

**Magnitude e Data do Nível Mínimo Anual do Rio Paraguai em Ladário com base no MODELAD**





Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ISSN 1981-7215  
Junho, 2009

## **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 85**

### **Magnitude e Data do Nível Mínimo Anual do Rio Paraguai em Ladário com base no MODELAD**

Ivan Bergier

Corumbá  
2009

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Pantanal**

Rua 21 de Setembro, 1880, CEP 79320-900, Corumbá, MS

Caixa Postal 109

Fone: (67) 3234-5800

Fax: (67) 3234-5815

Home page: [www.cpap.embrapa.br](http://www.cpap.embrapa.br)

Email: [sac@cpap.embrapa.br](mailto:sac@cpap.embrapa.br)

**Comitê de Publicações:**

Presidente: *Thierry Ribeiro Tomich*

Secretária-Executiva: *Suzana Maria de Salis*

Membros: *Débora Fernandes Calheiros, Marçal Henrique Amici Jorge, e  
Jorge Antônio Ferreira de Lara*

Secretária: *Regina Célia Rachel dos Santos*

Supervisora editorial: *Suzana Maria de Salis*

Normalização bibliográfica: *Viviane de Oliveira Solano*

Tratamento de ilustrações: *Regina Célia Rachel dos Santos*

Foto da capa: "Procissão de embarcações pelo Rio Paraguai no dia da tradicional Festa de São Pedro, 29 de Junho de 2008" - *Ivan Bergier*

Editoração eletrônica: *Regina Célia R. dos Santos*

**1ª edição**

Versão online (2009)

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP  
Embrapa Pantanal

---

Bergier, Ivan

Magnitude e Data do Nível Mínimo Anual do Rio Paraguai em Ladário com base no MODELAD [recurso eletrônico] / Ivan Bergier. - Dados eletrônicos. - Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009.

12 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/ Embrapa Pantanal, ISSN 1981-7215; 85).

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: [http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/download.php?arq\\_pdf=BP85](http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/download.php?arq_pdf=BP85)

Título da página da Web (acesso em 01 de jun 2009)

1. Hidrologia. 2. Modelo de previsão hidrológico I. Título. II. Série

CDD 551.48 (21. ed.)

# Sumário

Resumo .....	5
Abstract .....	6
Introdução .....	7
Material e Métodos.....	8
Resultados e Discussão .....	9
Conclusões.....	11
Referências .....	12

# Magnitude e Data do Nível Mínimo Anual do Rio Paraguai em Ladário com base no MODELAD

---

*Ivan Bergier*<sup>1</sup>

## Resumo

O nível do Rio Paraguai constitui excelente indicador das condições hidrológicas do Pantanal. O presente Boletim de Pesquisa tem por objetivo apresentar a aplicação dos conceitos do MODELAD (Modelo para previsão do nível do Rio Paraguai em Ladário, MS) para também projetar a data e a magnitude do nível mínimo anual. Os melhores resultados do MODELAD aplicado ao nível mínimo apresentam erro médio da magnitude de  $\pm 22$  cm para previsões realizadas em outubro e erro médio da data de ocorrência de  $\pm 12$  dias para previsões realizadas em agosto.

Termos de indexação: modelo de previsão, hidrologia, áreas úmidas, Pantanal.

---

<sup>1</sup> Pesquisador, Biólogo, Dr., Embrapa Pantanal, CP 109, 79320-900, Corumbá, MS, [ivan@cpap.embrapa.br](mailto:ivan@cpap.embrapa.br)

# ***Magnitude and Date of the Annual Minimum Level of the Paraguay River at Ladário based on MODELAD***

---

## ***Abstract***

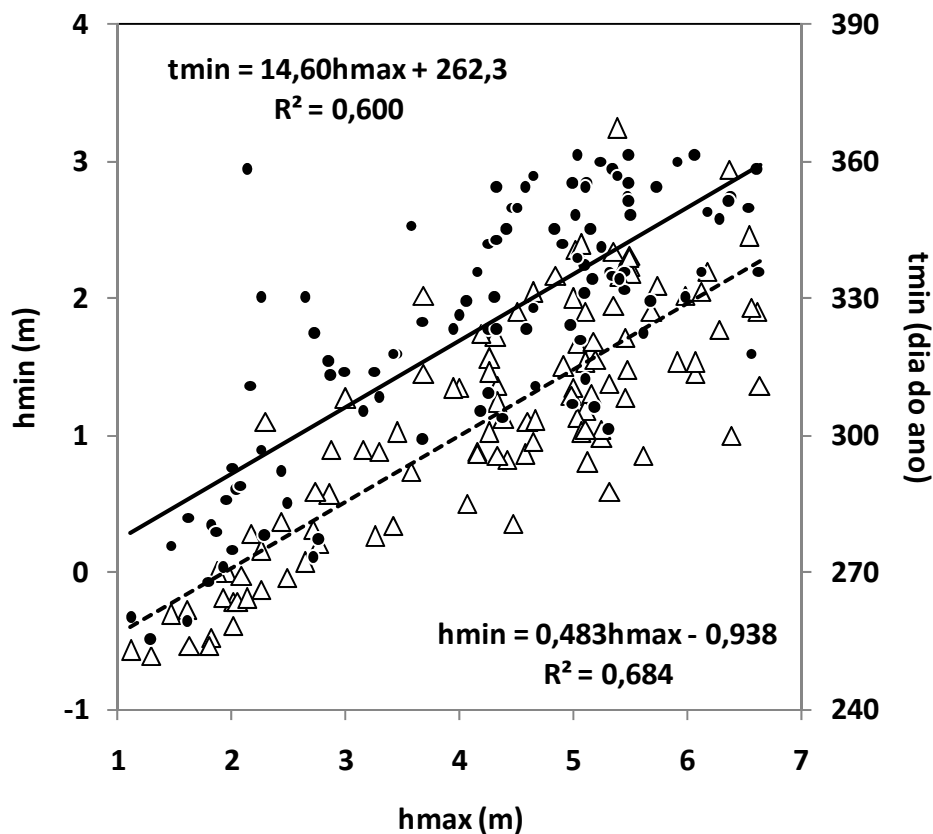
*The water level of the Paraguay River constitutes an excellent indicator of the hydrological conditions of the Pantanal. This Research Bulletin has the purpose to present the application of the MODELAD (Model to forecast the level of the Paraguay River at Ladário, MS) also to project date and magnitude of the minimum annual river level. The best results of MODELAD applied to the minimum level show a mean magnitude error of  $\pm 22$  cm for predictions made on October and mean date error of  $\pm 12$  days for predictions made on August.*

*Index terms: forecast model, hydrology, wetlands, Pantanal.*

## Introdução

O Rio Paraguai define o que se pode chamar de “espinha dorsal” do Pantanal. Boa parte da água de chuva captada na Bacia do Alto Paraguai, especialmente em suas cabeceiras, é, em última análise, direcionada por gravidade à planície inundável rumo a Porto Murinho e, por fim, para a Bacia do Prata. Devido a oscilações estocásticas interanuais no balanço hídrico (entradas menos saídas de água na bacia hidrográfica) induzidas por forçantes climáticas globais e regionais, os níveis anuais máximo ( $h_{max}$ ) e mínimo ( $h_{min}$ ) do rio em Ladário são bastante variáveis (Galdino e Clarke, 1995, 1997; Galdino, 2001). Desde 1900 a Marinha do Brasil registra diariamente os níveis do rio Paraguai em Ladário, MS. Essa base de dados é a mais antiga e completa e tem auxiliado sobremaneira na compreensão da dinâmica hidrológica do Pantanal.

Entre os anos de 1900 e 2006, a diferença média  $\langle h_{max} - h_{min} \rangle$  ou a amplitude média do pulso anual de inundação foi de  $3,13 \pm 0,90$  metros, com coeficiente de variação igual a 29%. Portanto, a capacidade de previsão da magnitude do nível mínimo a partir do nível máximo do mesmo ano não será superior a 71%. Algo similar pode ser estabelecido em relação a projeção da data de ocorrência do nível mínimo ( $t_{min}$ , em dia do ano) em função do nível máximo  $h_{max}$  (Figura 1), mas não em função da data de ocorrência do nível máximo do rio ou  $t_{max}$  ( $R^2 = 0,001$ ). Projeções de  $h_{min}$  e  $t_{min}$  a partir de equações de primeira ordem com  $h_{max}$  como variável independente apresentam incertezas da ordem de 32 e 40 %, respectivamente (Figura 1).



**Figura 1.** Projeção linear do nível mínimo anual ( $h_{min}$ ,  $\Delta$ , ajuste linear em linha tracejada) e data de ocorrência do nível mínimo anual ( $t_{min}$ ,  $\bullet$ , ajuste linear em linha contínua) do Rio Paraguai em Ladário-MS entre 1900 e 2006 ( $n = 107$ ) em função do nível máximo anual  $h_{max}$ .

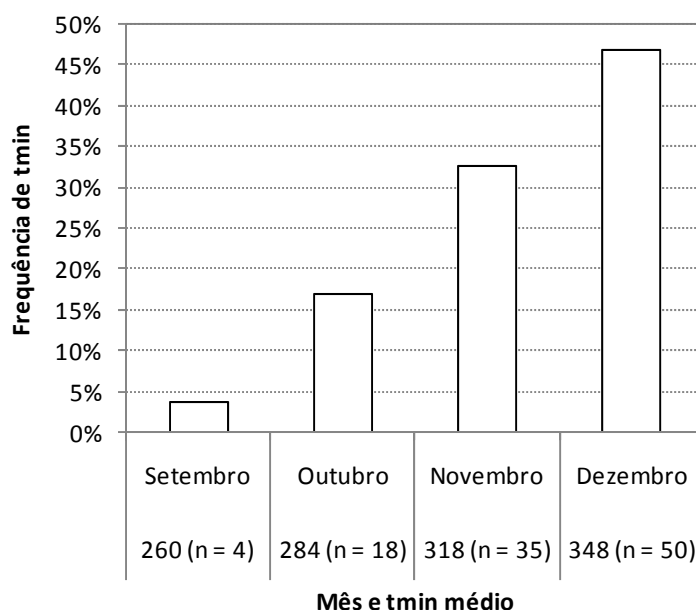
O esforço em expandir os conceitos do MODELAD para data e magnitude do nível mínimo anual é importante na medida em que pode aumentar a previsibilidade da navegação turística e cultural, do transporte de cargas, da captação de água para o abastecimento humano, bem como indicar condições favoráveis ou adversas no que diz respeito à disponibilidade hídrica na planície de inundação do Rio Paraguai na fase de vazante do pulso de inundação.

A capacidade em prever a data e a magnitude do nível mínimo pode ser substancialmente otimizada também fundamentando-se na persistência (mudança lenta e gradual ou baixa volatilidade) do nível do rio (valores de  $h(t)$  no último dia de cada mês) na escala de observação de poucos meses (Bergier, 2008). A partir dessa abordagem, demonstra-se que a incerteza do modelo linear é substancialmente reduzida usando-se o valor da altura  $h$  do nível do rio no tempo  $t$ , isto é, usa-se  $h(t)$  ao invés de  $h_{max}$  na projeção de  $h_{min}$ . O presente Boletim de Pesquisa busca otimizar a capacidade de previsão do MODELAD (Bergier, 2008), incluindo a prospecção de cenários plausíveis do nível mínimo anual. Com isso, o MODELAD pode ser usado para a cenarização de ambos extremos (máximo e mínimo) em um mesmo ano.

## Materiais e Métodos

Os dados diários de nível do Rio Paraguai são obtidos junto a Capitania Fluvial do Pantanal, através do 6º Distrito Naval da Marinha em Ladário. Os dados históricos do nível do Rio Paraguai obtidos pela Marinha do Brasil podem ser acessados pelo HIDROWEB na página da Agência Nacional de Águas ([www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)). Dados atualizados diariamente podem ser acessados na página da Capitania Fluvial do Pantanal, do Serviço de Sinalização Náutica do 6º Distrito Naval da Marinha do Brasil ([www.mar.mil.br/ssn-6](http://www.mar.mil.br/ssn-6)).

A técnica de análise da série temporal é similar àquela aplicada ao MODELAD, excetuando-se o emprego da taxa de variação ( $dh/dt$ ), a qual mostrou-se pouco eficiente em termos preditivos para o nível máximo (Bergier, 2008) e para o nível mínimo (dados não apresentados). A Figura 1 ilustra um modelo simples da relação entre os níveis máximo e mínimo em um mesmo ano. Note, entretanto, que a premissa inversa não é válida, tendo em vista que o nível mínimo em um dado ano não possui relação plausível com o nível máximo do ano subsequente ( $R^2 = 0,267$ ). Isto porque  $h_{max}$  é determinado pela quantidade de chuva captada na bacia hidrográfica ao longo do período chuvoso. Por sua vez,  $h_{min}$  depende, em parte, das chuvas (por isso há relação com  $h_{max}$  do mesmo ano), e, em boa parte, da evaporação e evapotranspiração na planície de inundação no período seco. As perdas de água na planície, incluindo também os escoamentos superficial e subterrâneo, definem, portanto, o estado do nível do rio  $h(t) \rightarrow h_{min}$  no período de estiagem.



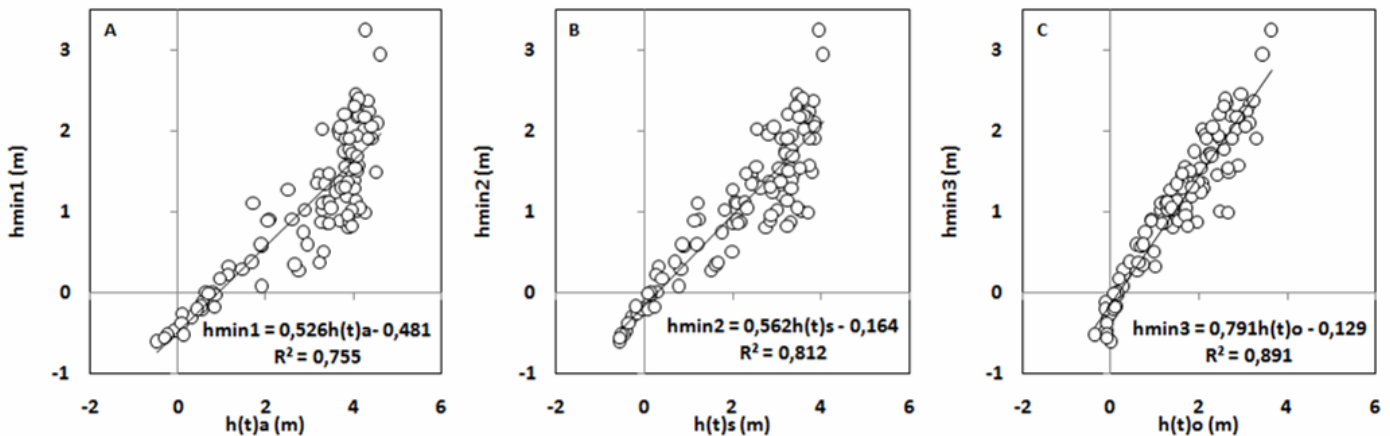
**Figura 2.** Frequência mensal da ocorrência do nível mínimo ( $t_{min}$ ) do Rio Paraguai em Ladário entre 1900-2006 ( $N = 107$ ). Valores médios de  $t_{min}$  e  $n$  (número de eventos mínimos ocorridos no mês) são apresentados para cada um dos meses de ocorrência de  $h_{min}$ .

Nesse sentido, dadas as mudanças suaves e persistentes em  $h(t)$ , é possível estimar  $h_{min}$  tendo como variáveis independentes  $h(t)$  agosto  $>$   $h(t)$  setembro  $>$   $h(t)$  outubro  $\rightarrow h_{min}$ . Os meses de  $h(t)$  foram definidos a partir da análise do histograma de frequência mensal de  $t_{min}$  ao longo do período 1900-2006 (Figura 2). Calculou-se os valores anuais aproximados de  $t_{min}$  na série histórica por meio de  $t_{min} = 30(m - 1) + d$ , onde  $m = [1, 2, 3, \dots, 12]$  meses e  $d = [1, 2, 3, \dots, 31]$  dias (Bergier, 2008). Valores médios de  $t_{min}$  são apresentados na Figura 2 para cada

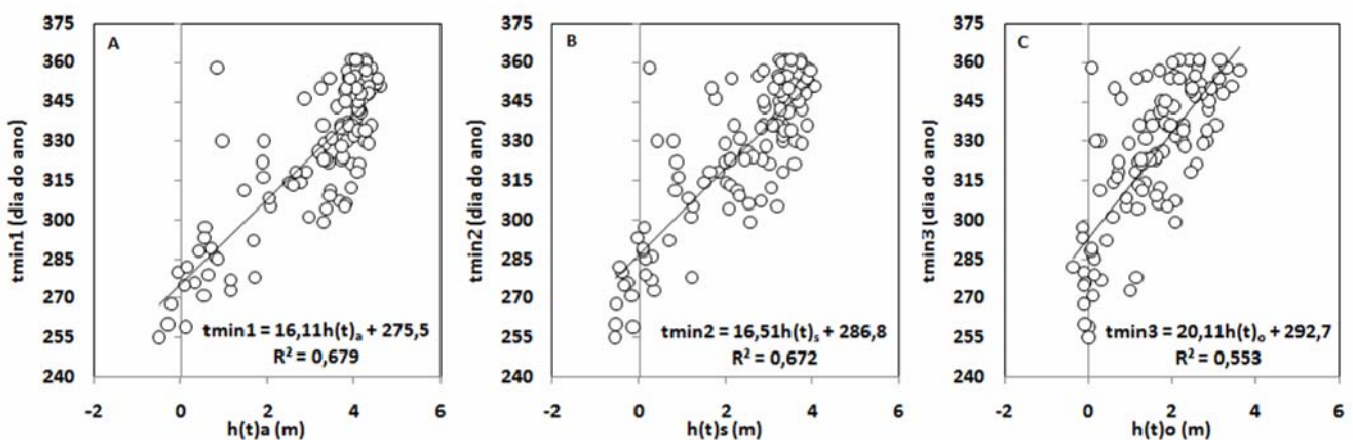


um dos meses de ocorrência de hmin. O nível mínimo ocorreu entre os meses de novembro e dezembro em quase 80% dos casos.

A Figura 3 apresenta as análises lineares de regressão em diagramas para a estimação do nível mínimo, hmin, em função de h(t) em agosto, setembro ou outubro. As respectivas equações (modelos lineares) e coeficientes de determinação R<sup>2</sup> são apresentados para cada um dos três meses avaliados. Exatamente a mesma análise é apresentada para a determinação da data de ocorrência, tmin, na Figura 4.



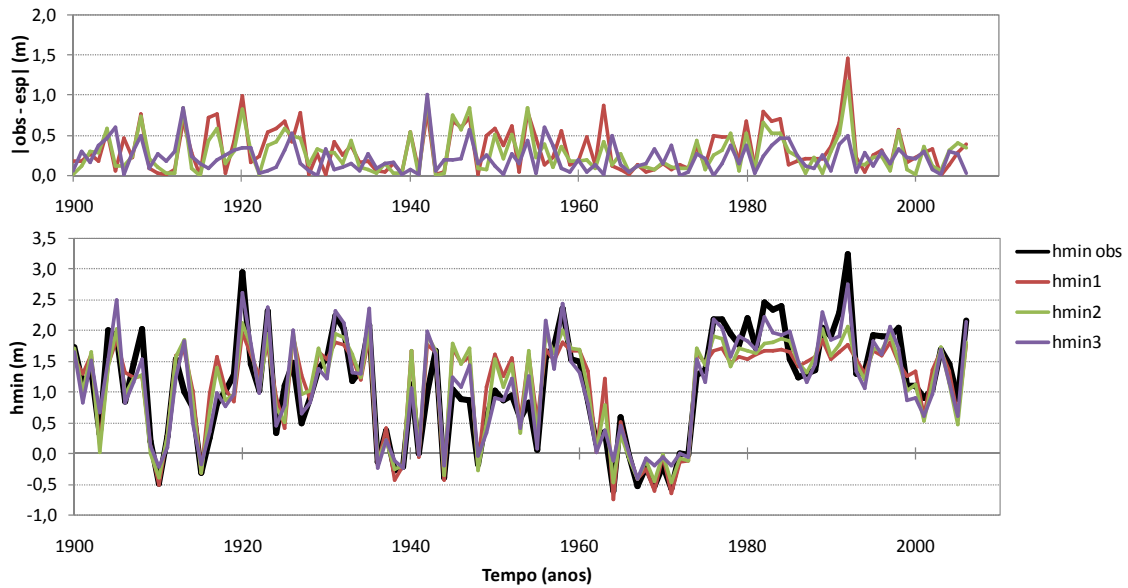
**Figura 3.** Análises lineares de regressão entre o nível mínimo hmin e ht em agosto (A, hmin1 x h(t)a), setembro (B, hmin2 x h(t)s) e outubro (C, hmin3 x h(t)o), entre 1900-2006 (N = 107).



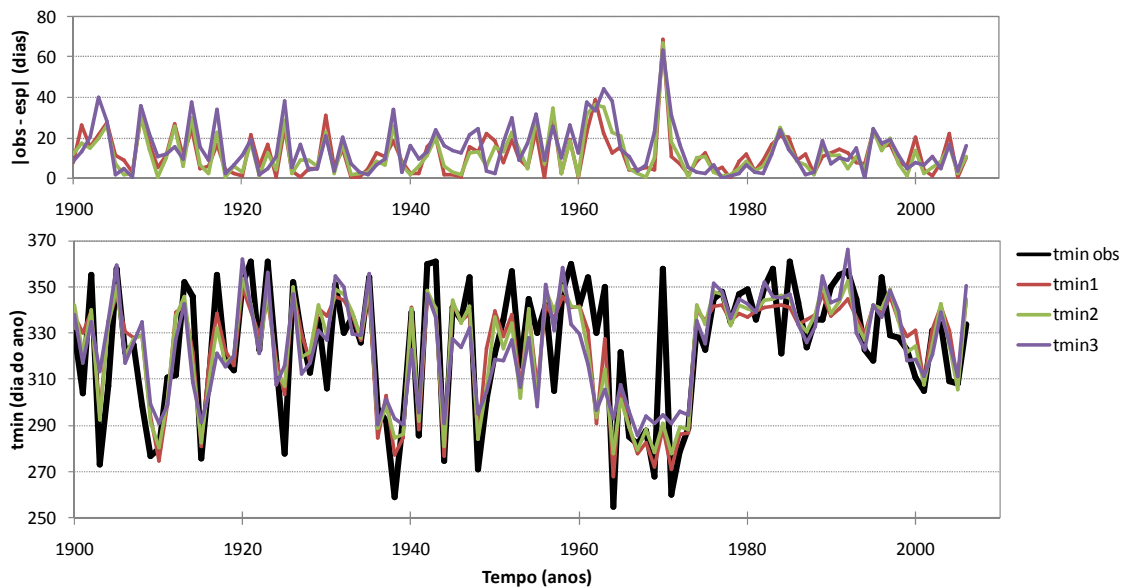
**Figura 4.** Análises lineares de regressão entre o dia de ocorrência do nível mínimo tmin e ht em agosto (A, tmin1 x h(t)a), setembro (B, tmin2 x h(t)s) e outubro (C, tmin3 x h(t)o), entre 1900-2006 (N = 107).

## Resultados e Discussão

Note que as estimativas de hmin em função de h(t) (Figura 3) reduzem significativamente a incerteza da estimativa de hmin a partir de hmax (Figura 1). O nível mínimo hmin é melhor estimado para h(t) em outubro (Figura 3C), tendo também em vista também que 96% dos casos de nível mínimo ocorreram em outubro, novembro e dezembro (Figura 2). Em relação à data de ocorrência do nível mínimo, a previsão do nível mínimo é melhor realizada com o modelo das Figuras 4A ou 4C, isto é, com base em informação do nível do rio no fim de agosto ou setembro, respectivamente. A Figura 5 apresenta a avaliação temporal dos modelos baseados em h(t). As médias dos módulos dos erros |observado-esperado| são respectivamente 0,32, 0,28 e 0,22 metros para hmin1, hmin2 e hmin3.



**Figura 5.** Avaliação temporal (1900-2006) da performance dos modelos lineares de previsão de  $h_{min}$  em função de  $h(t)$  em agosto ( $h_{min1}$  em vermelho), setembro ( $h_{min2}$ , em verde) e outubro ( $h_{min3}$ , em roxo). Valores observados ( $h_{min-obs}$ ) pela Marinha do Brasil são representados em preto. O gráfico acima refere-se ao módulo (valores absolutos) da diferença entre valores observados pela Marinha e esperados do MODELAD ( $|obs-esp|$ ) para cada um dos meses avaliados. As alturas do nível mínimo do Rio Paraguai são dadas em metros.



**Figura 6.** Avaliação temporal (1900-2006) da performance dos modelos lineares de previsão de  $t_{min}$  em função de  $h(t)$  em agosto ( $t_{min1}$  em vermelho), setembro ( $t_{min2}$ , em verde) e outubro ( $t_{min3}$ , em roxo). Valores observados ( $t_{min-obs}$ ) pela Marinha do Brasil são representados em preto. O gráfico acima refere-se ao módulo (valores absolutos) da diferença entre valores observados pela Marinha e esperados do MODELAD ( $|obs-esp|$ ) para cada um dos meses avaliados. As datas do nível mínimo do Rio Paraguai são dadas em dias a partir de 1º de janeiro.

A mesma análise para a data de ocorrência do nível mínimo ou  $t_{min}$  evidencia que os erros médios são respectivamente 11,8, 11,7 e 14,2 dias para  $t_{min1}$ ,  $t_{min2}$  e  $t_{min3}$  (Figura 6). De modo geral, a capacidade de previsão de  $t_{min}$  em função de  $h_{max}$  (Figura 1) foi bem razoável ( $R^2 = 0,600$ ) se comparada à capacidade de previsão de  $t_{min}$  a partir de  $h(t)$  (Figura 4). No entanto, as projeções da data de ocorrência do nível mínimo  $t_{min}$  são mais acertivas quando realizadas com maior antecedência, através de  $h_{max}$  ou de  $h(t)$  de agosto ( $t_{min1}$ ) (Figuras 1, 4 e 6). Note que em 1970 o módulo da diferença de  $t_{min}$  entre os valores esperados e o valor observado foi muito superior em comparação com os demais anos (maior pico). Naquele ano, na realidade, houve dois picos de nível mínimo e no modelo foi incluído apenas o menor deles que ocorreu em dezembro.

A altura mínima ( $h_{min}$ ) e a data de ocorrência ( $t_{min}$ ) do nível mínimo anual do Rio Paraguai em Ladário-MS podem ser projetadas pelo MODELAD com a devida antecedência através de relações lineares a partir da altura máxima ( $h_{max}$ ) e/ou da altura do nível do rio no tempo  $t$  ( $h(t)$ ). De modo geral,  $h_{min}$  é melhor estimado a partir de  $h(t)$  em outubro ( $h_{min3}$ ) e  $t_{min}$  é melhor estimado a partir de  $h(t)$  em agosto ( $t_{min1}$ ). Nesses casos, os erros do MODELAD nas estimativas de  $h_{min}$  e  $t_{min}$  são respectivamente  $\pm 22$  cm e  $\pm 12$  dias, ou seja, da mesma ordem de magnitude dos erros do MODELAD para estimar  $h_{max}$  e  $t_{max}$  em função de  $h(t)$  em março. Desse modo, a complementação atual do MODELAD permite a cenarização (dentro dos limiares de erro) dos extremos anuais máximos (cheia) e mínimos (vazante) do nível do Rio Paraguai a partir do mês de março do ano vigente.

## Conclusões

O MODELAD é uma ferramenta para elaboração de cenários prováveis através de projeções antecipadas da magnitude e da data de ocorrência de níveis máximos e mínimos anuais no Rio Paraguai. Projeções com menor grau de incerteza podem ser feitas pelo MODELAD associado ao acompanhamento diário do nível do rio, permitindo tomadas de decisões em tempo hábil. Os erros do MODELAD nas estimativas de  $h_{min}$  e  $t_{min}$  são respectivamente  $\pm 22$  cm e  $\pm 12$  dias.

O MODELAD (máximo e mínimo) pode ser livremente distribuído e utilizado. Pela sua simplicidade, o método pode ser facilmente replicado em outros rios que apresentem pelo menos 30 anos de dados históricos (para as análises de regressão) e baixa volatilidade do nível de água em escalas diárias.

## Agradecimentos

Aos colegas Agostinho Carlos Catella, Débora Fernandes Calheiros e Márcia Divina de Oliveira pelas contribuições e à Marinha do Brasil pela manutenção e atualização das informações das condições hidrológicas dos rios do Pantanal. O autor agradece também à Suzana Maria Salis, Regina Célia dos Santos e Viviane de Oliveira Solano pela colaboração editorial.

## Referências

BERGIER, I. **MODELAD: magnitude e data de ocorrência do nível máximo anual do Rio Paraguai em Ladário.** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2008. 15 p. (Embrapa Pantanal, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 79).

GALDINO, S.; CLARKE, R. T. **Levantamento e estatística descritiva dos níveis hidrométricos do rio Paraguai em Ladário, MS – Pantanal: período 1900-1994.** Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1995. 70p. (EMBRAPA-CPAP. Documentos, 14).

GALDINO, S.; CLARKE, R. T. **Probabilidade de ocorrência de cheia no rio Paraguai, em Ladário, MS - Pantanal.** Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1997. 58p. (EMBRAPA-CPAP. Circular Técnica, 23).

GALDINO, S. **Método probabilístico de previsão do nível mínimo no rio Paraguai, em Ladário, MS - Pantanal.** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2001. 42p. (Embrapa Pantanal. Circular Técnica, 28).