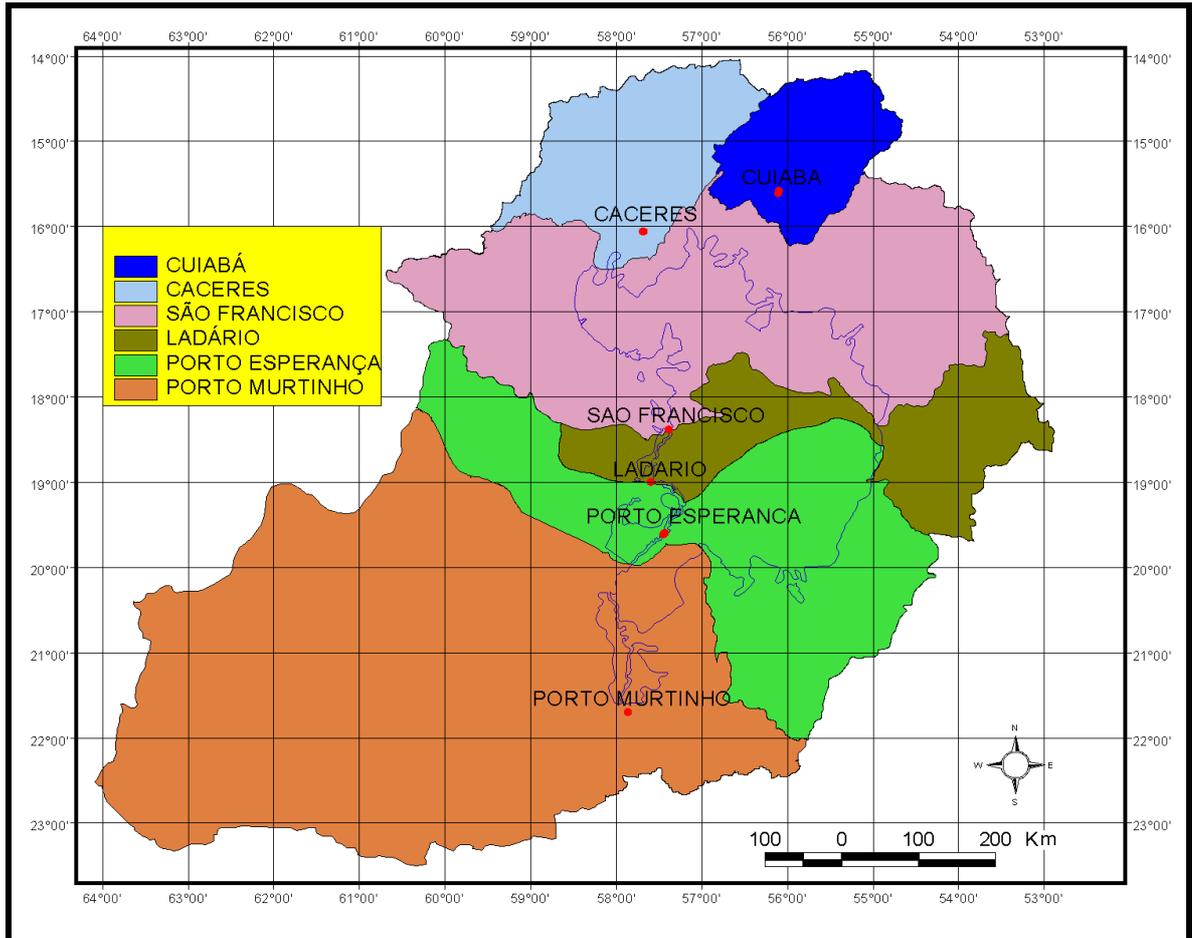
O modelo de previsão de COTA foi construído com os meses de valores altos e coeficiente de correlação entre COTA x PCP e COTA x NDVI. A técnica de regressão linear foi aplicada para a construção do modelo considerando COTA como parâmetro dependente e NDVI e PCP como parâmetros independentes. Várias tentativas com diversas combinações dos diferentes meses de PCP e NDVI foram executadas para obter um modelo com os valores estatísticos mais adequados.

4.2 PREVISÃO DE COTA DAS SEIS SUB-BACIAS UTILIZANDO OS DADOS DE PRECIPITAÇÃO E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO.

4.2.1 Caracterização da Área de Estudo

Para realização de estudos mais detalhados foi necessário dividir a BAP fragmentando em seis sub-bacias de acordo com as estações hidrometeorológicas que dispunham dos dados adequados para a construção dos modelos. Estas sub-bacias foram nomeadas de acordo com as estações hidrológicas que monitoram a drenagem de água na sub-bacia, destacando: (ver mapa 07)

- ✓ Cuiabá;
- ✓ Cáceres;
- ✓ São Francisco;
- ✓ Ladário;
- ✓ Porto Esperança;
- ✓ Porto Murtinho.



Mapa 07 – Sub-bacias de acordo com as estações hidrometeorológicas.

Fonte: Laboratório de Geoprocessamento – UCDB, 2003.

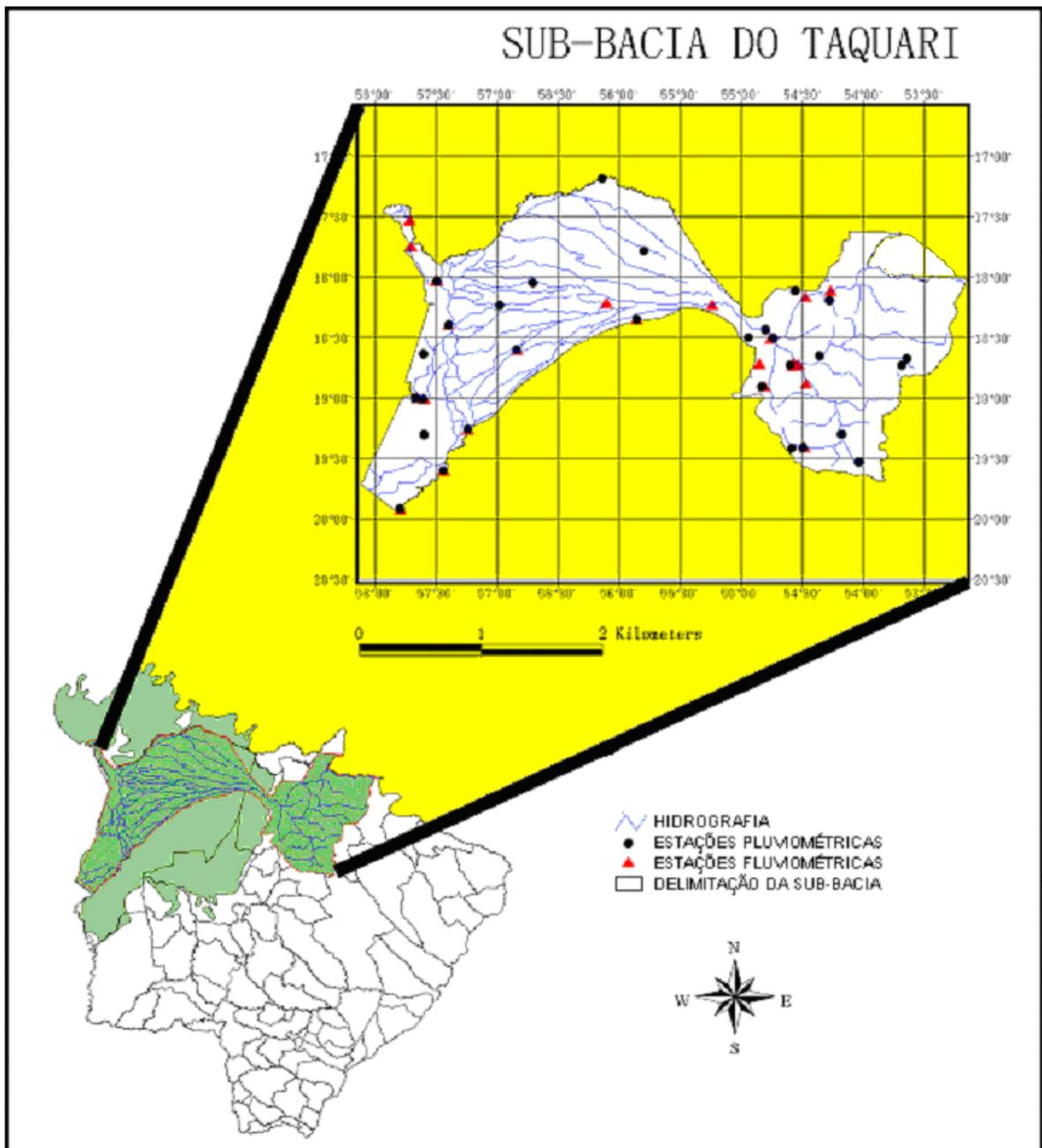
A bacia apresenta sua diversidade destacando a sub-bacia de Ladário que esta localizada em uma posição estratégica onde a consistência dos dados de COTA, e a vazão do rio podem ser muito bem monitorado. Desta forma realizaremos maiores estudos nesta sub-bacia para verificar a consistência das informações construindo um modelo na sub-bacia do Rio Taquari representado na planície e no planalto da BAP.

A área da bacia aumentaria cerca de 50% se a sub-bacia do Chaco do Paraguai for acrescentado na área de estudo. A sub-bacia seca do Chaco é negligenciada freqüentemente, pois não considerando que esta região seca tenha contribuição significativa ao contrapeso hidrológico da BAP. O mapa 07 mostra o limite atual da BAP que estende das latitudes 14S a 23S e as longitudes: 52W a 64 W, incluindo a sub-bacia seca do Chaco representado por uma linha que divide a área.

No planalto circundante, nascem os principais rios formadores do Pantanal. A sub bacia do rio Taquari esta expressa pelas duas porções da BAP, ocupando a planície e o

planalto da bacia. O mapa 08 apresenta a localização da sub-bacia do Taquari inserida no Mato Grosso do Sul e pequena parte do sudeste de Mato Grosso.

A sub-bacia do rio Taquari tem uma área de 65,023 km² com seus principais rios Taquari e Coxim que sofrem com severas erosões decorrentes do impróprio manejo das atividades agropecuárias no planalto ocasionando o depósito de sedimentação na planície.



Mapa 08 – Localização da Sub-Bacia do Rio Taquari
Fonte: Laboratório de Geoprocessamento – UCDB, 2003.

4.2.2 Dados Utilizados na construção do modelo da sub-bacia do Rio Taquari.

Especificamente na sub-bacia do Rio Taquari, foram usados os dados mensais de (COTA) da estação fluviométrica de Forte Coimbra e precipitação (PCP) de vinte e sete estações pluviométricas no período de julho de 1981 a setembro de 1998, fornecidos pela Agência Nacional das Águas, (ANA). No mapa 08 estão localizadas as estações pluviométricas e as estações fluviométrica na delimitação da sub-bacia do Rio Taquari. Foram usados também os dados do mesmo período de NDVI da área da sub-bacia. Os valores mensais máximos dos dados de NDVI foram compostos com uma resolução de 8 x 8 km para o período de agosto de 1981 para dezembro de 2000.

Os dados de COTA, PCP e de NDVI foram selecionados para o período de 1981 a 2000 que serviram para realização do estudo das 6 sub-bacias delimitadas. Em cada sub-bacia foram calculados a média dos dados de PCP e NDVI no período de 1981 a 1993, onde foram usados para a construção modelo de COTA de cada sub-bacia e o período dos dados de 1995 a 2000 foi usado para a validação desse modelo.

Os dados de COTA nas seis estações de hidrológicas: Cuiabá, Cáceres, São Francisco, Ladário, Porto Esperança e Porto Murtinho para o período de 1981 a 2000 foram usados nestes modelos, bem como os dados de COTA das estações de Cuiabá, São Francisco e Porto Esperança todos providos da ANA e os dados das estações de Cáceres, Ladário e Porto Murtinho foram providos pela 6º Distrito Naval da Marinha Brasileira em Ladário/MS e EMBRAPA, para a construção das de séries temporais de COTA mensal das seis estações hidrológicas para o período de 1981 a 1990 e 1991 a 2000 respectivamente. Foi observado que Porto Murtinho obteve seu auge relativamente elevado com COTA superior a 9 metros, ocorridas nos anos de 1982 e 1988 e São Francisco obteve auge COTAS elevadas freqüente maiores de 8 metros. As ocorrências em Cuiabá apresentaram o máximo baixo, duas a três vezes em seu anuário quase não ultrapassou os 2,7 metros apresentados nos anos de: 1987, 1988, 1989, 1994 e 1995, mas com vários auges excepcionais com COTAS elevadas superiores a 7,5 metros.

A sub-bacia de Cuiabá apresentou o nível de COTA mínima mais baixo no período de 1981 a 2000. É importante dedicar uma atenção especial para COTA de Cuiabá que diminuiu chegando próximo a zero nos anos de 1999 e 2000. Fazendo uma correlação com todas as seis estações, será possível observar que Cuiabá e Porto Murtinho tiveram COTA mínima mais alta com variabilidade anual da vazão. Também todas as seis estações indicaram que a COTA máxima vem diminuindo anualmente de 1981 a 2000.

Nas sub-bacias foram calculadas as médias obtidas com dados de PCP mensais das estações pluviométricas disponível. Foram utilizados os totais de 22 estações para Cuiabá, 10 estações para Cáceres, 53 estações para São Francisco, 18 estações para Ladário, 36 estações para Porto Esperança e 11 estações para Porto Murtinho, expressão para as sub-bacias, o tempo das séries de PCP mensal das seis sub-bacias para o período de 1981 a 1990 e 1991 a 2000 respectivamente. Foram observados que Ladário e Cáceres tiveram a máxima mais alta com chuvas mensais, seguidos por São Francisco, Porto Murtinho, Cuiabá e Porto Esperança que tiveram a máxima mais baixa. Não foi apresentada nenhuma tendência distinta de diminuição dentro do regime de chuvas anuais.

4.2.3 Construção dos Modelos de previsão de COTA para as seis sub-bacias

Para a construção do modelo com dados hidrometeorológicos, foram analisados para diagnosticar os melhores comportamentos de variação sazonal de COTA, PCP e NDVI. Considerando que o tempo de atraso na resposta de COTA às precipitações recebidas na parte da montante da BAP, as várias correlações de COTA x PCP e COTA x NDVI foram feitas com o tempo de atraso progressivo de COTA de um mês até obter o valor de coeficiente com melhor correlação.

O modelo de previsão de COTA foi construído com os meses valores altos, dos coeficientes nas correlações entre COTA x PCP e COTA x NDVI. Foi aplicada a técnica de regressão linear para a construção do modelo considerando COTA como parâmetro dependente e NDVI com PCP como parâmetros independentes onde várias tentativas com diversas combinações dos diferentes meses de PCP e NDVI, foram executadas para obter um modelo com os valores estatísticos mais adequados.

Para incluir a contribuição de cada sub-bacia entre elas foram utilizados a média dos dados calculados de PCP de cada sub-bacia. Por exemplo: para a construção do modelo da sub-bacia de Ladário, foram incluídas as variáveis dependentes, incluindo 3 fixas das respectivas sub-bacias que influenciam na sub-bacia de Ládario, sendo as médias de PCP das estações de Cuiabá, Cáceres e São Francisco. O modelo de sub-bacia será obtido enquanto uma regressão mais elevada foi alcançada por um valor de coeficiente mais alto usando a técnica de regressão linear múltipla. O período de dados de 1981 a 1993 foi usado para tempos de construção do modelo dos dados no período de 1995 a 2000, que foram usados para validação modelo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 PREVISÃO DE COTA NA BACIA DO ALTO PARAGUAI UTILIZANDO OS DADOS DE PRECIPITAÇÃO E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

5.1.1 Análises hidrometeorológicas.

A construção do modelo da BAP inteira baseou-se nas análises das variações sazonais entre COTA, PCP e NDVI para diagnosticar melhor a variação, esta análise está expressa nas figuras 01 a 04 que apresentam a evolução das séries temporais de COTA, PCP e NDVI para estes quatro casos.

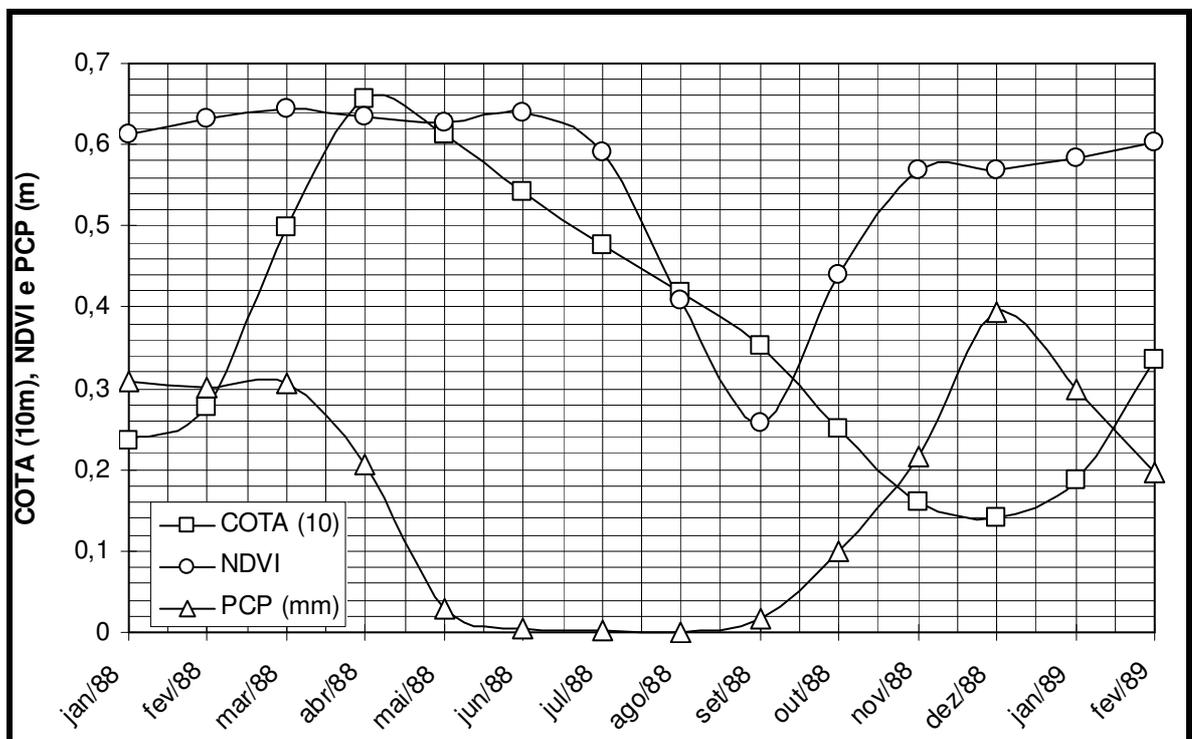


Figura 01 – Série mensal de COTA da estação de Ladário, a média de NDVI da BAP e a média de PCP da parte alta da BAP no período de 01/1988 a 02/1989

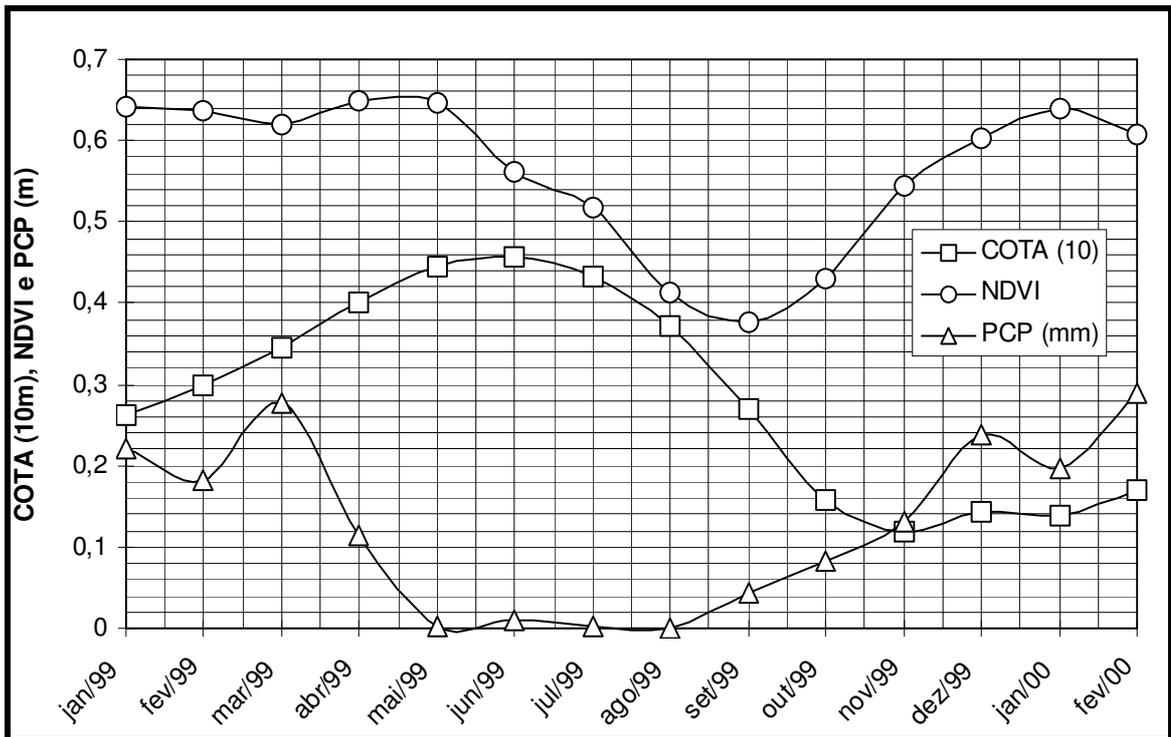


Figura 02 – Série mensal de COTA da estação de Ladário, a média de NDVI da BAP e a média de PCP da parte alta da BAP no período de 01/1999 a 02/2000.

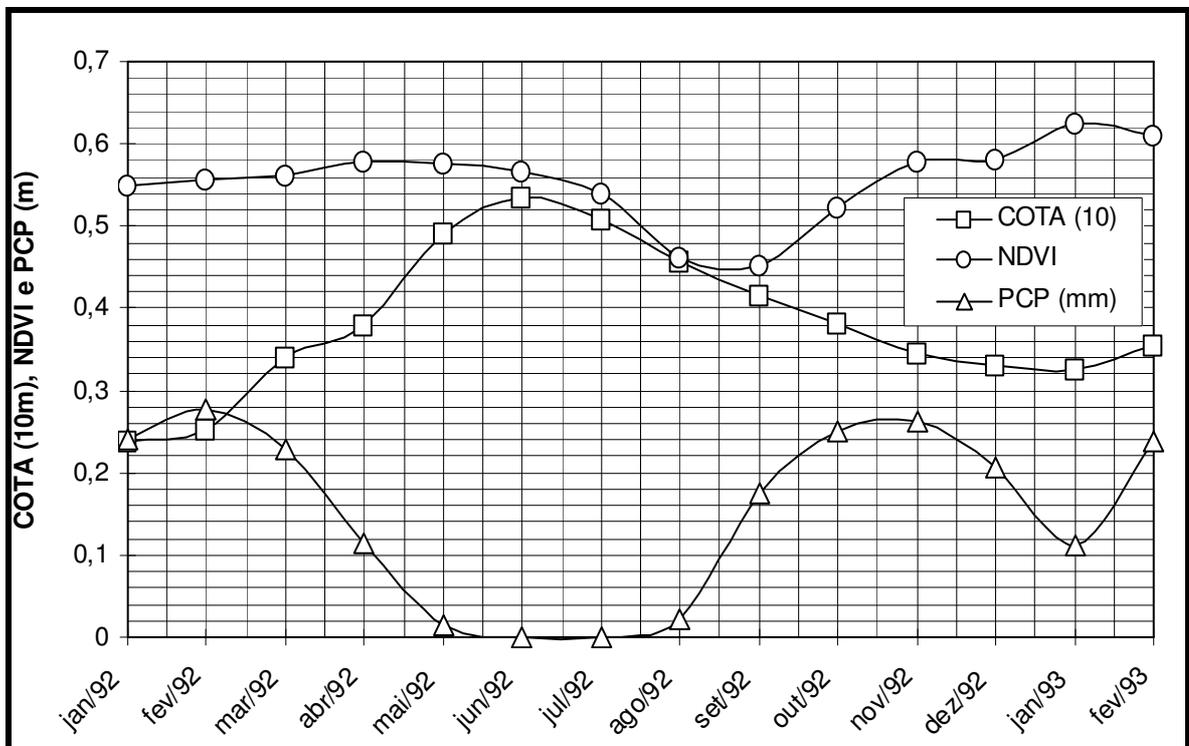


Figura 03 – Série mensal de COTA da estação de Ladário, a média de NDVI da BAP e a média de PCP da parte alta da BAP no período de 01/1992 a 02/1993

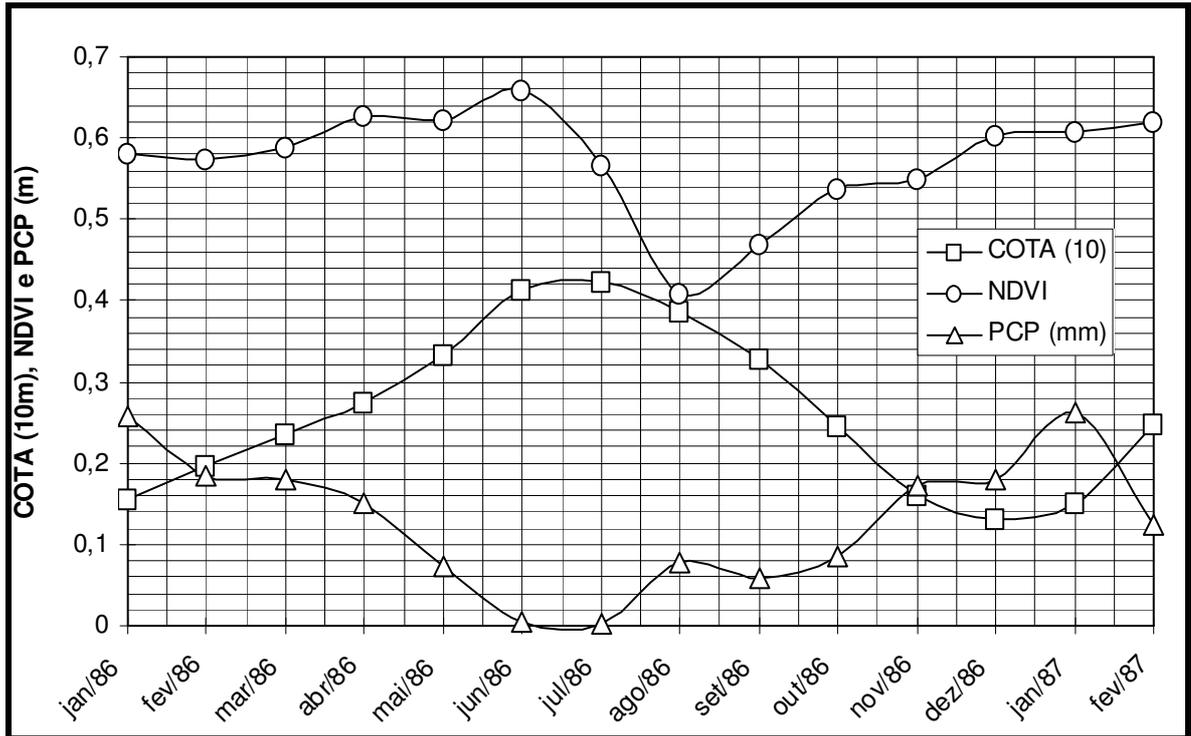


Figura 04 – Série mensal de COTA da estação de Ladário, a média de NDVI da BAP e a média de PCP da parte alta da BAP no período de 01/1986 a 02/1987

Nas análises há casos apresentados de COTA superior a 6,57 m aconteceu em abril de 1988 e a COTA inferior registrado o valor de 4,2 m registrou em julho de 1986, já na estação seca a COTA superior com valor de 3,30 m aconteceu em dezembro de 1992 e a COTA mais baixa com 1,19 m registrada em novembro de 1999.

As COTAS mínimas mensais (principalmente em novembro e dezembro) aconteceram depois do começo da estação de cheias, a COTA máxima mensal (principalmente em julho) aconteceu no auge de estação seca. Em geral, as COTAS a mínima e máxima ocorreram 5 a 6 meses depois de PCP e 2 a 4 meses depois que NDVI alcançasse o mínimo deles. Mas é interessante notar que em anos com maiores índices pluviométricos e a COTA máxima mais alta foram registradas em abril, em anos normais as máximas registram dois a três meses depois em junho e julho. Isso significa que em anos com maior pluviosidade uma chuva de alta intensidade pode causar inundações de superfície na estação de Cheias que resultam a antecipação da ocorrência de COTA máxima. Por outro lado, em todos os anos estudados, a COTA máxima baixa ocorreu na estação seca entre novembro e dezembro.

É importante destacar que NDVI apresentou um valor de 0.60 principalmente em novembro e permaneceu sob este valor no período dos meses 8 a 9 (novembro a junho ou julho). Isso significa que a superfície de vegetação alcança sua maior biomassa 2 meses

depois do começo da estação chuvosa. O aumento no volume da pluviosidade nos meses seguintes não aumenta NDVI que mantém seu máximo 2 a 3 meses depois do fim da estação chuvosa. Isso expressa que a quantidade de precipitação ultrapassa a taxa de evapotranspiração máxima da vegetação, portanto o grau de verde inferida pelo NDVI não aumenta mais.

É importante notar que uma superfície de água observada pelos sensores nas faixas visível e infravermelho próximo, os resultados zero ou valor negativo de NDVI alterando os resultados com grandes variações. Na estação chuvosa, por exemplo, NDVI satura o entorno, desde que uma área de inundação maior reduzirá o que foi calculado como valor médio de NDVI da bacia. Este fato limita a aplicação de NDVI para prever COTA com alta pluviosidade ocorrida nas estações chuvosas. Portanto em estações chuvosas, PCP correlaciona melhor COTA elevada. Por outro lado, a quantidade de chuva na estação seca (principalmente ocorreu em junho a agosto) estando próximo de zero não correlaciona bem o valor de COTA baixa, porque a COTA baixa nunca atinge zero devido a contribuição de águas subterrâneas. Portanto, PCP e NDVI foram considerados importantes para construção neste modelo desde que não pudesse achar um modelo bom para usar somente NDVI ou PCP isoladamente.

A representação da COTA expressa na tabela 01, apresenta as correlações de COTA x PCP e COTA x NDVI com um atraso de tempo em COTA de zero para o mês com um coeficiente de correlação mais alto (r).

Tabela 1- Coeficiente de correlação de PCP x COTA, NDVI x COTA e PCP x NDVI

Coeficiente de Correlação (r)			
Tempo de Atraso (mês)	PCP x COTA	NDVI x COTA	PCP x NDVI
0	0.5604	0.0846	0.2948
1	0.2264	0.3849	0.5570
2	0.1661	0.6005	0.6484
3	0.5312	0.6507	0.5762
4	0.7545	0.5377	-
5	0.6458	-	-

5.1.2 Modelo da BAP

Examinando os coeficientes de correlação apresentada na Tabela 01, seis parâmetros, incluindo PCP1, PCP2, SPCP12, NDVI3, NDVI4 e SNDVI34 foram usados como variáveis independentes e COTA6 como variável dependente para construção do modelo. Os números 1, 2, 3, 4 e 6 representam os meses 1, 2, 3, 4 e 6 respectivamente. Desta forma, PCP1 representa PCP de junho, COTA6 expressando COTA de novembro, SPCP12 representa soma de PCP1 e PCP2 e SNDVI34 apresenta soma de NDVI3 e NDVI4. Aplicando o Stepwise, técnica de Regressão Linear Múltipla, foram obtidos o modelo e sua representação.

O modelo apresentou um valor de R^2 de 0.757 com um RMSE de 0.424. O erro absoluto calculado com uma média de 16.80% foi obtido para a COTA simulada. A comparação da COTA observada e simulada para o período de novembro de 1981 a fevereiro de 1993 apresenta o modelo expresso na Figura 05. Foi detectado que o modelo apresentou muito bem a simulação principalmente as ocorrências na intensidade de COTAS máximas e mínimas, mas não apresentou a ocorrência no auge de COTA incluindo três anos: 1982 / 1985 e 1988, A COTA máxima aconteceu em abril ao invés de estar expresso em julho.

Ao observar os dados de COTA, foi diagnosticada que todos estes três anos A COTA máxima foi maior de 6 metros, permitindo indicar as faltas de um modelo imóvel para simular um ano alto índice pluviométrico em estação chuvoso. Um volume maior de água de cheias na superfície causado por chuvas torrenciais de verão pode contribuir para antecipar a COTA alcançando seu valor máximo 1 a 3 meses antes comparados com as COTAS ocorridas em anos com chuvas normais. O modelo também não apresentou boa simulação para o auge de COTA nos anos de 1984, 1989 e 1993. Ao invés de atingir um valor elevado de COTA que ocorreu em julho, houve uma diminuição no valor de COTA máxima. O baixo valor de NDVI causado por uma área de inundação pode contribuir para este erro. Sendo assim o estudo adicional nos comportamentos de chuva deverá ser feito para descobrir a antecipação no auge de COTA em anos de chuvas altas e corrigir a diminuição anormal de COTA oriundos pelo baixo valor de NDVI no pique da estação chuvosa.

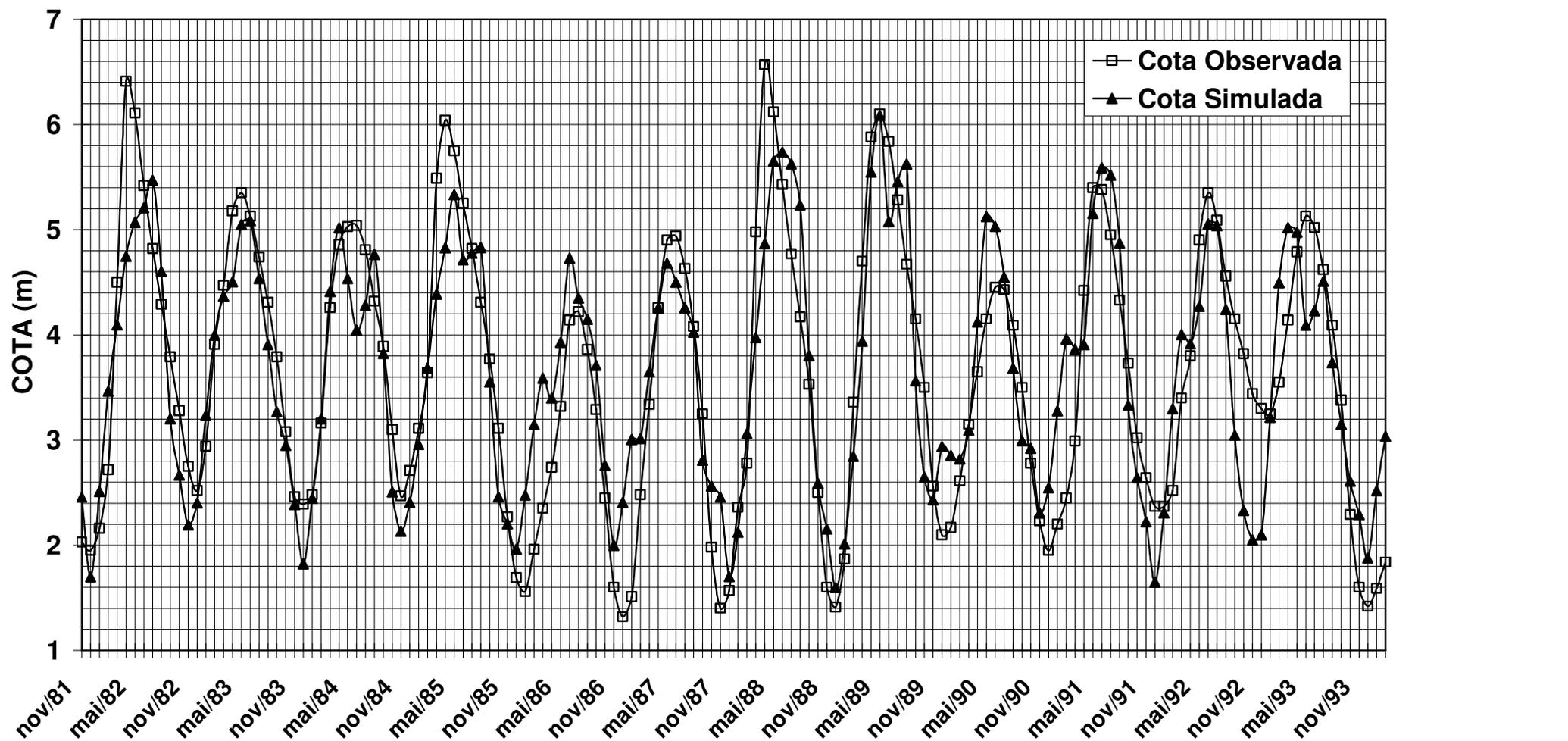


Figura 05 – Comparação da COTA observada com COTA simulada no período de Novembro de 1981 a Fevereiro de 1994 da estação de Ladário.

5.1.3 Validação do Modelo da BAP.

Para a validação do modelo da BAP os valores apresentados em COTA observada e previstos para o período de abril de 1995 a setembro de 2000 (ver figura 06), apresentam a média de erro absoluto com o valor de 16,85% sendo muito estável. A COTA prevista apresentou 37 casos com erro absoluto dentro de 10% e 10 casos tiveram erro absolutos maior que 30 % de 66 casos. Em geral o modelo de COTA da estação de Ladário representou muito bem a previsão. A COTA prevista apresentou 37 casos com erro absoluto dentro de 10% e 10 casos tiveram erro absolutos maior que 30% entre 66 casos. Em geral o modelo de COTA da estação de Ladário representou muito bem a previsão. A COTA baixa registrada em 1999 superestimou COTA com os erros absolutos de 30 %. O índice pluviométrico deste ano não registrou nenhuma chuva no período de maio a agosto e uma mínima muito baixa registrada em setembro com 40 mm e em outubro com 80 mm, demonstrando que o modelo não simula os eventos extremos.

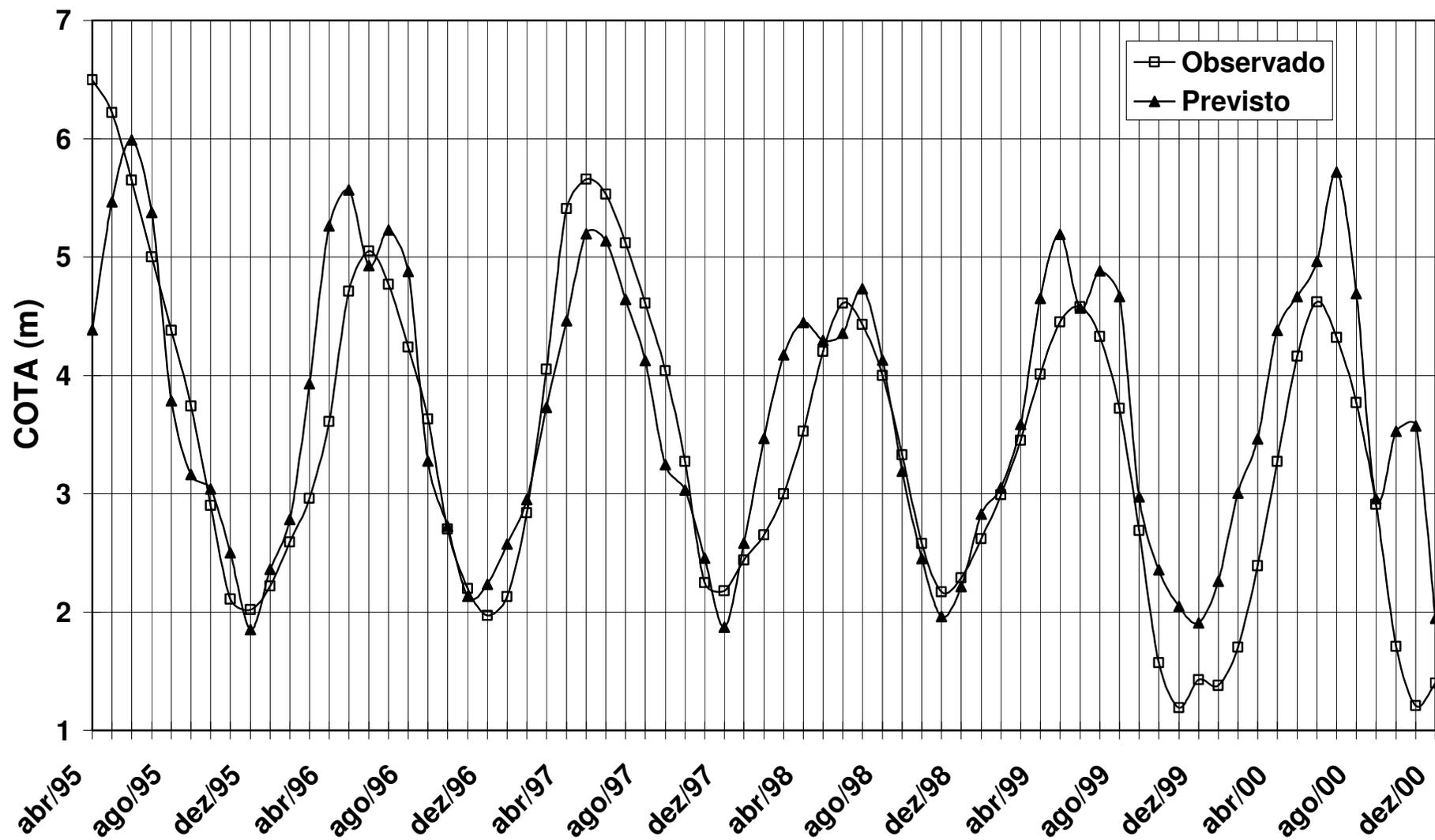


Figura 06 – Comparação da COTA observada com COTA prevista no período de Abril de 1995 a Setembro de 2000 da estação de Ladário.

5.2 PREVISÃO DE COTA DAS SEIS SUB-BACIAS UTILIZANDO OS DADOS DE PRECIPITAÇÃO E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO.

Nas análises hidrometeorológicas, que as médias anuais de NDVI calculadas e as médias de PCP são relativamente semelhantes, não se opondo a média no anuário de COTA. A sub-bacia de Cuiabá teve a COTA anual mais baixa registrando 2.75 m, seguido pela sub-bacia de Cáceres registrando 3.62 m, Porto Esperança registrando 3.83 m, Ladário registrando 3.85 m, Porto Murtinho registrando 5.85 m e São Francisco registrando a COTA mais alta de 6.33 m, sendo razoável que a média do anuário de COTA tenha aumentado na parte superior para abaixar parte de da planície da BAP (ver tabela 02).

A Sub-bacia de São Francisco, localizado na parte mediana da BAP registrou o anuário de COTA apresentando uma média de 6.33 m. É complicado explicar a ocorrência da COTA mais alta na parte central. Constatou-se que a COTA registrada na sub-bacia de São Francisco situada em uma região de cordilheiras com umas altitudes elevadas de 165 m no Pantanal em terra alagada e formada pelo escoamento de várias sub-bacias estando níveis diferentes de elevação, a água sendo proveniente de muitas baías diferentes em forma de uma grande área alagada.

Apresentaram-se com grau elevado de entendimento em função do comportamento hidrológico da BAP ser muito complexo, tendo em vista que as sub bacias da BAP recebem o escoamento de água entre as sub-bacias e até um grande volume de águas subterrâneas aumentando o volume de água superficial escoada. Por exemplo, o escoamento da água da chuva de uma sub-bacia pode invadir outra sub-bacia próxima, se a sub-bacia adjacente recebe menos e/ou a quantia de chuva e está em uma região de baixa elevação, então a COTA monitorada de uma sub-bacia pode estar representando o volume de água proveniente não somente dos índices pluviométricos registrados naquela sub-bacia.

Para um melhor entendimento da complexibilidade, foi estabelecida uma comparação entre COTA, PCP e NDVI nas seis sub-bacias representadas nas tabelas a seguir que destacam a correlação de COTA, PCP e NDVI das seis estações estudadas.

A contribuição pluviométrica, esta registrado através do PCP', destacando a menor média para Porto Esperança com 1.296,29mm e o maior registrado na estação pluviométrica de Cáceres com 1.627,96mm. Já as médias anuais de PCP das outras sub-bacias com poucas variações em suas médias apresentando Cuiabá com 1.568,23mm, São

Francisco com 1.549,45mm, Ladário com 1.446,83mm e Porto Murinho com 1.467,05mm.

As representações das médias anuais de NDVI não ultrapassaram os 6%, destacando a sub-bacia de Porto Murinho com 6,95%, sendo a maior média anual e a sub-bacia de Cuiabá com 6,45% sendo a menor. Foram apresentadas as médias anuais para Cáceres a média de 6,85%, São Francisco 6,84%, Ladário 6,87% e Porto Esperança com 6,92%.

Tabela 02- Comparação da média anual de COTA (m), PCP (mm) e NDVI (%) das seis sub-bacias da BAP.

	Cuiabá	Cáceres	São Francisco	Ladário	Porto Esperança	Porto Murinho
Média anual de PCP(mm)	1568,23	1627,96	1549,45	1446,83	1296,29	1467,05
Média anual de COTA (m)	2,75	3,62	6,33	3,85	3,83	5,85
Média anual de NDVI (%)	6,45	6,85	6,84	6,87	6,92	6,95

Na observação das COTAS de Cuiabá e Cáceres é possível diagnosticar que as correlações com as outras sub-bacias foram muito baixas com exceção das correlações entre si, apresentando as correlações das COTAS de Cuiabá e São Francisco sendo a menor (ver tabela 3). Os resultados apresentam-se razoável bem desde que ambas as estações estejam fora da planície de inundação, sendo as áreas que não apresentam nenhum problema de escoamento de águas entre sub-bacia próximas.

A COTA de São Francisco apresentou boa correlação com Ladário e Porto Esperança (apresentaram 0.93 e 0.89). A COTA de Ladário teve correlação alta com COTA 11, Porto Esperança e de Porto Murinho (apresentaram respectivamente de 0.98 e 0.79). Isto pode indicar que os comportamentos hidrológicos das sub-bacias localizadas na parte baixa da BAP são semelhante na parte superior da BAP que se apresentam diferentes do comportamento hidrológico entre grandes sub-bacias podendo resultar o uso impróprio de COTA para monitorar a sub-bacia de drenagem, algum volume de água pode receber ou contribuir para o escoamento de outras sub-bacias próximas.

Tabela 03- Correlação de COTA mensal das seis sub-bacias da BAP.

	Cuiabá	Cáceres	São Francisco	Ladário	Porto Esperança	Porto Murtinho
Cuiabá	1	0,764925	-0,067920	-0,226016	-0,265310	-0,482759
Cáceres	0,764925	1	0,300924	0,136679	0,111019	-0,143835
São Francisco	-0,067920	0,300924	1	0,932473	0,894953	0,571078
Ladário	-0,226016	0,136679	0,932473	1	0,982529	0,710194
Porto Esperança	-0,265310	0,111019	0,894953	0,982529	1	0,799591
Porto Murtinho	-0,482759	-0,143835	0,571078	0,710194	0,799591	1

Tabela 04- Correlação de PCP mensal das seis sub-bacias da BAP.

	Cuiabá	Cáceres	São Francisco	Ladário	Porto Esperança	Porto Murtinho
Cuiabá	1	0,692137	0,867377	0,666621	0,555006	0,789523
Cáceres	0,692137	1	0,943898	0,881646	0,769359	0,937194
São Francisco	0,867377	0,943898	1	0,895799	0,778642	0,970381
Ladário	0,666621	0,881646	0,895799	1	0,849899	0,944948
Porto Esperança	0,555006	0,769359	0,778642	0,849899	1	0,889531
Porto Murtinho	0,789523	0,937194	0,970381	0,944948	0,889531	1

Tabela 05- Correlação de NDVI mensal das seis sub-bacias da BAP.

	Cuiabá	Cáceres	São Francisco	Ladário	Porto Esperança	Porto Murtinho
Cuiabá	1	0,9481763	0,968978	0,860509	0,815852	0,827913
Cáceres	0,948176	1	0,97063	0,868028	0,812511	0,851297
São Francisco	0,968978	0,97063	1	0,906093	0,872943	0,91845
Ladário	0,860509	0,868028	0,906093	1	0,829454	0,880856
Porto Esperança	0,815852	0,812511	0,872943	0,829454	1	0,916159
Porto Murtinho	0,827913	0,851297	0,91845	0,880856	0,916159	1

Na análise de correlação da distribuição de PCP entre as seis sub-bacias apresentados na tabela 04, constatou-se que exceto a sub-bacia Cuiabá e a sub-bacia de Porto Esperança todas as outras sub-bacias tiveram distribuição de chuva semelhante. Também o cálculo da média dos valores de NDVI entre as sub-bacias apresentaram-se todas muito parecidas (ver tabela 05).

A variabilidade sazonal hidrológica foi estabelecida durante o período de 1981 a 2000, onde foram analisadas, comparadas e organizadas as séries temporais de COTA, PCP e NDVI para o período de 1981 a 2000. As Tabelas 6 a 11 apresentam os valores de coeficiente da correlação (r) de COTA para PCP e COTA para NDVI com um atraso de tempo na COTA zero para o mês das sub-bacias estudadas.

Ao analisar a correlação entre COTA x NDVI nas tabelas 6 e 7, a correlação mais alta foi obtida no mesmo mês sem qualquer atraso mas com baixo coeficiente de correlação em Cuiabá e Cáceres a média de NDVI responderam ao mesmo mês, já a COTA em Cuiabá respondeu PCP com um atraso de um mês e COTA para Cáceres com dois meses de atraso.

Tabela 06- Correlação de coeficiente (r) para PCP x COTA e NDVI x COTA e tempo de atraso das COTAS na correlação da sub-bacia de Cuiabá.

Tempo de atraso (Mês)	COTA x NDVI	COTA x PCP
0	0.399	0.525
1	0.225	0.584
2	-0.003	0.521

Tabela 07- Correlação de coeficiente (r) para PCP x COTA e NDVI x COTA e tempo de atraso das COTAS na correlação da sub-bacia de Cáceres.

Tempo de atraso (Mês)	COTA x NDVI	COTA x PCP
0	0.519	0.526
1	0.373	0.817
2	0.135	0.854
3	-0.167	0.689
4	0.500	0.353

Na análise dos resultados de correlação entre COTA x NDVI e COTA x PCP apresentado nas tabelas 08 a 11, foi observado que COTA correlacionou com NDVI com até 3 meses de atraso e representou principalmente em PCP com até 5 meses de atraso.

O atraso no tempo de COTA que corresponde a NDVI ou PCP com atraso de tempo mais longo foi causada pelos fluxos de água de drenagem de águas subterrâneas e da água da superfície com distância mais longa na bacia. O atraso de tempo semelhante foi observado nestas quatro sub-bacias: São Francisco, Ladário, Porto Esperança e Porto Murtinho, onde os resultados foram razoáveis, considerando que o Pantanal é formado por um grande sistema aluvial com várias sub-bacias, onde o escoamento das águas drena para muitas baías se fundindo em um corpo de água grande e comum.

Tabela 08- Correlação de coeficiente (r) para PCP x COTA e NDVI x COTA e tempo de atraso das COTAS na correlação da sub-bacia de São Francisco.

Tempo de atraso (Mês)	COTA x NDVI	COTA x PCP
0	0.205	-0.432
1	0.447	-0.042
2	0.592	0.355
3	0.590	0.665
4	0.386	0.791
5	0.045	0.696
6	-0.348	0.448

Tabela 09- Correlação de coeficiente (r) para PCP x COTA e NDVI x COTA e tempo de atraso das COTAS na correlação da sub-bacia de Ladário.

Tempo de atraso (Mês)	COTA x NDVI	COTA x PCP
0	0.030	-0.583
1	0.320	-0.251
2	0.534	0.151
3	0.574	0.506
4	0.452	0.730
5	0.203	0.768
6	-0.126	0.628

Tabela 10- Correlação de coeficiente (r) para PCP x COTA e NDVI x COTA e tempo de atraso das COTAS na correlação da sub-bacia de Porto Esperança.

Tempo de atraso (Mês)	COTA x NDVI	COTA x PCP
0	-0.016	-0.535
1	0.219	-0.195
2	0.423	0.162
3	0.491	0.468
4	0.402	0.674
5	-	0.692
6	-	0.563

Tabela 11- Correlação de coeficiente (r) para PCP x COTA e NDVI x COTA e tempo de atraso das COTAS na correlação da sub-bacia de Porto Murtinho.

Tempo de atraso (Mês)	COTA x NDVI	COTA x PCP
0	-0.208	-0.310
1	0.039	-0.141
2	0.294	0.265
3	0.427	0.449
4	0.239	0.551
5	-	0.543
6	-	0.433

Para a construção dos modelos das sub-bacias todos os dados de PCP e NDVI mensais com um coeficiente de correlação (r) maiores de 0.3 foram incluídos, usando a técnica de regressão múltipla linear. Tendo em vista que o modelo de Cuiabá apresentou um resultado de correlação muito baixo sendo a maior com o valor de 0.399.

Os resultados foram apresentados na prévia seção de PCP e todos os coeficientes mensais (r) maiores que 0.5 foram usados como candidatos a variáveis dependentes e os dados de COTA como variável independente para construção do modelo.

5.2.1 Modelo de Cuiabá

O modelo de Cuiabá apresentou o valor r^2 de 0.6005 com SD de 1.258 ($P < 0.001$). A média dos erros absolutos da comparação entre as COTAS observada e simulada no modelo foi de 59,25%. Na Figura 07 estão apresentadas as comparações de COTA observada e simulada para o período de julho de 1981 a dezembro de 1993, onde foi observado que o modelo simulou muito bem a ocorrências nas magnitudes de COTA máxima e mínima, mas falhou na ocorrência da simulação no auge em três anos incluindo: 1986, 1991 e 1992.

A validação do modelo foi somente durante ano 1995. Devido à falta de dados de COTA, o resultado apresenta que a média de erro absoluto calculado de 102.16% com a comparação da COTA observada e prevista para o período de 1995 a 2000 (ver Figura 08). No modelo de Cuiabá os resultados não foram muito bem expresso, impossibilitando

simular os excepcionais cumes mais altos de COTA que ocorreram nos anos de 1987, 1988, 1989, 1994 e 1995.

Foi estabelecido que valores de COTA negativos fossem registrado no conjunto de dados usado, o erro estavam acima de 100% enquanto os valores baixo próximo de zero. Os dados de COTA de Barão Melgaço, aproximadamente 70 km sul de estação de Cuiabá, foi uma alternativa para construção do modelo para a sub-bacia de Cuiabá, onde melhorou o desempenho simulado do modelo que tem a média de erro absoluto calculado de 24.5% em simulação e de 54.3% em previsão. Mas a validação modelo só foi feita durante o ano 1995 devido à falta de dados de COTA. O modelo estatístico não pode acompanhar a alta variabilidade de COTA anual máxima que varia de acima 8 m por alguns anos e abaixo de 3 m em COTA mínima perto de zero.

O problema apresentado no modelo de Cuiabá foi ocasionado, tanto pela inconsistência de registros de COTAS como pela sua sub-bacia apresentar um grande núcleo urbano (região metropolitana de Cuiabá), onde essa superfície é impermeável ocasionando um grande volume de escoamento de água superficial.

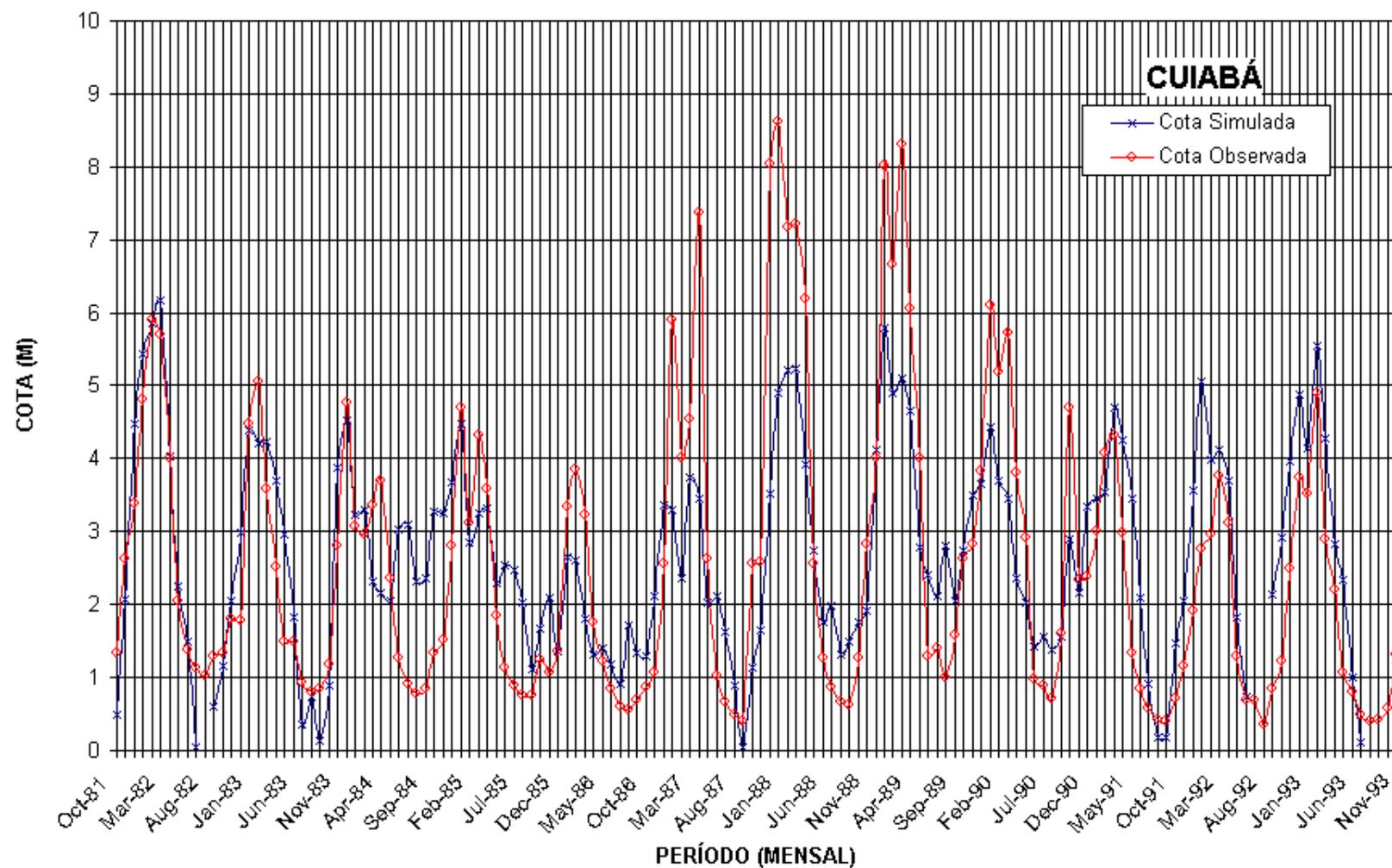


Figura 07 – Comparação da COTA observada e simulada no período de julho de 1981 a Dezembro de 1993 da sub-bacia de Cuiabá.

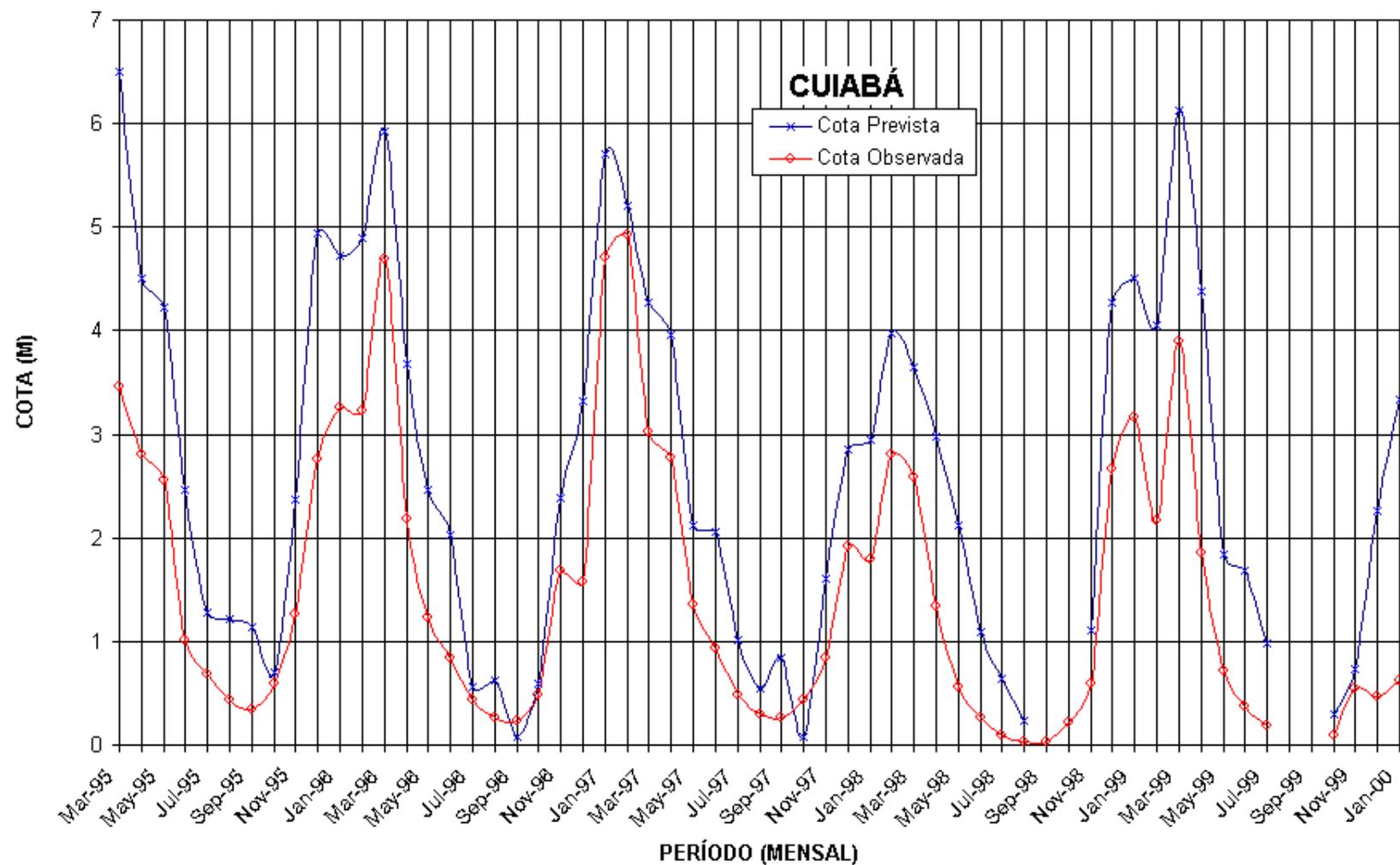


Figura 08 – Comparação de COTA observada e prevista no período de janeiro de 1995 a Dezembro de 1995 da sub-bacia de Cuiabá.

5.2.2 Modelo de Cáceres

O modelo Cáceres apresentou o valor r^2 de 0.8647 com SD de 0.3588 ($P < 0.001$). A média dos erros absolutos foi de 7.68% obtida pela comparação das COTAS observada e simulada.

A Figura 09 apresenta a comparação da COTA observada e COTA simulada para o período de julho 1981 para dezembro de 1993. Foi observado que o modelo apresentou muito bem o resultado da simulação principalmente as ocorrências de magnitudes nas COTAS máximas e mínimas, mas falhou ao simular a ocorrência de COTA máxima no ano de 1982.

O resultado na validação do modelo apresentou a média de erro absoluto calculado de 15.36%. A Figura 10 mostra a comparação das COTAS observada e prevista. O resultado do modelo expressou bem, mas a COTA mínima prevista em geral é reduzida em relação à COTA registrada. É interessante notar que a sub-bacia de Cáceres localizada ao norte de Pantanal e somente com uma pequena porção ao sul pertencendo a área alagada, a COTA correlaciona chuva somente com um mês de atraso.

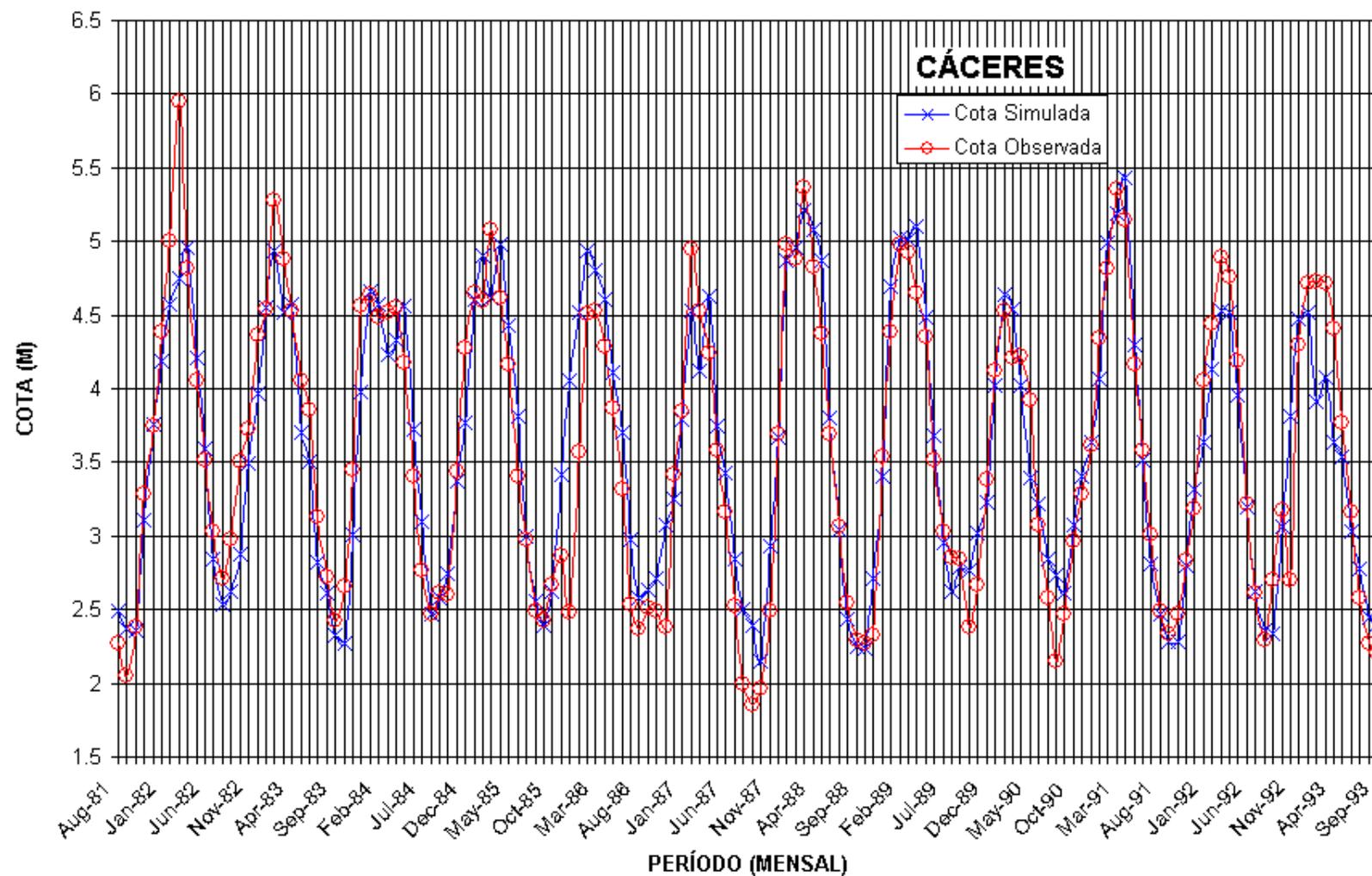


Figura – 09 Comparação de COTA observada e simulada no período de julho de 1981 a Dezembro de 1993 da sub-bacia de Cáceres.

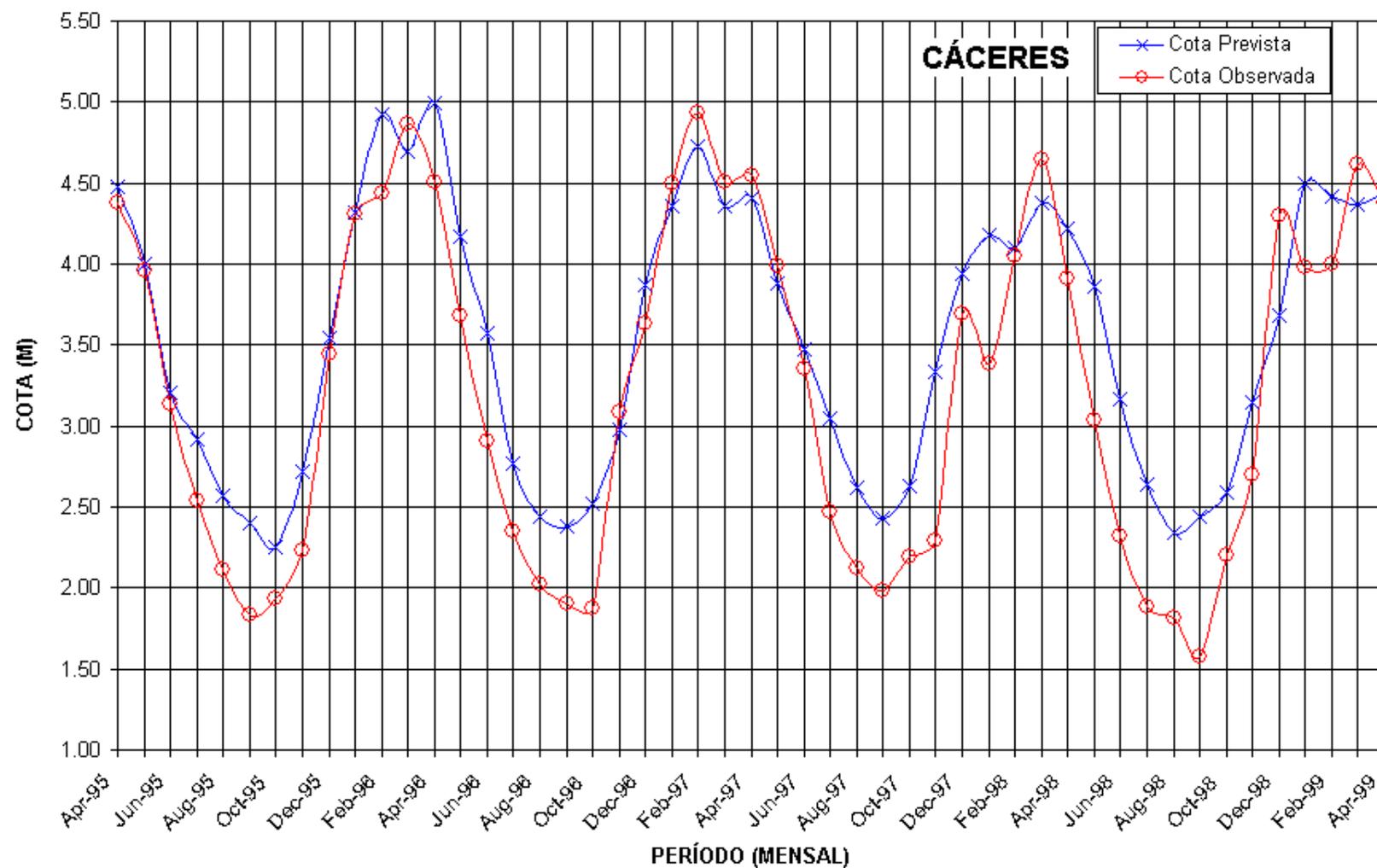


Figura 10 – Comparação de COTA observada e prevista no período de janeiro de 1995 a Dezembro de 2000 da sub-bacia de Cáceres.

5.2.3 Modelo de São Francisco

O modelo de São Francisco apresentou o valor r^2 de 0.7484 com SD de 0.5722 ($P < 0.001$). A média simulada dos erros absolutos comparados no modelo foi de 7.68%. A Figura 11 mostra a comparação das COTAS observada e simulada para o período de julho de 1981 a dezembro de 1993. Foi observado que os resultados das simulações do modelo representaram bem principalmente nas ocorrências das magnitudes em COTA máxima e mínima. Mas falhou na simulação da ocorrência de COTA mínima em 2 anos: 1986 e 1987.

A validação do modelo apresentou a média de erro absoluto calculado de 7,67%. A Figura 12 apresenta a comparação entre as COTAS observada e prevista para o período de 1995 a 1997, devido a falta dos registros de COTA para o período de 1997 a 2000. O resultado apresenta uma boa previsão de COTA, sendo um exemplo evidente da influência na contribuição de água das sub-bacias próximas, neste caso a contribuição do volume de pluviosidade das sub-bacias de Cuiabá e Cáceres aparecem com dois meses de atraso registrado na simulação do modelo de São Francisco.

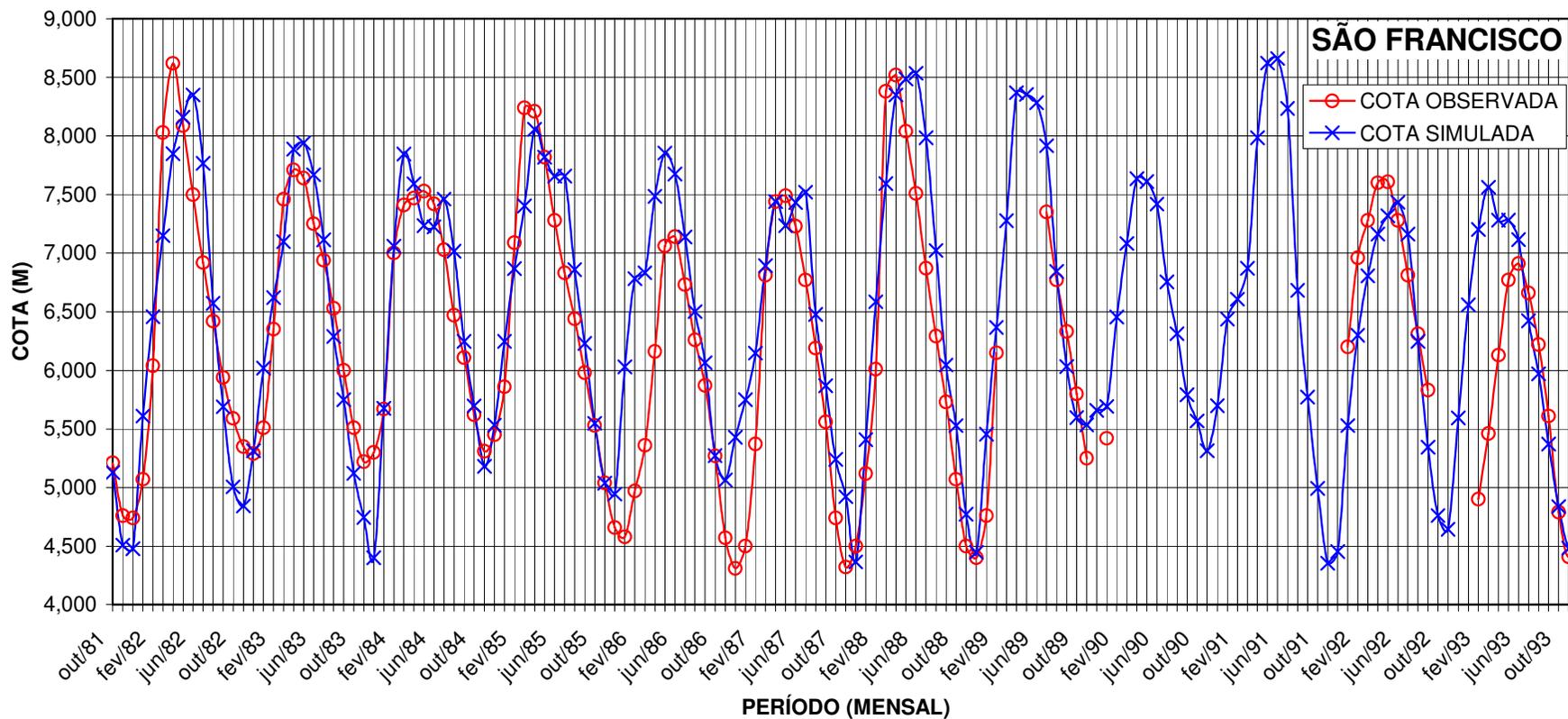


Figura 11 – Comparação de COTA observada e simulada no período de julho de 1981 a Dezembro de 1993 da sub-bacia de São Francisco.

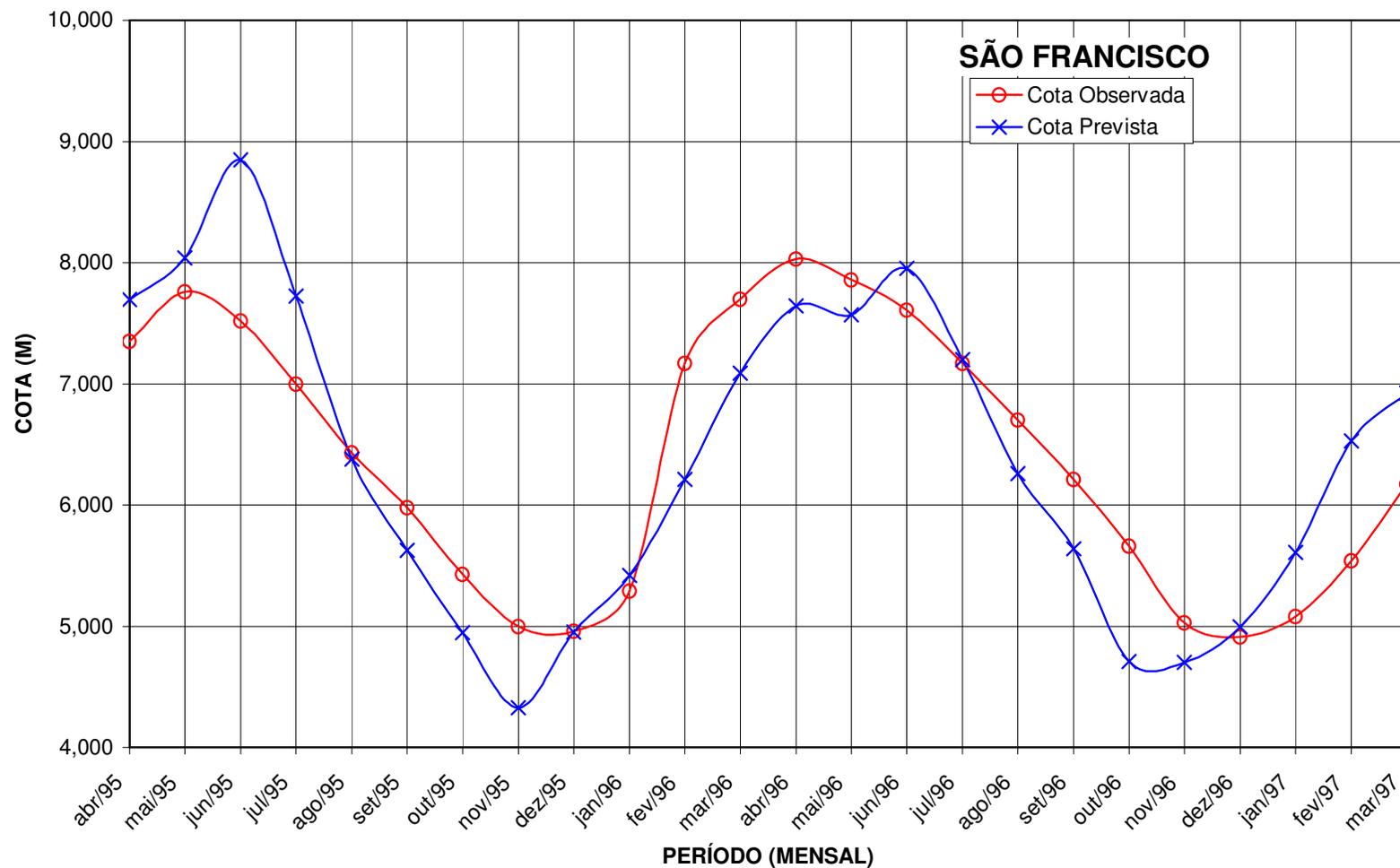


Figura 12 Comparação de COTA observada e prevista no período de abril de 1995 a Março de 1997 da sub-bacia de São Francisco.

5.2.4 Modelo de Ladário

O modelo de Ladário apresentou o valor r^2 de 0.7581 com SD de 0.6475 ($P < 0.001$). A média simulada dos erros absolutos comparados no modelo foi de 15.54%. A Figura 13 apresenta a comparação das COTAS observada e simulada para o período de julho 1981 a dezembro de 1993. Foram diagnosticadas as respostas da simulação nas ocorrências e magnitudes de COTA máxima onde estimou muito bem, excluindo os anos de 1982, 1985 e 1988. Não representando uma boa simulação na ocorrência de COTA mínima nos anos de 1985, 1986 e 1987.

O resultado da validação do modelo apresentou um erro absoluto calculado com a média de 14.34%. Este erro foi obtido a partir da comparação das COTAS observada e prevista para o período de 1995 a 2000 apresentados na figura 14.

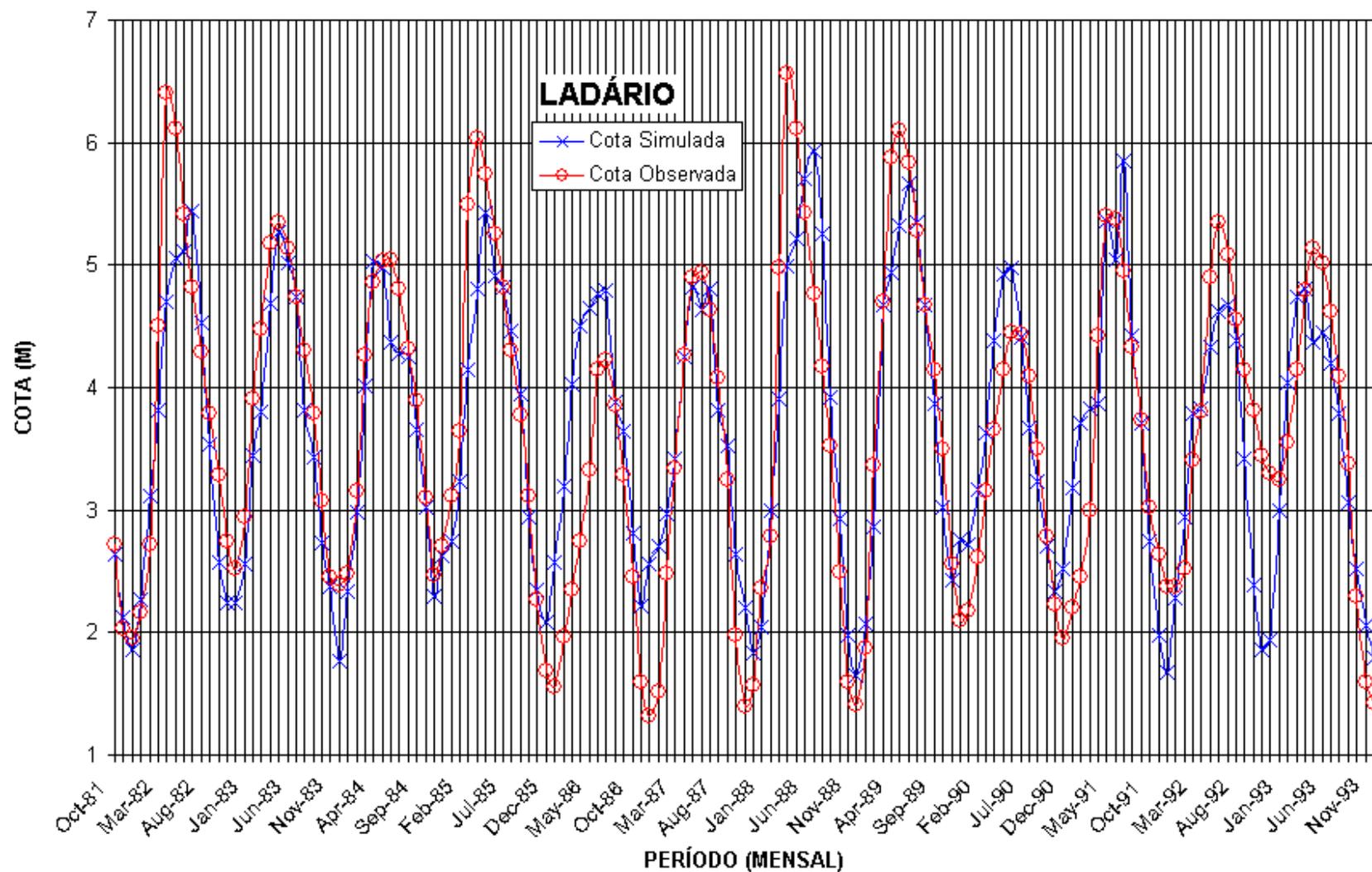


Figura 13 - Comparação de COTA observada e simulada no período de julho de 1981 a Dezembro de 1993 da sub-bacia de Ladário.

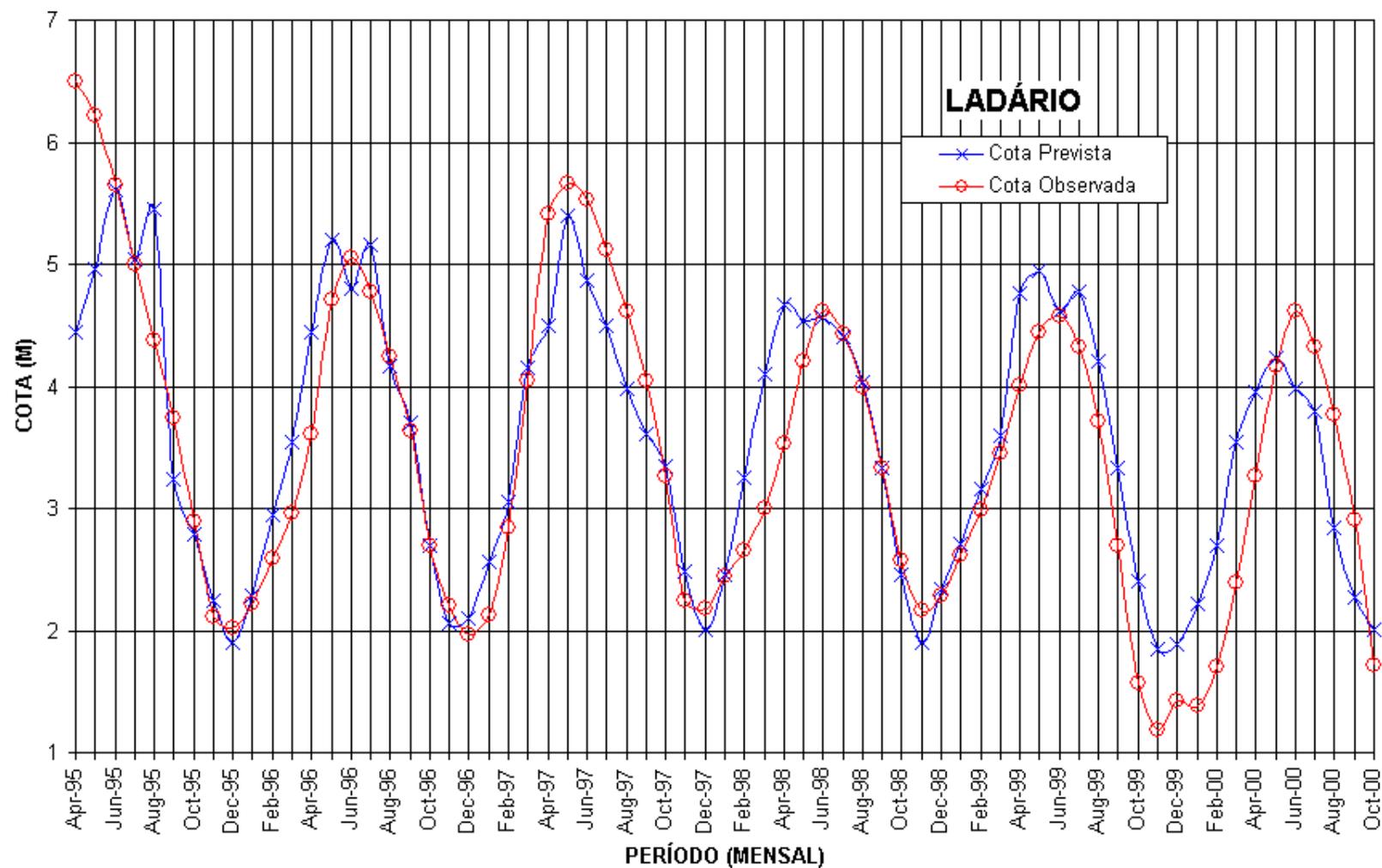


Figura 14 - Comparação de COTA observada e prevista no período de janeiro de 1995 a Dezembro de 2000 da sub-bacia de Ladário.

Com os resultados apresentados no modelo de Ladário teve a necessidade de estudos mais detalhados levantando outra análise, mais pontual na sub-bacia do Rio Taquari que tem uma representatividade expressiva para contribuição de água no pantanal e estar localizado uma porção na planície e a outra no planalto fazendo parte do leque aluvial dinâmico que explicitamente influencia a dinâmica das águas da BAP.

Na tabela 12 estão apresentados os resultados das correlações entre COTA x PCP e COTA x NDVI com a variação do tempo no atraso de COTA. A correlação mais alta entre COTA e PCP foi observado o atraso de 5 meses de COTA com o coeficiente da correlação r de 0,7288. O valor de correlação mais alta entre COTA e NDVI foi observado na construção do modelo para COTA com 3 meses de atraso apresentando um valor de coeficiente de correlação r de 0,4587. Foram selecionados nove parâmetros destacando PCP1, PCP2, PCP3, SPCP12, SPCP23, SPCP123, NDVI3, NDVI4 e SNDVI34 com variáveis independentes e COTA7 como variável dependente. Os números 1, 2, 3, 4 e 7 representam respectivamente mês 1, 2, 3, 4, e 7. A letra S de SPCP e SNDVI representa a soma de meses indicados pelos números. Foi aplicada a técnica de regressão linear múltipla para a construção do modelo.

Tabela 12 – Correlações entre COTA x PCP e COTA x NDVI da sub-bacia do Taquari (fonte: Os dados mensais de COTA, PCP e NDVI do período de 1981 a 1993, fornecidos pela Agência Nacional das Águas – ANA).

Mês atraso da COTA	PCP x COTA	COTA x NDVI
0	-0,62206	-0,05954
1	-0,35163	0,166755
2	0,012812	0,390682
3	0,381232	0,458698
4	0,652886	0,348587
5	0,728729	-
6	0,659629	-

O modelo apresentou um valor de r^2 de 0.6349 com MSE 6519.52 e SD 80.7435 representado na Figura 15, onde mostra a comparação das COTAS observadas e simuladas pelo modelo. A média simulada dos erros absolutos comparados no modelo foi de 31,71% na Figura 16, esta comparação das COTAS observadas e simuladas do modelo. O modelo superestimou a COTA mínima abaixo de 150 cm nos anos de 1986, 1987, 1988,

1989 1990, 1991 e 1994. A COTA máxima foi superestimada nos anos de 1987, 1990 e 1991. Em geral, não apresentou bem a simulação das COTAS máxima e mínima da sub-bacia do Rio Taquari devido à complexidade do comportamento hidrológico da Bacia Alto Paraguai que forma o Pantanal e a influência do volume de água subterrânea. A área inundada plana do Pantanal é composta com as 10 sub-bacias entrelaçadas e formando um leque aluvial. A COTA monitorada no Porto de Forte Coimbra registra o nível de água da área inundada neste ponto também coleta as águas de um conjunto de sub-bacias próximas, não somente a água drenada pela sub-bacia Taquari. Portanto, o modelo baseado nos dados de PCP e NDVI da sub-bacia Taquari não foi possível estimar bem a COTA na estação de Forte Coimbra para as ocorrências extremas.

Na validação do modelo, a média dos erros absolutos foi de 16,7%. O desempenho do modelo melhorou comparando-se com os erros da simulação. Isto indica que o modelo é estatisticamente estável. Mesmo assim, o modelo também tem tendência de superestimar a COTA mínima no ano de 1996 e a COTA máxima do ano 1998. Isto demonstra que o modelo de previsão da COTA usando os dados de PCP e NDVI de uma sub-bacia tal como Taquari entrelaçado com outras sub-bacias no Pantanal não alcança a acurácia satisfatória nos casos das COTAS máxima e mínima. Em geral, foi apresentado no modelo um bom funcionamento considerando que o modelo é um tipo climatológico estatístico.

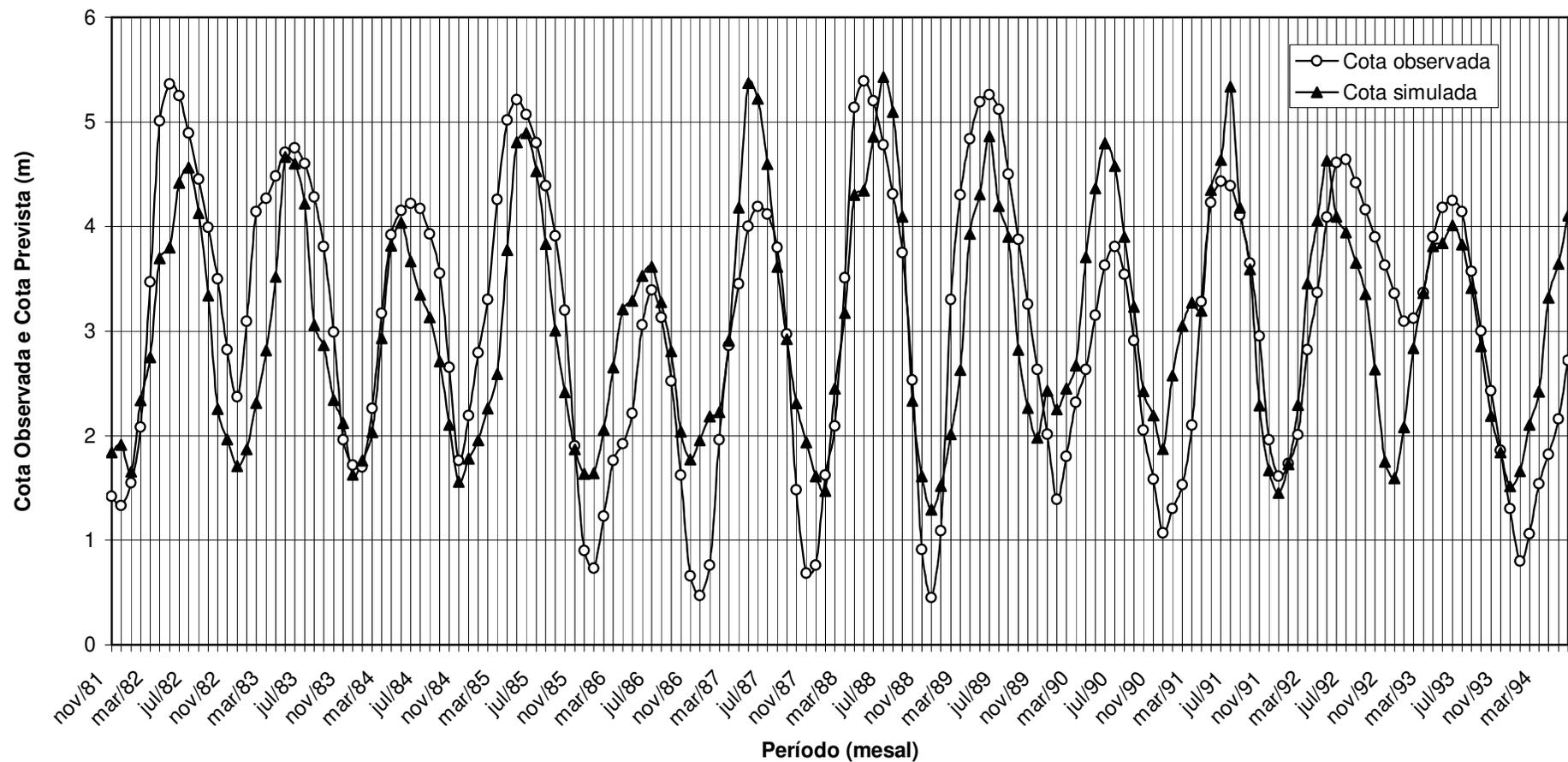


Figura 15 - Comparação de Cota Observada e Cota Simulada pelo Modelo no período de novembro/81 a maio/94 (estação fluviométrica de Forte Coimbra)

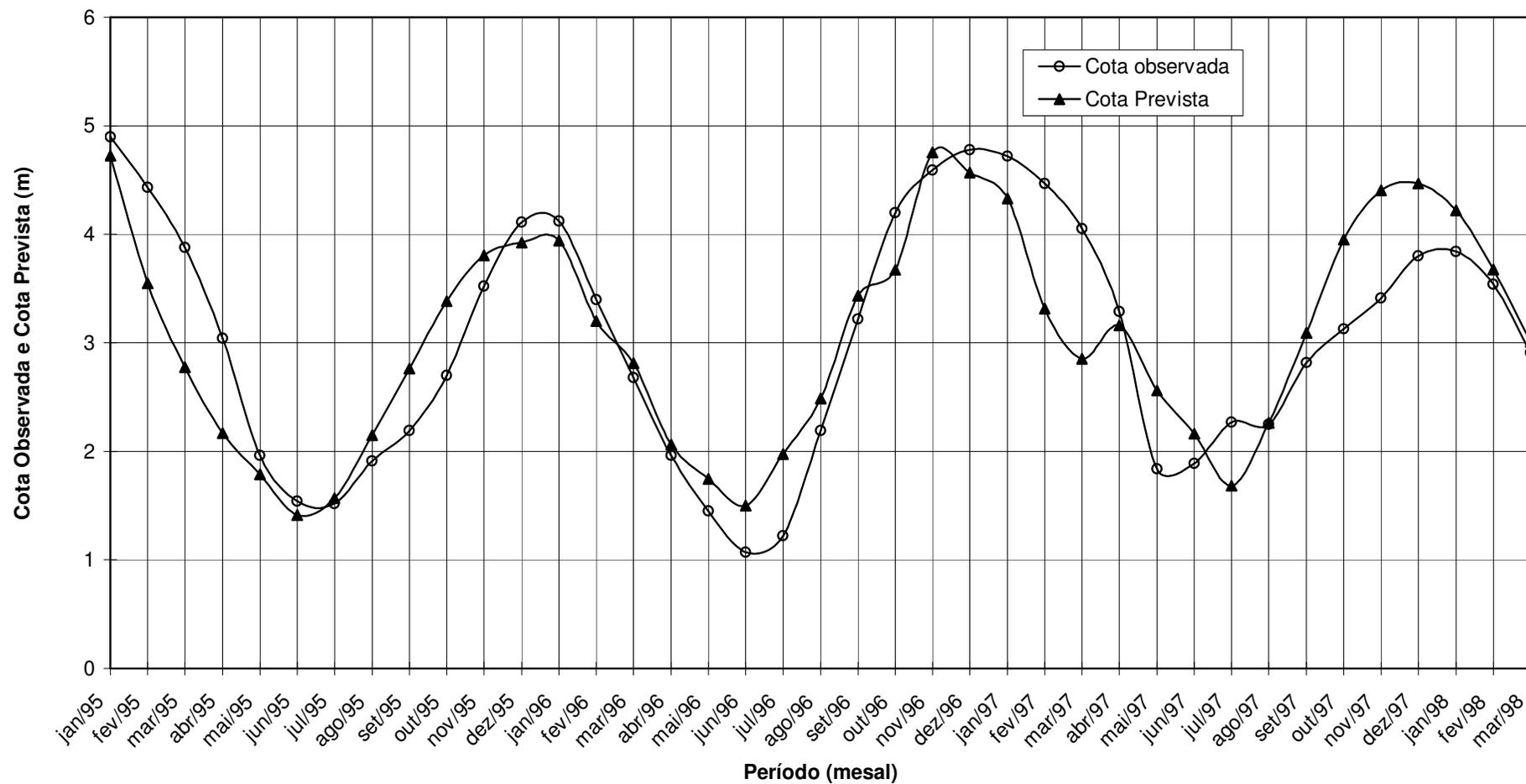


Figura 16 – Comparação de Cota Observada e Cota Prevista pelo Modelo no período de jan/95 a mar/98 (estação fluviométrica de Forte Coimbra)

5.2.5 Modelo de Porto Esperança

O modelo Porto Esperança apresentou um o valor r^2 de 0.7479 com SD de 0.7265 ($P < 0.001$). A média simulada dos erros absolutos comparados no modelo foi de 13.12%. Na Figura 17 representa a comparação das COTAS observada e simulada para o período de julho 1981 a dezembro de 1993. Foi possível diagnosticar que o modelo possibilitou a simulação total das ocorrências apresentando COTA máxima excluindo os anos 1982, 1985 e 1988 e COTA mínima. Mas não simulou a ocorrência de COTA mínimo em três anos: 1985, 1986 e 1987.

Os resultados apresentados na validação do modelo destacaram a média de erro absoluto calculado 23.39% (ver figura 18) na comparação das COTAS observada e prevista para o período de 1995 a 2000.

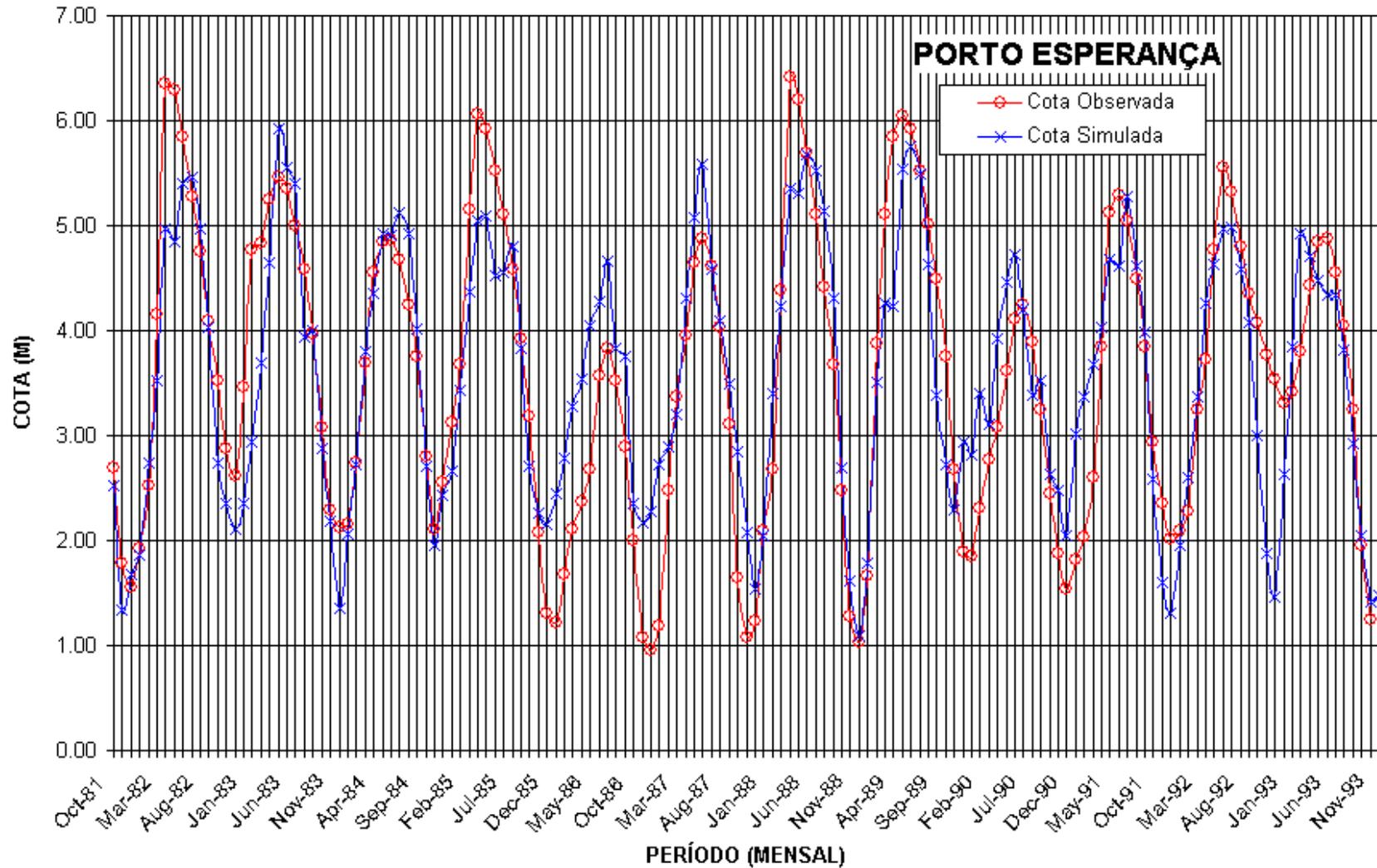


Figura 17 - Comparação de COTA observada e simulada no período de julho de 1981 a Dezembro de 1993 da sub-bacia de Porto Esperança.

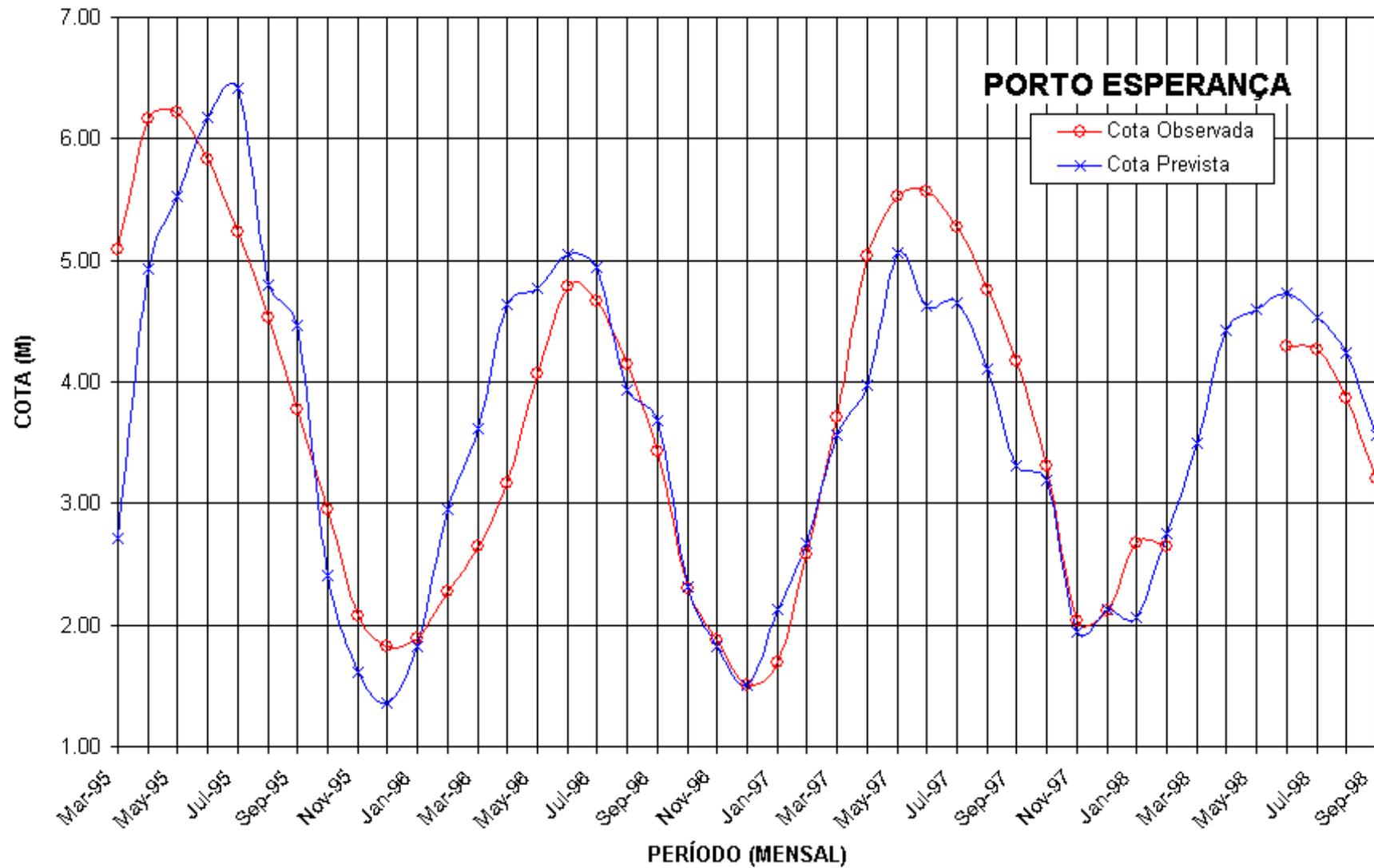


Figura 18 - Comparação de COTA observada e prevista no período de janeiro de 1995 a Dezembro de 2000 da sub-bacia de Porto Esperança.

5.2.6 Modelo de Porto Murtinho

Na construção do modelo de Porto Murtinho foram realizados muitos testes para selecionar parâmetros adequados da sub-bacia de Porto Murtinho, mas o coeficiente de regressão não alcançou 0.5, desta forma deduzimos que a região de Chaco Seca (Paraguai) poderia contribuir a COTA monitorada em Porto Murtinho, sendo assim, a BAP inteira apresentou calculo da média nos dados de NDVI e foi recalculado, usando o limite de BAP incluindo a região do Chaco Seco.

O modelo de Porto Murtinho apresentou o valor r^2 de 0.575 com SD de 1.084 ($P < 0.001$). A média simulada dos erros absolutos comparados no modelo foi de 23.78%. A Figura 19 apresenta a comparação das COTAS observada e simulada para o período de julho de 1981 a dezembro de 1993. Neste modelo foi observado que o modelo apresentou muito bem as simulações nas ocorrências e magnitudes de máxima excluindo os anos 1984, 1986, 1987, 1992 e 1994 e COTA mínima menos os anos de 1985, 1986, (1990 e 1993).

O resultado apresentado na validação do modelo foi observado com a média de erro absoluto calculado de 29.02. Na comparação de COTA observada e prevista para o período de 1995 a 2000. Foi possível estimar razoavelmente bem a COTA mínima, mas não predisse COTA máxima representada na Figura 20.

Na construção do modelo não foram utilizados dados de chuva dentro da região de Chaco Seco (Paraguai), sugerimos que um estudo adicional deva ser levado em conta para melhorar o modelo incluindo dados de chuva da região de Chaco Seco no Paraguai.

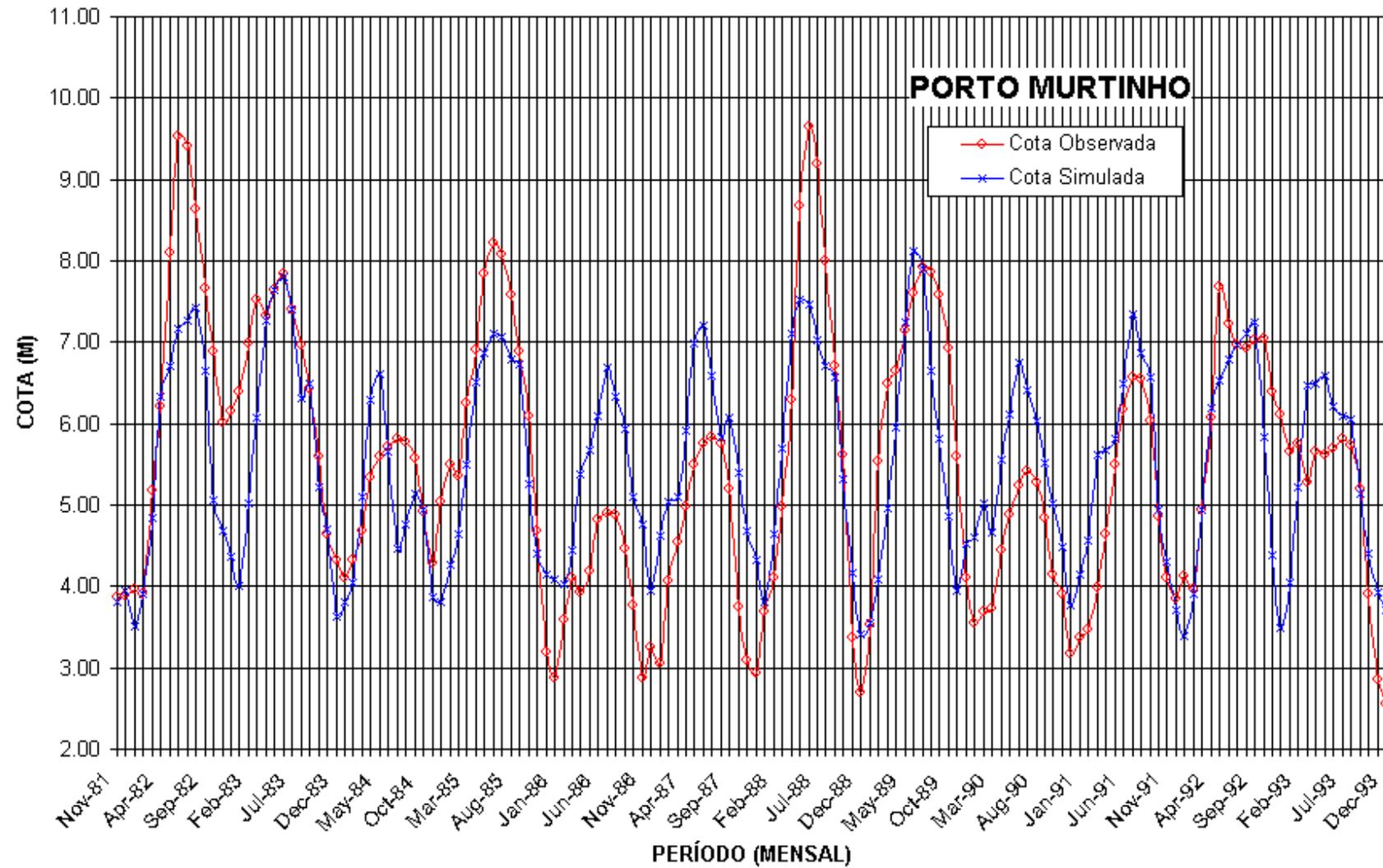


Figura 19 - Comparação de COTA observada e simulada no período de julho de 1981 a Dezembro de 1993 da sub-bacia de Porto Murtinho.

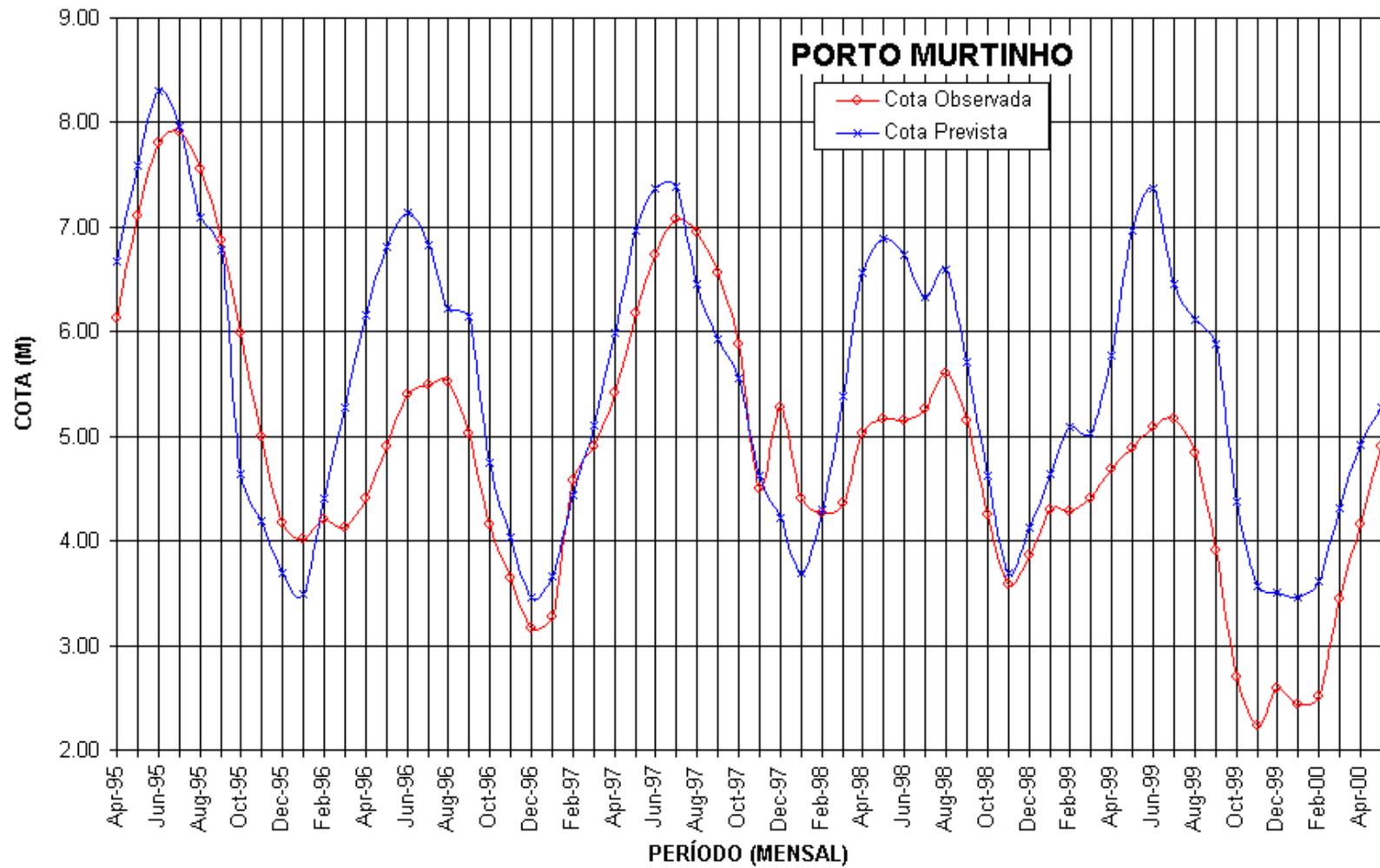


Figura 20 - Comparação de COTA observada e prevista no período de janeiro de 1995 a Dezembro de 2000 da sub-bacia de Porto Murtinho.

5.2.7 Comparação dos resultados dos modelos desenvolvidos.

A Tabela 13 mostra as equações, estatísticas de análise e as médias simulada e prevista de erro absoluto comparados pelo modelo. Desta forma foi possível avaliar que os modelos apresentaram bons resultados exceto o modelo de Cuiabá e os modelos do Porto Murtinho apresentaram os erros ligeiramente elevados na previsão causados por uma variável mais elevada do anuário de COTA. Em geral, menos a modelagem de Cuiabá e Porto Murtinho, apresentaram 4 modelos satisfatórios para predizer os fenômenos de cheia e seca da BAP. O resultado do modelo de Ladário, baseado em 4 sub-bacias com os dados de PCP, sendo muito semelhantes ao modelo de Ladário baseado somente em seis estações de chuva localizadas na parte do norte da BAP.

Não se opondo ao modelo de Ladário baseado em 4 sub-bacias os dados de PCP tinham previsto com melhor precisão calculada com a média de erro absoluto de 14.34% e quando analisado o modelo da bacia toda foi apresentando 16.85% a partir do modelo de Ladário baseado em 6 estações pluviométricas com dados de PCP, o modelo de São Francisco teve a melhor precisão na previsão com 7.67% de todos os seis modelos construídos. Os modelos de São Francisco e Ladário demonstraram que as contribuições diferenciais de água de chuva das sub-bacias superiores para COTA têm impacto significativo no nível de água monitorada pelo rio a um certo ponto que monitora a água de drenagem abaixo do fluxo da sub-bacia.

Tabela 13 – Equações, R², SD e erros absolutos de simulados e previsto dos oito modelos construídos.

MODELOS	EQUAÇÃO	R ²	SD	Média de Erro Absoluto	
				SIMULADO	PREVISTO
BAP	$COTA6=1.40172+1.9374NDVI3-0.32325NDVI4 +0.0009527PCP1+0.00491SPCP12$ ¹	0.757	0.424	16.80%	16.85%
CUIABÁ	$COTA4=-4.41776-0.00565PCP3+0.02334NDVI23+0.01535PCP1+0.00818PCP234$ ²	0.6005	1.258	59,25%	102.16%
CACÉRES	$COTA4=1.9353+0.00614NDVI3+0.00222PCP3+0.00237PCP123$ ³	0.8647	0.3588	7.68%	15.36%
SÃO FRANCISCO	$COTA7=3.29757+0.02031NDVI4+0.00282NDVI5-0.000269PCP1P1+0.00154PCP2P12-0.00111PCP3P3+0.00543PCP3P34$ ⁴	0.7468	0.5722	7.68%	7.67%
LADÁRIO	$COTA7=1.1388+0.01462NDVI4-0.004145B3P2-0.00125B4P2+0.00407B1P2+0.00288B2P123+0.00269B4P23$ ⁵	0.7581	0.6475	15.54%	14.34%
SUB-BACIA DO RIO TAQUARI	$COTA7=88.2031+60.6718*(SNDVI34)+0.49426*(SPCP12)+0.42883*(SPCP3)$ ⁶	0.6349	80.7435	31,71%	16,7%
PORTO ESPERANÇA	$COTA7=-0.30632+0.013729NDVI45+0.003039B2P2-0.003218B3P2-0.001301B4P2+0.002419B1P123$ ⁷	0.7479	0.7265	13.12%	23.39%
PORTO MURTINHO	$COTA7=2.35062+0.0063NDVI634+0.0031B1P567+0.00327B2P567-0.00441B3P567+0.00147B5P567-0.00143B6P56+0.00393B6P567+0.00347B4P7$ ⁸	0.5750	1.084	23.78%	29.02%

Equações aplicadas nos modelos de previsão de cheia via satélite para BAP e seis Sub-bacias.

¹ - COTA 6 = Nível de água de Rio de mês 6 (m);
 NDVI3 = NDVI do mês 3
 NDVI4 = NDVI do mês 4
 PCP1 = precipitação do mês 1(mm)
 SPCP12 = Soma de Precipitação dos meses 1 e 2 (mm)

² - COTA 4 = Nível de água de Rio de mês 4 (m);
 NDVI23= NDVI de meses 2 e 3;
 PCP1 = precipitação de mês 1 (mm);
 PCP3 = precipitação de mês 3 (mm);
 PCP234 = Soma de Precipitação de meses 2,3 e 4 (mm).

³ - COTA 4 = Nível de água de Rio de mês 4 (m);
 NDVI3 = NDVI de mês 3;
 PCP3 = precipitação de mês 3 (mm);
 PCP123 = Soma de Precipitação de mês 1, mês 2 e mês 3 (mm).

⁴ - COTA 7 = Nível de água de Rio de mês 7 (m);
 NDVI4 = NDVI de mês 4;
 NDVI5 = NDVI de mês 5;
 B1P1 = PCP de mês 1 de bacia de substituto Cuiabá;
 B2P12 = PCP de meses 1 e 2 de bacia de substituto Cáceres;
 B3P3 = PCP de mês 3 de bacia de substituto o São Francisco;
 B3P34 = PCP de meses 3 e de bacia de substituto o São Francisco.

⁵ - COTA 7 = Nível de água de Rio de mês 7 (m);
 NDVI4 = NDVI de mês 4;
 B3P2 = PCP de mês 2 de bacia de substituto o São Francisco;
 B4P2 = PCP de mês 2 de bacia de substituto Ladário;
 B1P2 = PCP de mês 2 de bacia de substituto Cuiabá;
 B2P123 = PCP de meses 1, 2 e 3 de bacia de substituto Cáceres;
 B4P23 = PCP de meses 2 e 3 de bacia de substituto Ladário.

⁶ - COTA 7 = Cota do mês 7(cm);
 SNDVI34 = Soma de NDVI dos meses de 3 e 4 (sem dimensão);
 SPCP12 = Soma de PCP dos meses de 1 e 2 (mm);
 SPCP3 = PCP do mês 3 (mm).

⁷ - COTA7 = Nível de água de Rio de mês 7 (m);
 NDVI45 = NDVI de meses 4 e 5;
 B2P2 = PCP de mês 2 de bacia de substituto Cáceres;
 B3P2 = PCP de mês 2 de bacia de substituto o São Francisco;
 B4P2 = PCP de mês 2 de bacia de substituto Ladário;
 B1P123 = PCP de meses 1, 2 e 3 de bacia de substituto Cuiabá;
 B5P123 = PCP de meses 1, 2 e 3 de bacia de substituto Porto Esperança.

⁸ - COTA 7 = Nível de água de Rio de mês 7 (m);
 NDVI634 = NDVI de meses 3 e 4 de UPRB inclusive Chaco Seco;
 B1P567 = PCP de meses 5, 6 e 7 de bacia de substituto Cuiabá;
 B2P567 = PCP de meses 5, 6 e 7 de bacia de substituto Cáceres;
 B3P567 = PCP de meses 5, 6 e 7 de bacia de substituto o São Francisco;
 B5P567 = PCP de meses 5, 6 e 7 de bacia de substituto Porto Esperança;
 B4P7 = PCP de mês 7 de bacia de substituto Ladário;
 B6P56 = PCP de meses 5 e 6 de bacia de substituto Porto Murinho;
 B6P567 = PCP de meses 5, 6 e 7 de bacia de substituto Porto Murinho.

CONCLUSÕES

Os modelos desenvolvidos podem ser aplicados para prever todas COTAS alta e baixa com 1 a 3 meses de antecedência e poderão ser úteis de diversas formas notadamente para o planejamento nas atividades como: turismo, pesca e pecuária na região do pantanal e planalto da BAP. As atividades necessitam de uma previsão do pico da cheia do rio Paraguai, com meses de antecedência sendo fundamental para o planejamento da movimentação dos rebanhos bovinos das áreas sujeitos a inundações para locais topograficamente mais elevados. Isso evita que seus animais fiquem ilhados, o que implica em redução de pastagens, em perda de peso e até mesmo na morte desses animais.

Para a região do Planalto da BAP os modelos servirão como suporte nas tomadas de decisões para redução da degradação do solo, que além das áreas afetadas por voçorocas, resultam no assoreamento dos rios da BAP. Com conseqüências na planície pantaneira. Isso esta sendo evidenciado pelos dados socioeconômicos e ambientais dos últimos 20 anos. Desta forma, poderá auxiliar no manejo de uso do solo e nas atividades econômicas da BAP.

Em se tratando de uma bacia transfronteiriça, a gestão da água assume também configuração estratégica peculiar, pois os problemas identificados requerem atuação do planejador em múltipla escala, partindo do manejo de sub-bacias, passando pelos sistemas estaduais de gestão hídrica e atingindo as gestões federais e internacionais da água, envolvendo Brasil, Bolívia e Paraguai.

Os modelos construídos são do tipo climáticos com base estatística são geralmente para prever os eventos de longo prazo de alguns meses. Portanto os erros de previsão abaixo de 20% são considerados satisfatórios. Os modelos dinâmicos de simulação hidrológica são métodos mais adequados para prever as inundações do Pantanal de curto prazo em uma escala operacional. Com aproximação estatística adequada para a

BAP, se caracterizam como ferramenta útil para prognosticar a COTA, prevendo inundações que danificam no período elevado de cheias, auxiliando no manejo e adequação das atividades econômicas, na compreensão dos processos e ciclos ecológicos e harmonização das atividades humanas na BAP.

REFERÊNCIAS

- ADAMOLI, J. *Diagnóstico do Pantanal – Características Ecológicas e Problemas Ambientais*, Artigo não publicado. 1992, Campo Grande, MS.
- ALLEY, W.M. *On the evapotranspiration, soil moisture accounting, and aquifer recharge in monthly water balance models*. *Wat. Resour. Res.*, 1984, 20:1137-1149
- BARRETT, E.C., *O projeto de tempestade: sentindo distante usando por monitorar melhorar e predição de chuva pesada em eventos relacionados*. *Revisões Sentindo distantes*, vol 14, 1996, 282 pp.
- BEASLEY, D. B. and HUGGINS, L. F. ANSWERS (*Areal Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation*) User's manual. U.S.EPA – 905/9-82-001, 1982, Chicago, ILL, 54 pp.
- BERRY, J. and SAILOR, J. *Use of geographic information system for storm runoff prediction for small urban watersheds*. *Envir. Mgmt.* 11:21-27
- CARLOS. A. B. M. & CIRILO, J. A. *Geoprocessamento em Recursos Hídricos, Princípios, Integração e Aplicação*. 2001, 533 p.
- DRAYTON, R. S. , WILDE, B.M. and HARRIS, J. H. K. *Geographical information system approach to distributed modeling*. *Hydrological processes*, 1992, 6:361-368
- EIDENSHINK, J. C. and FAUNDEEN, J. L. *The 1-km AVHRR global land data set: first stages in implementation*. *International Journal of Remote Sensing*. 1997, 51:39-56.
- GALDINO, S. and Clarke, R. T. *Probabilidade de ocorrência de cheia no Rio Paraguai, em Ladário. MS – Pantanal*. 1997. *Circulação Técnica* N° 23, EMBRAPA-CPAP, Corumbá, MS. 58p.
- GORDON, H. R., Brown, J. W. and Evans, R. H. *Exact Rayleigh scattering calculations for use with the Nimbus-7 coastal zone color scanner*. *Applied Optics*, 1988, 27:2111-2122.
- HAMILTON S. K., SIPPEL, S. J. and MELACK, J. M. *Inundation patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive microwave remote sensing*. *Arch. Hydrobiol.* 1996, 137: 1-23.
- JUÁREZ, R. N. and LIU, W. T. *"NDVI FFT analysis of spatial climatic variation in northeast Brazil"*. *International Journal of Climatology*, 2001. V21 (14): 1803-1820.
- KIDWELL, K. B. *NOAA Polar Orbiter Data Users Guide. Satellite Data Service Division, NESDIS/NOAA*, 1995, Washington D.C., USA. 435p.
- LIU, W. T. H. e TUCKER, C. J. *Derivation of land surfaces variabilities using AVHRR Vegetation Index for the São Paulo State*. *Anais do VI Congresso Brasileiro de Meteorologia*. v.1. [S.l.]: [s.n.], 1990.

- LIU, W. T. and JUAREZ, R. N. *ENSO drought Prediction of Northeast Brazil Using NDVI. International Journal of Remote Sensing*, 2001, V22 (17): 3483-3501
- LIU, W. T. H. and JUAREZ, R. J. N. *ENSO drought onset prediction in northeast Brazil using NDVI. Inst. J. Remote Sensing*, 2001, Vol.22, n.17, 3483-501. [S.l.]: [s.n.], 1999.
- LIU, W. T. H. and KOGAN, F. *Monitoring regional drought using vegetation condition index. Int. Journal of Remote Sensing*, 1996, 17:2761-2782
- LIU, W. T. H. *Aplicações de Sensoriamento remoto*, Não Publicado, 2003, v. I e II. Campo Grande-MS: UCDB.
- LIU, W. T. H. BOTNER, D. M. and SAKAMOTO, C. M. *Application of Ceres-maize model to yield prediction of a Brazilian-maize Hybrid. Agric. For. Meteorol.* 45:299-312. [S.l.]: [s.n.], 1989.
- LIU, W. T. H. MASSAMBANI O. and NOBRE C. *Satellite Vegetation response to drought in Brazil - Int. Journal Climatologic*, 1994, 14:343-354.
- LIU, W. T; COSTA, M. G; e NOMOTO, R. *Comparação de três modelos de estimativa da produtividade de milho na região de Ribeirão Preto-SP. Anais de VII Congresso do Brasil em Meteorologia*, 1992, 2:553-557. Ribeirão Preto-SP: [s.n.].
- LIU, W. T; AYRES, F. M; SALLES, A T. and PADOVANI, C. *Alto Paraguay river water level prediction using NOAA AVHRR NDVI. 1º International Symposium*, Recent Advances In Quantitative Remote Sensing. 2002, 36p.
- M. S. Secretária de Estado de Meio Ambiente Fundação de Estado de Meio Ambiente Pantanal. *Relatório de Qualidade das Águas Superficiais da Bacia do Alto Paraguai 1997-1998*.
- MATO GROSSO DO SUL. SEPLAN/MS. *Macrozoneamento Geoambiental de MS7. Cooperação Técnica - Científica IBGE/Estado de MS*. 1989, Campo Grande, MS: IBGE/Estado de MS.
- MENDES, C. A. B. *Modelling of pollutant distribution in surface runoff in ungauged catchments using geographical information systems*. Doctor of Philosophy (Ph.D.). University OF Bristol, 1994.
- MENDES, C. A. B. *Modelos numéricos do terreno e suas aplicações a recursos*. 1995
- MENDES, C. A. B. *Aplicação de Técnicas de Sensoriamento Remoto na Região Estuarina da Laguna dos Patos*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas-UFRGS, 1990.
- MENDES, C.A.B *Integração dos Modelos Hidrológicos e Sistemas de Informações Geográficas: Fundamentos*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 1996, 1(1):48-66
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *O Estado das Águas no Brasil*. 1999, Brasília, 333p
- MITTERMEIER, R. A; FONSECA G. A. B; RYLANDS A. B. and MITTERMEIERER, C. G. *In Megadiversity*. CEMEX, 1997, Brasil
- MMA/BM/PNUD. *Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) – PCBAP*. 3 volumes, 8 tomos e anexos como mapas, 1997, Brasília – DF.

PANUSKA, J. C.; MOORE, I. D.; and KRAMER, L. A. *Terrain analysis: integration into the agricultural nonpoint source pollution (AGNPS) model*, J. Soil and Water Conservation, 1991, 46:59-64.

RAO, C. R. N. and CHEN, J. *Inter-satellite calibration linkages for the visible and near-infrared channels of the Advanced Very High Resolution Radiometer on the NOAA-7, -9, and -11 spacecrafts*. **International Journal of Remote Sensing**. 1995, 16, 1931-1942.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. *Plano Nacional de Recursos Hídricos – documento Base de Referência (CD) – minuta apresentada ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos*, 2002.

YOUNG, R. A.; ONSTAD, C.A.; BOSCH, D. D.; and ANDERSON, W. P. *A AGNPS, a non-point source pollution model for evaluating agricultural watersheds*. J. Soil and Water Conservation, 1989, 44:168-173.