

## **ANÁLISE DE CHEIAS HISTÓRICAS DO RIO IGUAÇU OBSERVADAS NA CIDADE DE UNIÃO DA VITÓRIA**

PATRÍCIA CRISTINA STEFFEN<sup>1\*</sup>, JÚLIO GOMES<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheira Civil, Mestranda em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, UFPR, Curitiba-PR, patriciacsteffen@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Engenheiro Civil, Dr. em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Prof. Adjunto DHS, UFPR, Curitiba-PR, jgomes.dhs@ufpr.br

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016  
29 de agosto a 2 de setembro de 2016–Foz do Iguaçu, Brasil

**RESUMO:** Independentemente de suas causas, as cheias têm se tornado cada vez mais frequentes ao redor do mundo, inclusive no Brasil, onde existem áreas que sofrem com a repetição destes desastres. No estado do Paraná, União da Vitória é um exemplo de cidade que sofre de forma recorrente com estas catástrofes, gerando diversos danos à sociedade, que vão desde perdas humanas até prejuízos financeiros. Na maioria dos casos, a análise hidrológica dos eventos de cheia se restringe aos valores máximos de vazão e nível. Estudos mais atuais sugerem que outras variáveis devam ser analisadas para melhor caracterizar o grau de severidade de uma cheia. No presente estudo, apresenta-se uma análise das cheias do rio Iguaçu, observadas em União da Vitória entre os anos de 1930 e 2015, de acordo com diferentes indicadores de cheia. Uma análise da correlação entre os diferentes indicadores também é apresentada. Os resultados obtidos mostraram que os indicadores produzem ordenamentos distintos para as cinco maiores cheias. Destaca-se também que alguns indicadores mostraram baixa correlação entre si.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agrupamento de cheias, indicadores de cheias, intensidade de cheias.

### **ANALYSIS OF IGUAÇU RIVER HISTORICAL FLOODS OBSERVED AT UNIÃO DA VITÓRIA CITY**

**ABSTRACT:** Independently of their causes, floods have become more and more frequent around the world, Brazil included, with places suffering with the recurrence of such disasters. In Paraná State, União da Vitória is an example of a Brazilian city that suffers almost every year with those phenomena, generating too many damages to the society, from human losses to economic damages. In most cases, the hydrological analysis of the flood events is restricted to maximum values of both discharge and water level. More recent studies suggest that other variables should be analyzed to better describe the flood severity. In this work, it is presented an analysis of Iguaçu River historical floods observed at União da Vitória from 1930 to 2015, according to different flood indicators. It also presented a correlation analysis among the flood indicators. The results showed that flood indicators produced different rankings for the five major events. Finally, the results also showed that some flood indicators presented low correlation between each other.

**KEYWORDS:** Flood clustering, flood indicators, flood intensity.

### **INTRODUÇÃO**

As inundações podem ser definidas como “*fenômenos que ocorrem quando a vazão escoada de um rio é superior à capacidade de drenagem de sua calha principal*” (Castilho et al., 2005) e, dentre os desastres naturais recorrentes no Brasil, compõem os fenômenos de maiores números de ocorrência, mortos e desabrigados (EM-DAT, 2015).

Estes eventos podem ser oriundos de causas tanto naturais, como a mudança climática e a ocorrência de eventos extremos de precipitação, quanto antrópicas, como a ocupação irregular das áreas

inundáveis, a urbanização e o descarte irregular de resíduos sólidos em cursos de água (Tucci & Bertoni, 2003).

Estes fatos têm se tornado frequentes no Brasil e, em União da Vitória, em especial, estes eventos já se repetiram na maioria dos anos, havendo, por vezes, mais de um evento crítico por ano, e com prejuízos significativos para a sociedade, que vão além dos danos econômicos gerados.

Neste contexto, visto que os danos gerados pelos eventos são, muitas vezes, irreparáveis, as preocupações com a intensidade das cheias vêm aumentando cada vez mais, pois é a sua capacidade de destruição que determina sua intensidade (Wang et al., 2014). Por isso, o presente trabalho utiliza uma diferente abordagem para a análise hidrológica dos eventos de cheia, indicando, além das variáveis clássicas estudadas (vazão e nível de água máximos), outros fatores para a análise, como: volume total extravasado, tempo acima da cota de extravasamento, tempo entre o início da cheia e a ultrapassagem da cota de extravasamento e taxas médias de subida e descida do hidrograma de cheia.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo abrange a cidade de União da Vitória, localizada nas coordenadas geográficas de latitude sul 26°13' 44" e longitude oeste 51° 04' 58", pertencente ao estado do Paraná. As áreas urbana e rural do município são banhadas pelo rio Iguazu, que apresenta uma área de drenagem de aproximadamente 70.800 km<sup>2</sup> em União da Vitória. A Figura 1 apresenta a localização do município de União da Vitória no Estado do Paraná e no trecho médio da Bacia do rio Iguazu, representado pelo número 11 na imagem.

Figura 1. Localização de União da Vitória, na subbacia 11, no trecho médio da bacia do Iguazu



Fonte: adaptado de Águas Paraná (2016).

A metodologia adotada consistiu em, inicialmente, levantar os dados de vazão e níveis de água observados na estação fluviométrica União da Vitória (65310000) entre os anos de 1930 e 2015, disponibilizados pelo Instituto das Águas do Paraná, bem como, determinara cota de extravasamento do rio Iguazu na referida estação fluviométrica. Esta cota corresponde a 744,50 m (cota abaixo da qual houve a desapropriação realizada pela Companhia Paranaense de Energia – COPEL), ou 4,89 m de leitura na régua, que, de acordo com a curva de descarga da estação fluviométrica União da Vitória (65310000), representa uma vazão de 1.340 m<sup>3</sup>/s.

Em seguida, realizou-se uma análise preliminar dos dados de vazão a fim de identificar as maiores cheias de cada ano e seus respectivos períodos de ocorrência, representado pelos instantes inicial e final de cada onda de cheia. Na sequência, foram definidos os indicadores de cheia usados na avaliação da intensidade dos eventos observados em União da Vitória. São eles:

- Vazão máxima anual (I<sub>1</sub>);
- Nível de água máximo anual (I<sub>2</sub>);
- Volume total extravasado (I<sub>3</sub>): volume acima da cota de extravasamento;
- Tempo acima da cota de extravasamento (I<sub>4</sub>): período no qual os níveis de água foram superiores à cota de extravasamento;

- Tempo entre o início da cheia e a ultrapassagem da cota de extravasamento (I<sub>5</sub>): tempo entre o início da cheia e a superação da cota de extravasamento;
- Taxa média de subida do hidrograma de cheia (I<sub>6</sub>): taxa média de ascensão do hidrograma entre o início da cheia e a superação da cota de extravasamento;
- Taxa média de decaimento do hidrograma de cheia (I<sub>7</sub>): taxa média de recessão do hidrograma, desde o pico do hidrograma até o fim do extravasamento.

O próximo passo foi o cálculo dos sete indicadores de cheia para cada evento anual selecionado. Os valores dos indicadores calculados foram então normalizados, uma vez que não possuem o mesmo significado físico e, conseqüentemente, possuem diferentes unidades de medida. A normalização de cada indicador foi realizada pela razão entre a diferença entre o valor do indicador e o valor mínimo amostral do indicador a diferença entre os valores máximo e mínimo amostrais do indicador, conforme Equação 1:

$$x_{ij} = \frac{x_{ij}^0 - x_{j\text{mín}}^0}{x_{j\text{máx}}^0 - x_{j\text{mín}}^0} \quad (\text{Equação 1})$$

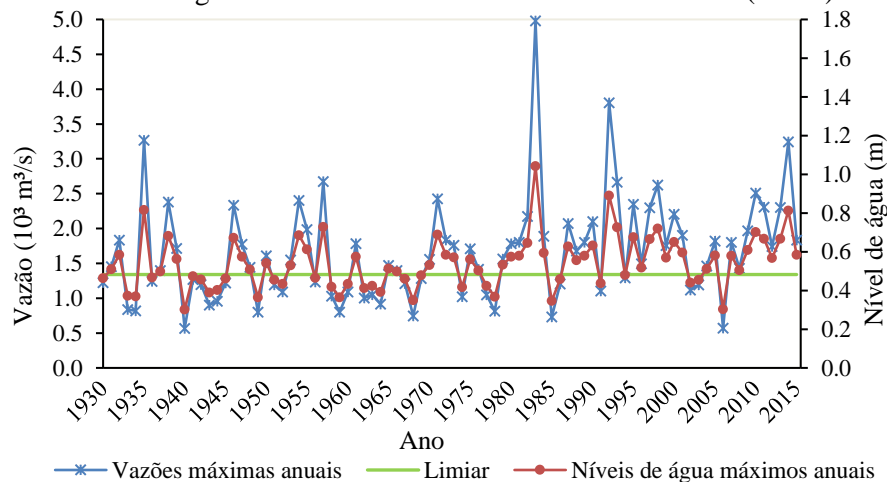
onde:  $x_{ij}$  = valor normalizado do  $i$ -ésimo valor observado do  $j$ -ésimo indicador;  
 $x_{ij}^0$  =  $i$ -ésimo valor observado do  $j$ -ésimo indicador;  
 $x_{j\text{máx}}^0$  = máximo valor observado do  $j$ -ésimo indicador;  
 $x_{j\text{mín}}^0$  = mínimo valor observado do  $j$ -ésimo indicador.

Finalmente, com os valores normalizados dos indicadores, estabeleceu-se o ordenamento das cheias, segundo cada um dos sete indicadores, e estimou-se a matriz de correlação dos indicadores, combinados dois a dois, utilizando-se a função pré-definida “*correl()*” do *software Microsoft Excel*.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisados, inicialmente, os dois primeiros indicadores definidos neste trabalho: vazões máximas anuais (I<sub>1</sub>) e níveis de água máximos anuais (I<sub>2</sub>), por serem os mais usuais em estudo desta natureza. Observou-se que, dentre os 86 anos analisados (de 1930 a 2015), em 53 deles houve a ocorrência de extravasamento do rio Iguaçú. A Figura 2 apresenta as vazões máximas anuais, os níveis de água máximos anuais e a cota de extravasamento do rio Iguaçú na estação fluviométrica União da Vitória (65310000).

Figura 2. Vazões e níveis de água máximos anuais e cota de extravasamento (limiar)



Como pode ser observado na Figura 2, sob a análise somente dos indicadores I<sub>1</sub> e I<sub>2</sub>, o pior evento registrado em União da Vitória se deu no ano de 1983, com vazão máxima de 4.979,6 m<sup>3</sup>/s e nível de água máximo de 10,42 m, seguido dos anos de 1992, 1935, 2014 e 1957.

No entanto, avaliando-se os demais indicadores de cheia, o ordenamento dos piores eventos se alterou, como pode ser visto na Tabela 1, que apresenta a classificação dos cinco piores eventos para todos os indicadores de cheia analisados no presente estudo.

Tabela 1. Classificação de piores eventos segundo os indicadores de cheia

Severidade	(I <sub>1</sub> )	(I <sub>2</sub> )	(I <sub>3</sub> )	(I <sub>4</sub> )	(I <sub>5</sub> )	(I <sub>6</sub> )	(I <sub>7</sub> )
1°	<b>1983</b>	<b>1983</b>	<b>1983</b>	1957	2010	2010	1992
2°	1992	1992	1957	<b>1983</b>	1982	1981	<b>1983</b>
3°	1935	1935	1992	1998	1972	1972	2014
4°	2014	2014	1935	1997	2000	2000	2000
5°	1957	1957	1998	2011	1957	1957	2010

Analisando-se a Tabela 1, percebe-se que a cheia de 1983, considerada o pior evento de acordo com a abordagem usual (I<sub>1</sub> e I<sub>2</sub>), aparece também entre os cinco piores eventos no volume extravasado (I<sub>3</sub>), tempo acima dacota de extravasamento (I<sub>4</sub>) e taxa média de decaimento de cheia (I<sub>7</sub>), mas não se classifica entre os cinco piores eventos na análise dos demais indicadores (I<sub>5</sub> e I<sub>6</sub>).

Já a cheia de 1992, segunda pior de acordo com os indicadores I<sub>1</sub> e I<sub>2</sub>, aparece novamente entre os cinco piores eventos apenas para os indicadores I<sub>3</sub>, volume extravasado, e I<sub>7</sub>, taxa média de decaimento do hidrograma de cheia. Finalmente, as demais cheias classificadas entre os cinco piores eventos, de acordo com os indicadores I<sub>1</sub> e I<sub>2</sub>, não se classificaram novamente juntas entre os cinco piores eventos em nenhum outro indicador.

A Tabela 2 apresenta a matriz de correlação dos sete indicadores de cheia analisados. A partir da Tabela 2, verifica-se que os indicadores com maior correlação são: vazão máxima (I<sub>1</sub>) e nível de água máximo (I<sub>2</sub>), os mais usualmente utilizados. Esses indicadores também apresentaram alto grau de correlação com os indicadores I<sub>3</sub>, I<sub>4</sub> e I<sub>7</sub>. Por outro lado, os indicadores I<sub>5</sub>, tempo decorrido entre o início do evento e a ultrapassagem do limiar do extravasamento, e I<sub>6</sub>, taxa média de ascensão do hidrograma de cheia, apresentaram baixo grau de correlação com todos os demais indicadores, inclusive entre si.

Tabela 2. Matriz de correlação dos indicadores de cheia

	(I <sub>1</sub> )	(I <sub>2</sub> )	(I <sub>3</sub> )	(I <sub>4</sub> )	(I <sub>5</sub> )	(I <sub>6</sub> )	(I <sub>7</sub> )
(I <sub>1</sub> )	<b>1,000</b>	0,992	0,863	0,803	0,491	0,409	0,861
(I <sub>2</sub> )		<b>1,000</b>	0,809	0,804	0,517	0,454	0,869
(I <sub>3</sub> )			<b>1,000</b>	0,842	0,303	0,244	0,610
(I <sub>4</sub> )				<b>1,000</b>	0,467	0,399	0,584
(I <sub>5</sub> )					<b>1,000</b>	0,000	0,414
(I <sub>6</sub> )						<b>1,000</b>	0,550
(I <sub>7</sub> )							<b>1,000</b>

Figura 3. Correlação entre os indicadores I<sub>1</sub> e I<sub>2</sub>

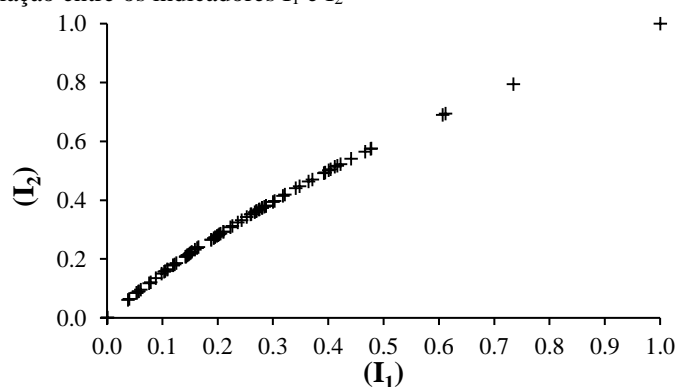
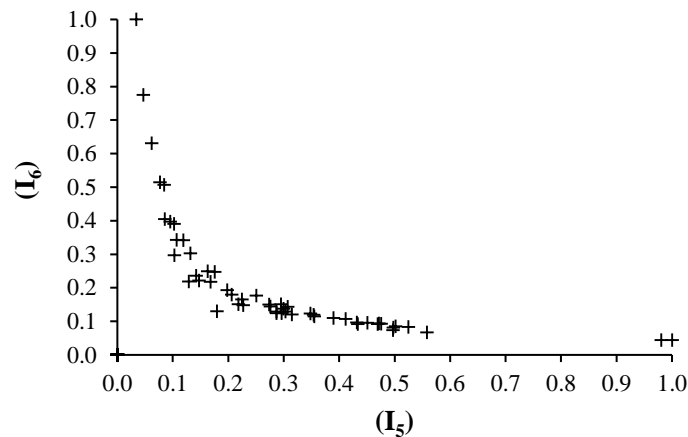


Figura 4. Correlação entre os indicadores  $I_5$  e  $I_6$



As Figuras 3 e 4 apresentam respectivamente a relação entre os indicadores  $I_1$  e  $I_2$ , como exemplo de indicadores com alto grau de correlação, e a relação entre os indicadores  $I_5$  e  $I_6$ , como exemplo de indicadores com baixo grau de correlação. Em ambas as figuras, os valores apresentados estão normalizados, o que resulta em um escala variando entre zero e 1,0.

## CONCLUSÃO

A utilização dos diferentes indicadores para a análise de cheias produziu resultados diferentes dos apresentados pela abordagem usual dos estudos hidrológicos em termos de ordenamento dos eventos mais críticos, uma vez que a abordagem comumente utilizada especifica a severidade dos eventos de cheia através apenas da vazão máxima e do nível de água máximo. Embora a abordagem usual seja coerente do ponto de vista hidrológico, ela não consegue traduzir toda a problemática da ocorrência de uma cheia dos pontos de vista social e econômico.

A consideração de outros fatores, que não somente a vazão máxima e o nível de água máximo, pode auxiliar na melhor compreensão do fenômeno e na redução significativa dos impactos gerados pelas cheias, com reflexos inclusive na identificação de cheias que apresentem características comuns e na própria modelagem matemática do processo de transformação chuva-vazão.

## AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor.

## REFERÊNCIAS

CASTILHO, A. S.; PINTO, E. J. de A.; OLIVEIRA, G. S. R. Utilização de modelo hidráulico associado a um sig para a definição de áreas inundáveis na cidade de Governador Valadares, Minas Gerais. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa, 1-20. 2005.

EM-DAT. EmergencyDisasters Data Base. 2015. Disponível em: <http://www.emdat.be>. Acesso em: 30 de novembro de 2015.

ÁGUAS PARANÁ. Instituto das Águas do Paraná. 2016. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br>. Acesso em: 19 de julho de 2016.

TUCCI, C. E. M; BERTONI, J. C. Inundações urbanas na América do Sul. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre. 2003.

WANG, L. N.; CHEN, X. H.; SHAO, Q. X.; LI, Y. Flood indicators and their clustering features in Wujiang River, South China. Ecological Engineering. China. 2014.