

## **XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE**

### **AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO SISTEMA DE ALERTA DE EVENTOS CRÍTICOS DO RIO PARNAÍBA NO PERÍODO CHUVOSO DE 2018.**

*Roberto José Amorim Rufino Fernandes<sup>1</sup>; Claudio Damasceno de Souza<sup>1</sup>; Jean Ricardo da Silva do Nascimento<sup>1</sup>; Josélia de Carvalho Leão<sup>2</sup>*

**RESUMO** – O Sistema de Alerta de Eventos Críticos do Rio Parnaíba – SACE/Parnaíba foi idealizado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, como um instrumento de salvaguarda social, buscando a minimização dos prejuízos decorrentes das grandes cheias ribeirinhas dos principais rios que compõe a bacia do rio Parnaíba, a partir da previsão do comportamento futuro dos cursos d’água tenho por base a informação obtida em uma série de estações hidrometeorológicas automáticas operada em parceria com a Agência Nacional de Águas - ANA. Passando por um prolongado período de estiagem desde 2010, foram verificadas neste ano de 2018 inundações em algumas cidades localizadas no norte do estado do Piauí devido ao transbordamento do rio Parnaíba. Tendo em vista ter sido esse o primeiro evento de cheia desde o inicio da operação do SACE/Parnaíba, em dezembro de 2015, busca-se, neste trabalho, realizar a avaliação de desempenho do sistema quanto às previsões realizadas para a variação do nível do rio Parnaíba em três seções de interesse: Barão de Grajaú; Teresina; e Luzilândia. De forma geral, os modelos adotados conseguiram prever adequadamente os níveis, demonstrando a importância do sistema para as ações dos órgãos de salvaguarda como as secretaria de Defesa Civil e o Corpo de Bombeiros.

**ABSTRACT**– The Critical Events Alert System of the Parnaíba River - SACE/Parnaíba was conceived by the Geological Service of Brazil - CPRM, as a social safeguard instrument, seeking to minimize the damages caused by the riverine floods in the Parnaíba basin, based on the prediction of the future behavior of the watercourses, based on the information obtained in a series of automatic hydrometeorological stations operated in partnership with the National Water Agency (ANA). Going through a prolonged period of drought since 2010, were verified in this year of 2018 floods in some cities located in the north of the state of Piauí due to the overflow of the river Parnaíba. Considering that this was the first flood event since the start of the SACE/Parnaíba operation in December 2015, this work intends to perform the evaluation of the performance of the system regarding the forecasts made for the variation of the level of the river Parnaíba in three sections of interest: Barão de Grajaú; Teresina; and Luzilândia. In general, the adopted models were able to adequately predict the levels, demonstrating the importance of the system for the actions of the safeguard organs such as the Civil Defense and the Fire Department.

**Palavras-Chave** – Sistema de Alerta; Inundações Ribeirinhas; Rio Parnaíba.

<sup>1</sup> Pesquisador em Geociências – CPRM, Rua Goiás, 312, Frei Serafim, Teresina-PI, CEP 64.001-620, Tel. (86) 3222-4153;

<sup>2</sup> Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual do Piauí; Rua espirito Santo, 996, Acarape, Teresina/PI, CEP 64003-750, Tel (86) 3213-2424.

E-mail: [roberto.fernandes@cprm.gov.br](mailto:roberto.fernandes@cprm.gov.br); [claudio.damasceno@cprm.gov.br](mailto:claudio.damasceno@cprm.gov.br); [jean.nascimento@cprm.gov.br](mailto:jean.nascimento@cprm.gov.br), [joselialeao@gmail.com](mailto:joselialeao@gmail.com).

## 1 - INTRODUÇÃO

O Sistema de Alerta de Cheias é uma das principais medidas não estruturais de um sistema de drenagem urbana (Canholi, 2010), permitindo alertar os órgãos competentes pela salvaguarda da população, como a Defesa Civil e o Corpo de Bombeiros, bem como a comunidade em geral, sobre a iminência de uma inundação ribeirinha. Tal alerta é emitido a partir de previsões do comportamento futuro do rio. Quanto maior o tempo de antecedência da previsão, maior o tempo para a execução de medidas de minimização de prejuízos e proteção às vidas humanas, como, por exemplo, a evacuação da população residente na área a ser afetada.

O Serviço Geológico do Brasil – CPRM, vem desenvolvendo e operando sistemas de alerta desde 1997 (CPRM, 2002), quando entrou em operação o Sistema de Alerta de Eventos Críticos da Bacia do Rio Doce – SACE/Doce, beneficiando 16 cidades de Minas Gerais localizadas nas margens dos rios Piranga, Piracicaba e Doce. Dado o sucesso da empreitada, diversos outros sistemas de alerta foram sendo desenvolvidos, em grande parte com o apoio da Agência Nacional de Águas – ANA. Atualmente, a CPRM opera 12 SACEs, abrangendo bacias hidrográficas em todas as regiões do país. No caso específico do Nordeste, são atualmente trabalhadas a bacia do rio Mundaú, englobando parte dos estados de Pernambuco e Alagoas, e a bacia do rio Parnaíba, beneficiando municípios dos estados do Maranhão e do Piauí.

O SACE/Parnaíba monitora os principais rios da bacia e realiza, atualmente, a previsão do comportamento do rio principal em três pontos, beneficiando diretamente cinco cidades, duas no estado do Maranhão e três no estado do Piauí, inclusive a capital Teresina, totalizando uma população atendida da ordem de um milhão de habitantes.

Desde sua entrada efetiva em operação no final de 2015, o ano de 2018 foi o primeiro em que situações de iminência ou mesmo de inundação efetiva foram observadas na bacia do Parnaíba. Neste trabalho é apresentada a avaliação de desempenho do Sistema para os eventos observados.

## 2 - ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Parnaíba está localizada na região Nordeste e possui uma área de drenagem de aproximadamente 331.000 km<sup>2</sup> dos quais cerca de 75% correspondem a áreas do estado do Piauí, 20% do Maranhão e 5% do Ceará. O rio Parnaíba nasce na Chapada das Mangabeiras, na divisa dos Estados do Piauí, da Bahia e do Tocantins, e tem uma extensão de 1.344 km e configura em toda sua extensão a divisão do Piauí com o Maranhão. Às suas margens estão localizadas importantes cidades dos dois estados como a capital piauiense, Teresina/PI, e Timon/MA, a quarta maior cidade maranhense em população.

Dada a sua importância estratégica, a Agência Nacional de Águas – ANA, mantém na bacia uma extensa rede de monitoramento telemétrico, com transmissão via satélite GOES, permitindo a avaliação do comportamento hidrológico da bacia em tempo quase real em 32 pontos da bacia, 31 deles fluviométricos e pluviométricos e apenas um exclusivamente pluviométrico. Tal rede é operada pela Residência de Teresina do Serviço Geológico do Brasil – RETE/CPRM, e disponibiliza informações discretizadas a cada quinze minutos, com transmissão horária, que podem ser acessadas tanto no site da ANA quanto na página do SACE/Parnaíba disponibilizada pela CPRM (<http://sace.cprm.gov.br/parnaiba/>).

Partindo de tal rede de monitoramento, foram escolhidas uma série de estações que permitissem realizar a previsão do comportamento dos rios Parnaíba e Poti em estações chaves que dessem aos órgãos de salvaguarda o tempo necessário de antecipação, protegendo a população de importantes cidades banhadas por tais cursos d'água. Assim, a rede trabalhada pelo SACE/Parnaíba é composta por 10 estações, nove delas mantidas pela ANA e operadas pela CPRM e uma delas, a estação Guadalupe, implantada pela própria CRPM no âmbito do Sistema de Alerta. Tais estações estão mostradas na Figura 1 e detalhadas na Tabela 1.

Figura 1 – Localização das estações telemétricas utilizadas pelo SACE/Parnaíba.

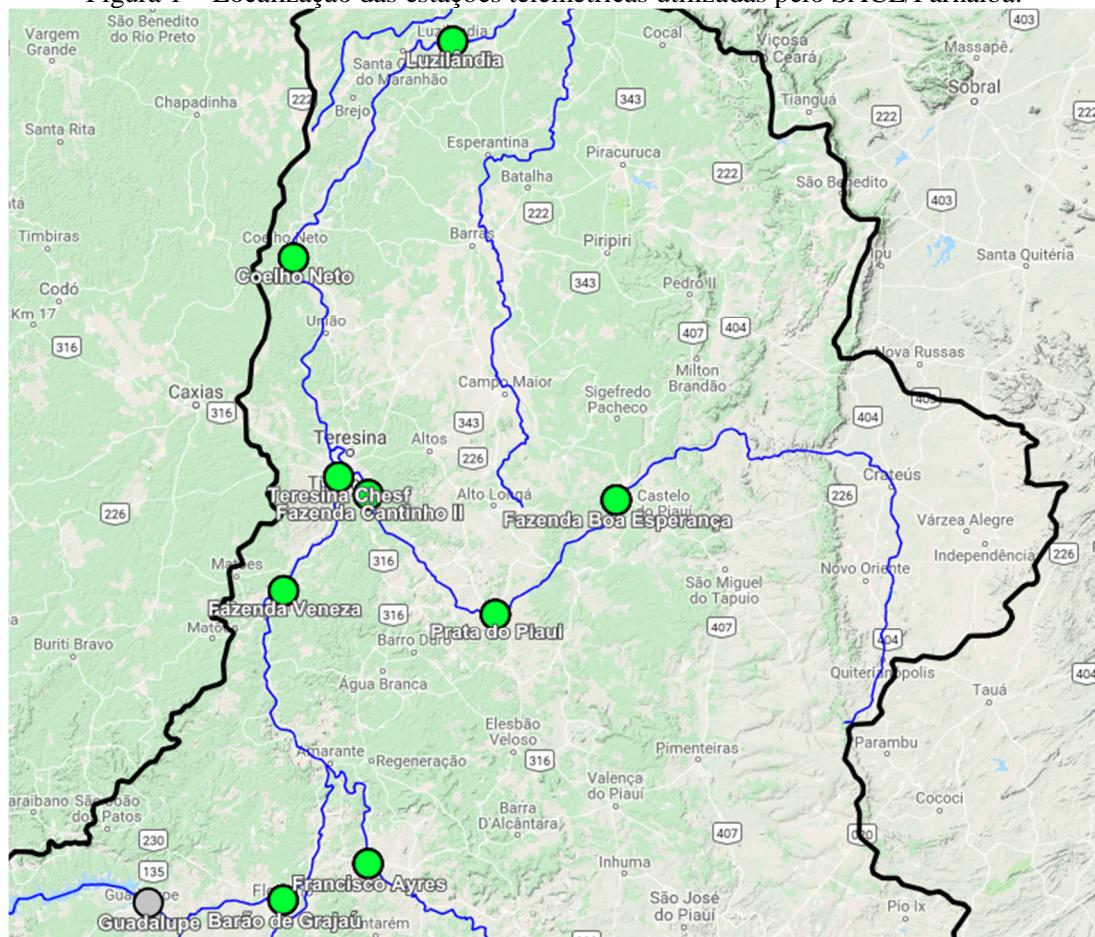


Tabela 1. Estações telemétricas empregadas pelo Sistema de Alerta.

| Código    | Estação               | Município                         | Curso d'Água | Área de Drenagem (km <sup>2</sup> ) | Responsável/Operador |
|-----------|-----------------------|-----------------------------------|--------------|-------------------------------------|----------------------|
| 34600000  | Francisco Ayres       | Francisco Ayres/PI                | Rio Canindé  | 73.700                              | ANA/CPRM             |
| 34750000  | Fazenda Boa Esperança | Castelo do Piauí/PI               | Rio Poti     | 19.200                              | ANA/CPRM             |
| 34770000  | Prata do Piauí        | Prata do Piauí/PI                 | Rio Poti     | 43.400                              | ANA/CPRM             |
| 34789000  | Fazenda Cantinho II   | Teresina/PI                       | Rio Poti     | 54.100                              | ANA/CPRM             |
| 34219100* | Guadalupe             | Guadalupe/PI                      | Rio Parnaíba | 85.100                              | CPRM/CPRM            |
| 34311000  | Barão de Grajaú       | Barão de Grajaú/MA e Floriano(PI) | Rio Parnaíba | 140.000                             | ANA/CPRM             |
| 34660000  | Fazenda Veneza        | Palmeirais/PI                     | Rio Parnaíba | 235.000                             | ANA/CPRM             |
| 34690000  | Teresina              | Teresina/PI e Timon/MA            | Rio Parnaíba | 237.000                             | ANA/CPRM             |
| 34820000  | Coelho Neto           | Coelho Neto/MA                    | Rio Parnaíba | 294.000                             | ANA/CPRM             |
| 34879500  | Luzilândia            | Luzilândia/PI                     | Rio Parnaíba | 298.000                             | ANA/CPRM             |

\* Código Provisório. Fonte: ANA/CPRM.

### 3 - METODOLOGIA

#### 3.1 - Modelos de Previsão

Os modelos de previsão foram obtidos a partir dos dados históricos monitorados, tendo se optado pelo estabelecimento de relações cota-cota, julgados mais adequados que os modelos vazão-vazão dada a não incidência de erros decorrentes da obtenção das curvas-chaves nos pontos de monitoramento.

Como a rede telemétrica somente foi implantada a partir de 2012 e considerando que a bacia passou por um longo e severo período de estiagem nos anos 2010-2017, não foi possível utilizar os dados com discretização de 15 minutos para o estabelecimento das relações cota-cota. Assim, as mesmas foram obtidas a partir do monitoramento convencional, com cotas diárias observadas às 07:00 e às 17:00 h.

Considerando o princípio da parcimônia, buscou-se identificar as relações com o menor número de variáveis independentes, bem como estabelecer modelos com diferentes alcances de previsão. Para o início da operação do SACE/Parnaíba, estabeleceram-se como meta três pontos de monitoramento, todos no rio Parnaíba: Barão de Grajaú (3431100), beneficiando as cidades de Floriano/PI (49.978 habitantes, 4<sup>a</sup> maior do estado do Piauí) e Barão de Grajaú/MA (10.308 habitantes, 90<sup>a</sup> maior do estado do Maranhão); Teresina (34690000), beneficiando as cidades de Teresina/PI (767.777 habitantes, 1<sup>a</sup>) e Timon/MA (135.119, 3<sup>a</sup>); e Luzilândia (34879500), beneficiando a cidade de Luzilândia/PI (13.252 habitantes, 23<sup>a</sup> maior do estado do Piauí).

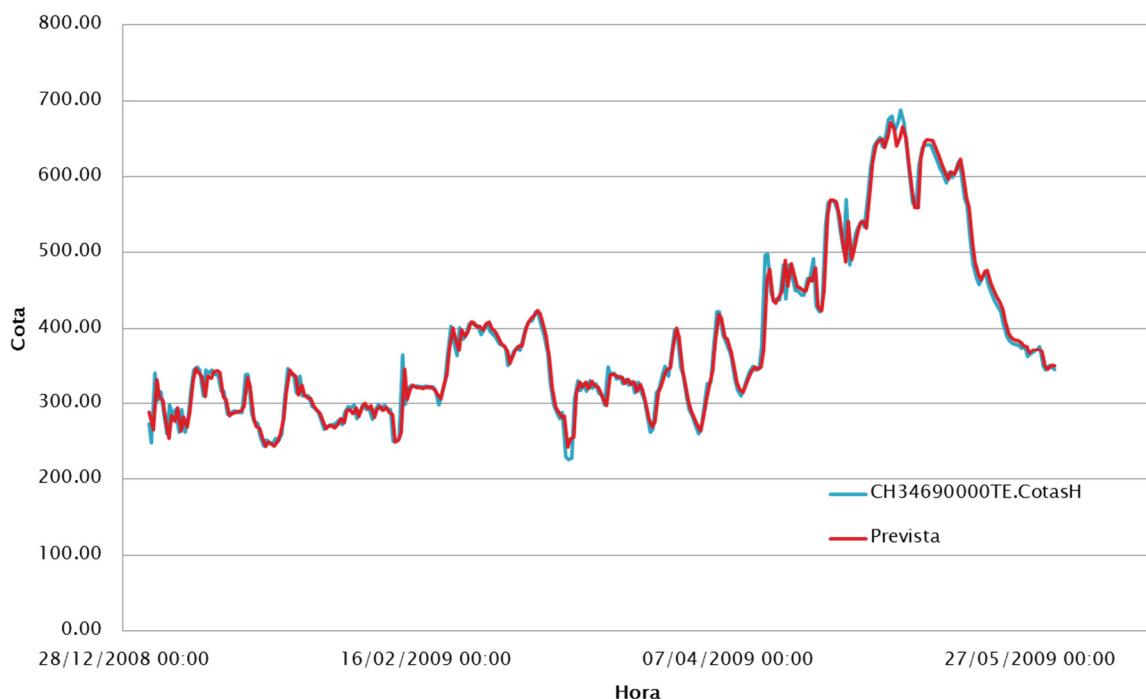
Para o ponto de monitoramento Barão de Grajaú (34311000), foi estabelecida uma relação cota-cota com a estação Guadalupe (34219100), implantada no mesmo local da estação fluviométrica Vila Boa Esperança, mantida pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF, desde agosto de 2001, permitindo a previsão da cota do rio Parnaíba em Barão de Grajaú/Floriano com 8 h de antecedência. A estação Guadalupe é estratégica, pois monitora o comportamento do rio Parnaíba imediatamente a jusante da barragem Hidroelétrica de Boa Esperança, operada pela CHESF, portanto já considerando a vazão total resultante da soma das vazões turbinada e vertida.

Para a estação Teresina (34690000), foram obtidos dois modelos de previsão: i) a partir dos dados observados na estação Fazenda Veneza (34660000), com antecedência de 8 h; e ii) a partir dos dados observados em Barão de Grajaú (34311000) e Francisco Ayres (34600000), com antecedência de 26 h.

Já para a estação Luzilândia (34879500), foram estabelecidos três modelos: i) a partir de dados observados na estação Coelho Neto (34820000), com antecedência de 12 h; ii) a partir de dados observados em Teresina (34690000), também com 12 h de antecedência; e iii) também partindo dos dados observados em Teresina (34690000), mas com 24 h de antecedência.

A Figura 2 apresenta, como exemplo, a validação do modelo de 8 h de previsão para a estação Teresina (34690000) considerando o evento de cheia de 2009, o último observado antes de 2018.

Figura 2 – Verificação do modelo de previsão com 8 h de antecedência para Teresina (34690000), cheia de 2009.



Considerando a disponibilidade restrita de dados para a calibração dos modelos, optou-se por, nesse primeiro momento de operação do SACE/Parnaíba, trabalhar com as previsões de prazo mais curto, garantindo uma maior segurança à previsão, já que erros muito grandes poderiam desacreditar o sistema junto à sociedade.

Assim, os boletins gerados desde dezembro de 2015 contemplam a previsão das cotas do rio Parnaíba em: Barão de Grajaú (34311000) com 8 h de antecedência; em Teresina (3469000), também com 8 h; e Luzilândia (34879500) com 12 h de antecedência.

### 3.2 – Análise de Desempenho

A análise de desempenho consiste na comparação entre a cota prevista e o valor efetivamente observado, considerando os 62 boletins emitidos entre 16/02/2018 e 24/04/2018, período no qual foram observadas as maiores vazões no rio Parnaíba este ano.

Além do valor absoluto, foram avaliados os desvios percentuais observados, bem como o coeficiente de determinação entre os valores previstos e observados para cada ponto de interesse. Também foi realizada a análise de frequência do erro absoluto da cota prevista.

## 4 - RESULTADOS

### 4.1 – Estação Barão de Grajaú (34311000)

A Figura 3 apresenta a comparação entre as cotas previstas pelo SACE/Parnaíba com 8 h de antecedência e as cotas observadas na estação Barão de Grajaú (3431100). Em termos relativos, os erros variaram de -10,7% a +17,1%, com média de 0,1%. Já o maior erro absoluto foi verificado no dia 08/04/2018, quando a cota prevista, 342 cm, ficou 50 cm acima do valor observado, 292 cm.

Apesar de tal divergência é possível identificar uma maior aderência a partir do dia 19/03/2018, bem como para as cotas mais altas. O coeficiente de determinação  $R^2$  resultou em 0,981, corroborando o bom ajuste. Conforme pode ser visto na Tabela 2, em 54,8% das vezes o erro absoluto foi inferior a 5 cm e em 80,6% inferior a 15 cm.

Em grande parte os erros observados podem ser explicados pela rápida variação da cota da água na estação Guadalupe (34219100) provocada pela operação da Hidroelétrica de Boa Esperança. Como os dados trabalhados na definição do modelo de previsão foram obtidos apenas duas vezes por dia (7 e 17 h), eles não conseguiram representar adequadamente a resposta do rio às variações bruscas das vazões turbinadas. A Figura 4 apresenta a variação do nível em Guadalupe, evidenciando as mudanças bruscas decorrentes das regras operacionais da barragem.

Figura 3 – Comparação entre os valores previstos e observados para a estação Barão de Grajaú (34311000).

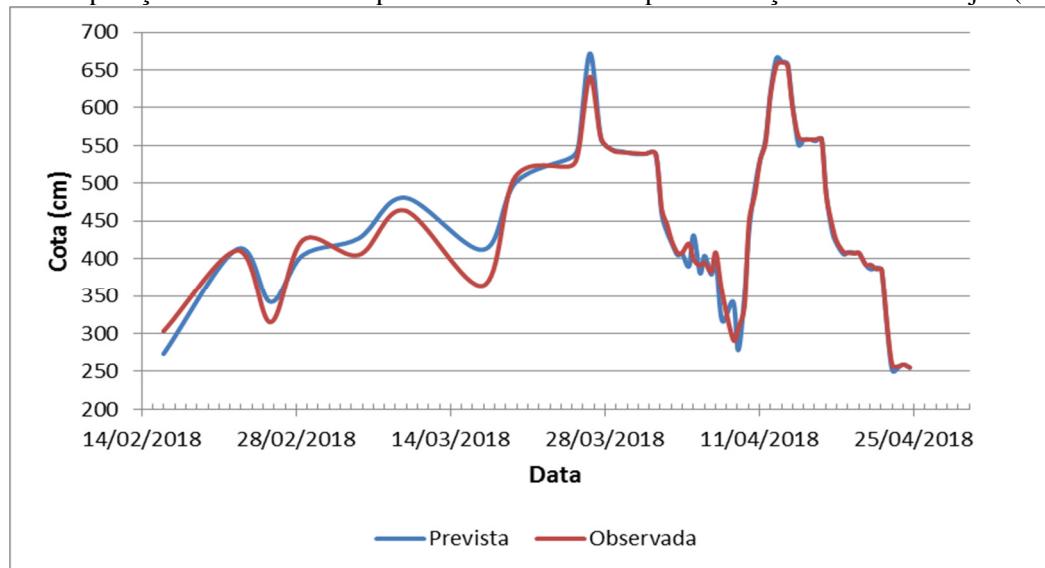
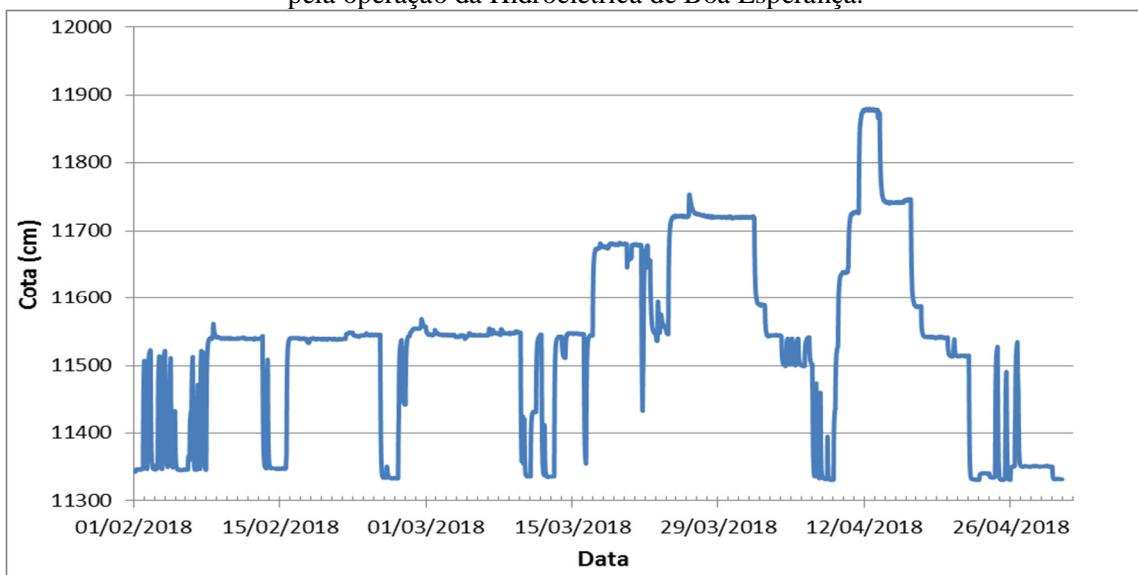


Tabela 2 – Análise de frequência dos erros absolutos das cotas previstas para a estação Barão de Grajaú (34311000).

| Erro Absoluto (cm) | Frequência | %     | % Acumulado |
|--------------------|------------|-------|-------------|
| 0  -  5            | 34         | 54,8% | 54,8%       |
| 5  -  10           | 12         | 19,4% | 74,2%       |
| 10  -  15          | 4          | 6,5%  | 80,6%       |
| 15  -  20          | 2          | 3,2%  | 83,9%       |
| 20  -  25          | 1          | 1,6%  | 85,5%       |
| > 25               | 9          | 14,5% | 100,0%      |

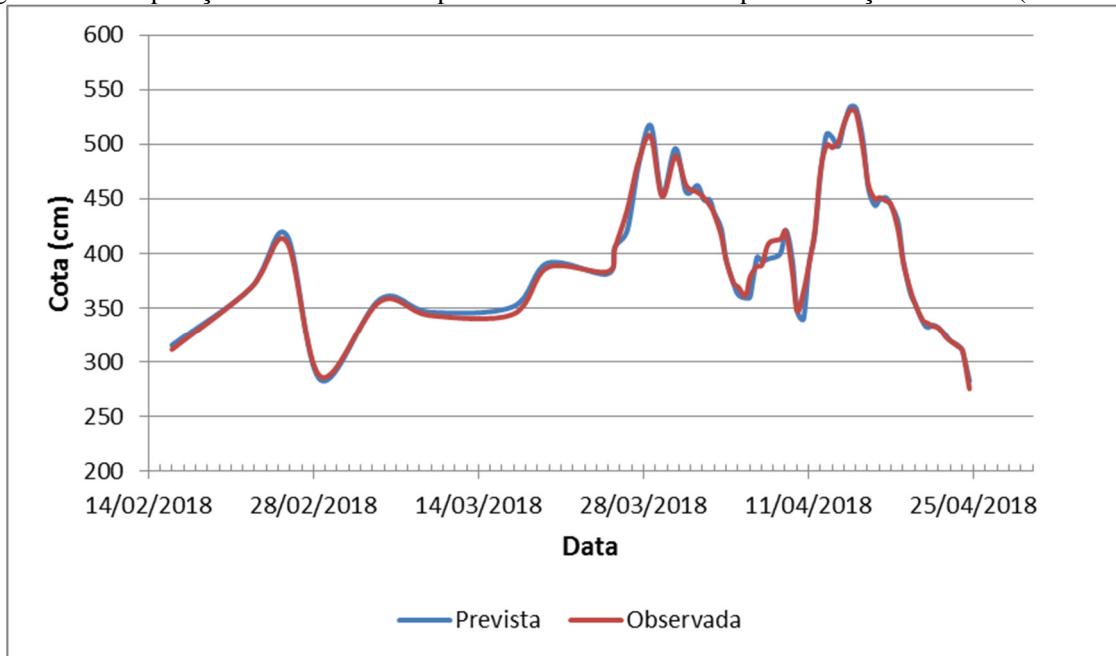
Figura 4 – Variação da cota em Guadalupe (34219100) provocada pela operação da Hidroelétrica de Boa Esperança.



#### 4.2 – Teresina (34690000)

A Figura 5 apresenta a comparação entre as cotas previstas pelo SACE/Parnaíba com 8 h de antecedência e as cotas observadas na estação Teresina (34690000). Em termos relativos, os erros variaram de -6,8% a +2,9%, com média de 0,0%. Já o maior erro absoluto foi verificado no dia 10/04/2018, quando a cota prevista, 340 cm, ficou 25 cm abaixo do valor observado, 365 cm.

Figura 5 – Comparação entre os valores previstos e os observados para a estação Teresina (34690000).



Conforme pode ser observado na Tabela 3, em 66,1% das vezes o erro absoluto para a cota prevista ficou abaixo de 5 cm e em 95,2% abaixo de 15 cm. O coeficiente de determinação  $R^2$  entre os valores previstos e os observados ficou em 0,989. Comparando com Barão de Grajaú (34311000), o ajuste se mostrou bem melhor, muito em função da não existência de variações tão bruscas do escoamento a montante.

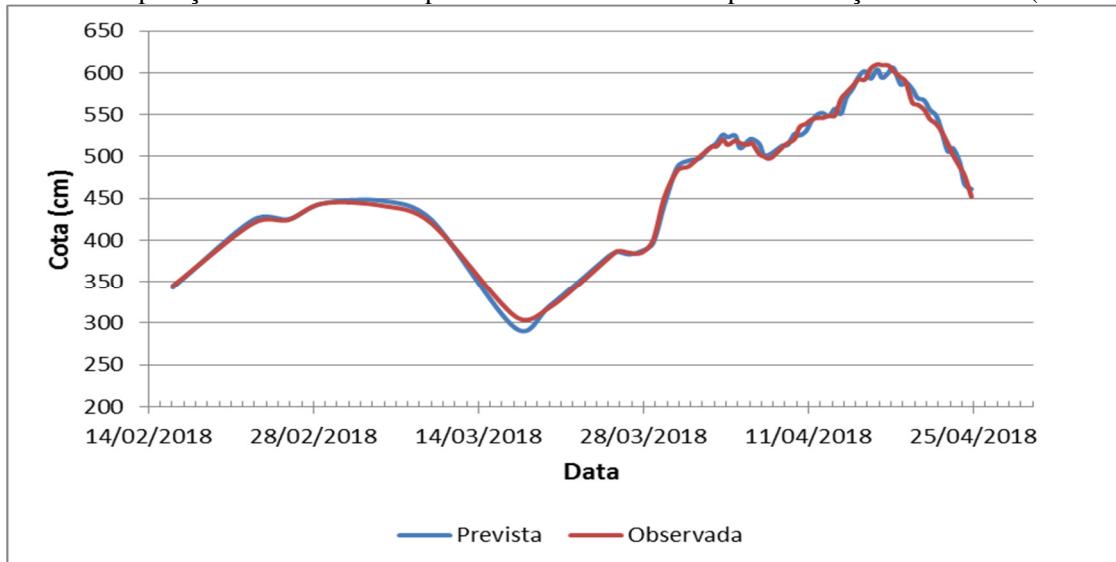
Tabela 3 – Análise de frequência dos erros absolutos das cotas previstas para a estação Teresina (34690000).

| Erro Absoluto (cm) | Frequência | %     | % Acumulado |
|--------------------|------------|-------|-------------|
| 0  -  5            | 41         | 66,1% | 66,1%       |
| 5  -  10           | 15         | 24,2% | 90,3%       |
| 10  -  15          | 3          | 4,8%  | 95,2%       |
| 15  -  20          | 2          | 3,2%  | 98,4%       |
| 20  -  25          | 1          | 1,6%  | 100,0%      |
| > 25               | 0          | 0,0%  | 100,0%      |

#### 4.3 – Luzilândia (34879500)

A Figura 6 apresenta a comparação entre as cotas previstas pelo SACE/Parnaíba com 12 h de antecedência e as cotas observadas na estação Luzilândia (34879500). Em termos relativos, os erros variaram de -4,5% a +2,8%, com média de 0,2%. Já o maior erro absoluto foi verificado no dia 13/04/2018, quando a cota prevista, 551 cm, ficou 17 cm abaixo do valor observado, 568 cm.

Figura 6 – Comparação entre os valores previstos e os observados para a estação Luzilândia (34879500).



A Tabela 4 mostra que, em 50,0% das vezes o erro absoluto para a cota prevista ficou abaixo de 5 cm e em 96,8% abaixo de 15 cm. O coeficiente de determinação  $R^2$  entre os valores previstos e os observados ficou em 0,990. Como já discutido, o maior erro absoluto observado foi de 17 cm, evidenciando um desempenho muito bom do modelo de previsão.

Tabela 4 – Análise de frequência dos erros absolutos das cotas previstas para a estação Luzilândia (34879500).

| Erro Absoluto (cm) | Frequência | %     | % Acumulado |
|--------------------|------------|-------|-------------|
| 0  -  5            | 31         | 50,0% | 50,0%       |
| 5  -  10           | 23         | 37,1% | 87,1%       |
| 10  -  15          | 6          | 9,7%  | 96,8%       |
| 15  -  20          | 2          | 3,2%  | 100,0%      |
| 20  -  25          | 0          | 0,0%  | 100,0%      |
| > 25               | 0          | 0,0%  | 100,0%      |

## 5 - CONCLUSÃO

O Sistema de Alerta de Eventos Críticos da Bacia do Parnaíba – SACE/Parnaíba mostrou-se um importante instrumento de prevenção e minimização de prejuízos decorrentes das inundações ribeirinhas em cidades banhadas pelo rio Parnaíba.

Refletindo a expertise do Serviço Geológico do Brasil – CPRM no desenvolvimento e operação de sistemas de alerta de cheias, o sistema apresentou, de forma geral, um excelente desempenho na previsão do comportamento futuro do rio Parnaíba a partir de uma série de postos de monitoramento fluviométrico telemétricos. A divulgação tempestiva dos dados e das previsões, bem como o envolvimento adequado com as secretarias estadual e municipais de Defesa Civil e com o Corpo de Bombeiros do Estado do Piauí, tiveram papel decisivo na atuação desses órgãos para auxiliar as populações atingidas pelas inundações do rio Parnaíba neste ano de 2018, especialmente na cidade de Luzilândia.

Apesar da limitação de dados para a calibração dos modelos de previsão, todos apresentaram respostas julgada adequadas, mesmo o de previsão das cotas em Barão de Grajaú (34311000), cujos erros foram maiores dada as bruscas variações de vazão provocadas pela operação da Barragem Hidroelétrica de Boa Esperança.

Mesmo com o desempenho satisfatório, será feita uma revisão dos modelos de previsão tendo em vista a disponibilização de dados mais detalhados devido ao registro dos eventos de cheia do ano de 2018, os primeiros verificados desde a implantação da rede telemétrica em 2012. Tal revisão deverá maximizar o desempenho dos modelos, bem como possibilitará a utilização dos de previsão com maior período de antecedência.

Além disso, prevê-se a partir de 2019 a disponibilização da previsão do comportamento do rio Poti na estação Fazenda Cantinho II, na cidade de Teresina/PI, bem como está em avaliação a expansão do sistema para outros rios da bacia, como o Marataoan, na cidade de Barras/PI, e o Longá em Esperantina/PI, que também apresentaram inundações no ano de 2018.

## REFERENCIAS

- CANHOLI, A. P. (2015). *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*. 2<sup>a</sup> ed. Oficina de Textos, 384 p.
- CPRM. Sistema de Alerta contra Enchentes da Bacia do Rio Doce – Relatório Técnico da Operação do Sistema de Alerta –Dezembro de 2001 a Março de 2002. Belo Horizonte, 2002.