

## ONDAS DE CHEIA NO MÉDIO RIO DOCE: UMA ABORDAGEM CONCEITUAL E ESTATÍSTICA

Fábio Monteiro Cruz (\*), Leticia de Oliveira Rocha 2, Daniela Martins Cunha 3, Evandro Klen Panquestor 4, Isa Belly Dominguito de Castro Sena 5

\* Instituto Federal Minas Gerais. fabio.cruz@ifmg.edu.br

### RESUMO

As cheias e enchentes causam diversos impactos à população, tais como problemas relacionados à saúde, econômicos e sociais. Na região do médio rio Doce, está localizado o município de Governador Valadares (MG), que dentre várias outras cidades que compõe a bacia do rio Doce, sobre influência das cheias e enchentes no período chuvoso. Neste contexto, foi realizada análise da ocorrência de ondas de cheia, no médio rio Doce, através de um processo de classificação, buscando evidenciar padrões ou recorrência de determinadas classes. Disto, foi possível identificar que as ondas do tipo B e C são mais recorrentes na região de estudo, porém, as do tipo A não são consideradas eventos raros devido ao curto tempo de retorno. Deve-se considerar ainda que as cheias tipo A apesar de não tão comuns quanto as outras, quando ocorrem tem potencial para gerar grandes impactos por serem notadamente eventos extraordinários.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cheias, Impactos socioambientais, hidrologia, bacias hidrográficas.

### INTRODUÇÃO

A ocorrência de eventos de cheias é decorrente de condicionantes naturais e antrópicos. Como condicionantes naturais pode-se citar as formas de relevo, a intensidade, quantidade, distribuição e frequência das precipitações; características da capacidade de drenagem da bacia hidrográfica; a presença ou ausência de cobertura vegetal e as características do solo. Entre os condicionantes antrópicos se destacam o uso e ocupação do solo; disposição irregular dos resíduos sólidos; e as demais atividades que alteram as características da bacia hidrográfica, como o assoreamento, a canalização de cursos d'água e a impermeabilização do solo (AMARAL; RIBEIRO, 2009).

De acordo com Tucci (1995) e Pompêo (2000) as ocorrências de enchentes nas áreas urbanas acontecem devido à intensidade das precipitações e se agravam por consequência das condições das bacias hidrográficas, que sofrem alterações resultantes da urbanização e da falta de planejamento do uso do solo, como por exemplo, a ocupação dos leitos dos rios. Quando ocorre precipitação de magnitude elevada, o rio ocupa um leito maior e causa impactos sobre a população que ocupa áreas ribeirinhas, que são os casos das cheias.

Os impactos mais frequentes apresentados ao corpo hídrico decorrente da urbanização, segundo Tucci (2007) são o aumento da capacidade de erosão, da velocidade do escoamento impossibilitando a infiltração, resultando na redução da recarga subterrânea e o aumento da magnitude e frequência das inundações. A qualidade da água também sofre influência associada à urbanização, uma vez que, há o aumento de sedimentos durante as construções, acarretando na contaminação por bactérias, metais e hidrocarbonetos, resíduos sólidos e aumento da carga de matéria orgânica.

Quando o corpo hídrico aumenta a sua vazão e ocupa um leito maior, pode causar as chamadas inundações ribeirinhas e ocasionar impactos à população que por sua vez, ocupa área próxima a ele. Geralmente, a ocupação das áreas ribeirinhas ocasiona a diminuição da declividade dessas áreas, resultando em uma menor capacidade de infiltração, ocorrendo por sua vez os alagamentos do leito maior (TUCCI, 2007).

Considerando as bacias hidrográficas do sudeste brasileiro, uma que merece destaque é a bacia do rio Doce. Ela abrange uma extensão de aproximadamente 86.715Km<sup>2</sup> de área de drenagem que se estende desde o Estado de Minas Gerais até o Espírito Santo (CBH-DOCE, 2015).

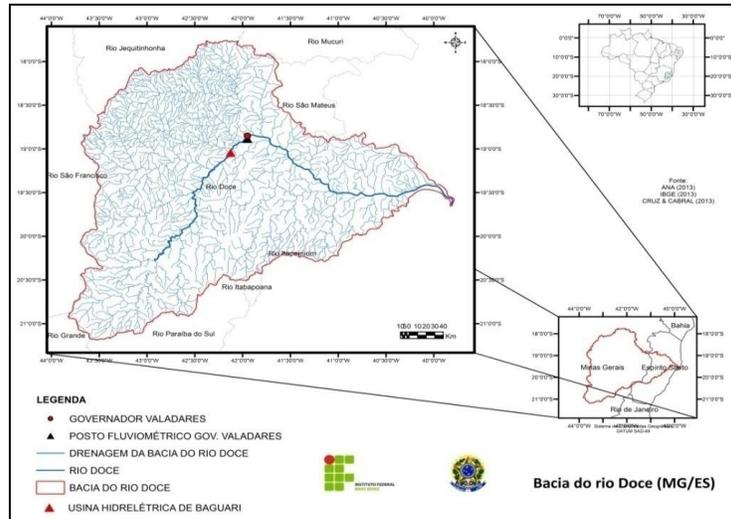
Alguns municípios pertencentes à bacia do rio Doce como, por exemplo Aimorés, Conselheiro Pena e Governador Valadares no estado de Minas Gerais; Colatina e Baixo Guandu no estado do Espírito Santo, são consideradas cidades baixas e planas, por consequência, são os que mais sofrem com as influências das cheias no período chuvoso (Diário do rio Doce, 2015).

Na região do médio rio Doce, onde o município de Governador Valadares está localizado, o período chuvoso se estende de outubro a março. Os maiores eventos de enchentes que ocorreram no município de Governador Valadares foram nos anos de 1979, 1997 e 2002 (ECOPLAN-LUME, 2010).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar a ocorrência de ondas de cheia, no médio rio Doce, através de um processo de classificação, como forma de evidenciar padrões ou recorrência de determinadas classes, podendo assim orientar as ações de prevenção dos impactos das cheias e de apoio às comunidades atingidas por estes eventos.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é compreendida pela bacia hidrográfica do rio Doce (figura 01).



**Figura 01: Bacia hidrográfica do rio Doce. Fonte: Cabral (2013)**

A população estimada da bacia está em torno de 3,5 milhões de habitantes, distribuídos em 228 municípios, cujas atividades econômicas caracterizam-se por serem bastante diversificadas, indo desde o setor agropecuário, agroindústria e com maior destaque na área siderúrgica associada às empresas de mineração, reflorestamento, celulose e geração de energia elétrica (CBH-DOCE, 2015).

No que tange as características físicas, notadamente a topografia, a bacia caracteriza-se por apresentar relevo acidentado, ondulado e montanhoso. O rio Doce nasce no estado de Minas Gerais, tendo suas nascentes principais situadas na Serra do Espinhaço e na Serra da Mantiqueira. O município de Governador Valadares, localizado no leste do estado mineiro faz parte desta bacia e como várias outras cidades, sofre com as cheias e enchentes (CBH-DOCE, 2015). Governador Valadares possui uma extensão territorial de 2.342Km<sup>2</sup>, população de aproximadamente 276.995 habitantes de acordo com dados do IBGE (2015), sendo distribuídos em 130 bairros da cidade e mais 12 distritos. O clima da região é tropical megatérmico e subúmido, com período chuvoso compreendido nos meses de outubro a março, ocorrendo os casos de cheias e enchentes neste período.

Uma das cheias mais expressivas já ocorridas na bacia do rio Doce ocorreu no ano de 1979. Em se tratando de Governador Valadares esta cheia alcançou marca de 5,18 m de nível de água (Diário do rio Doce, 2015).

De acordo com registros do ECOPLAN-LUME (2010) e do Diário do rio Doce (2015) foram registrados 47.776 desabrigados, 74 vítimas fatais e 4.424 residências atingidas. Foram interrompidos trechos da ferrovia Vitória Minas, ocasionando a redução na extração de minério de ferro. No bairro Ilha dos Araújo, os moradores ficaram impossibilitados de se locomoverem, tanto pelo fato de várias ruas estarem completamente cobertas pela água, como também, por não terem acesso à ponte, pois, a possibilidade da mesma ser levada pela força da água era muito grande.

A análise hidrológica das ondas de cheia foi realizada a princípio através do tratamento dos dados de vazões médias diárias da estação de monitoramento fluviométrico GOVERNADOR VALADARES (56850000), localizada no município homônimo, obtidos diretamente do portal Hidroweb (ANA, 2015).

Visto que historicamente as cheias ocorrem apenas no período chuvoso, na bacia estudada, optou-se por utilizar séries temporais de monitoramento restritas ao intervalo de outubro a março, que segundo Ecoplan-Lume (2010) corresponde ao período chuvoso na região, obedecendo o ano hidrológico.

Como forma de delimitar o horizonte de estudo foi realizada uma análise da consistência dos dados diários através da elaboração de diagrama de barras. Dado a constatação de longos períodos de ocorrência de falhas nas séries diárias de alguns anos, optou-se por não realizar etapa de preenchimento de falhas nestes, mas sim excluí-los da análise. Desta forma, o período de estudo foi de 1969 a 2006, tendo sido descartados as séries temporais de 1978-1979, 1988-1989, 1993-1994, 2004-2005 e 2005-2006.

Das séries tratadas para fins de análise foi realizada uma etapa de elaboração dos hidrogramas de cada período chuvoso, a partir dos dados de vazão média diária. Cada hidrograma passou então por um processo de análise da identificação das ondas de cheia e classificação de acordo com os critérios propostos por Destefani (2005). Entretanto, considerando que

a autora propõe a classificação de apenas uma onda de cheia, durante o ano hidrológico, o que não constitui a realidade do médio rio Doce, uma vez que conforme Ecoplan-Lume (2010) ocorrem frequentemente duas ondas de cheia na bacia, a saber, uma no período de Dezembro-Janeiro e outra em Fevereiro-Março, optou-se por realizar uma adaptação à metodologia da autora, levando assim ao exercício de duas classificações por ano hidrológico avaliado.

Os critérios de classes de cheia utilizados no trabalho são aqueles propostos por Destefani (2005), que descreve três tipos de ondas de cheias: cheia tipo A, cheia tipo B e cheia tipo C.

- Cheias tipo A: Apresentam graficamente um pico principal mais importante, precedido e sucedido por vários outros que aumentam e diminuem de magnitude sucessivamente caracterizando um efeito de cascata. Esse tipo de cheia é formada em média por sete picos e pode ocorrer até duas vezes ao ano.
- Cheias tipo B: São representadas tanto por cheias ordinárias quanto extraordinárias. Apresentam três picos sucessivos de subida rápida, no qual geralmente dois são de magnitude mais importante.
- Cheia tipo C: São as ondas de cheias mais típicas e frequentes. São caracterizadas apenas por um pico principal de subida relativamente rápida, que pode vir ou não acompanhado de vários picos sem significado importante. Estas cheias podem ocorrer em um mesmo ano acompanhadas por cheias tipo A e B.

Após esta etapa de classificação das ondas de cheia foi realizada uma etapa de análise estatística dos padrões evidenciados. Ela constitui a determinação da distribuição de frequência absoluta, distribuição de frequência relativa e do tempo de retorno das diferentes tipologias de ondas de cheia, no período de tempo avaliado.

A distribuição de frequência absoluta é descrita como o número de dados de cada classe, enquanto que a distribuição relativa compreende os valores das razões entre as frequências simples e a frequência total (CRESPO, 2009).

Segundo Triola (2011) a distribuição de frequência relativa muitas vezes é expressa em termos de percentuais.

O tempo de retorno, por sua vez, é o inverso da frequência com que um evento pode ser igualado ou superado, ou seja, reflete a probabilidade com que uma dada variável hidrológica possa ser igualada ou superada, pelo menos uma vez num ano qualquer (UFLA, 2015).

Por fim, como forma de avaliar a representatividade em termos de magnitude de cada padrão de onda de cheia, foi realizada a identificação das ondas de cheia extraordinárias e sua respectiva classificação.

Para tanto foram utilizado como valor limitante das ondas ordinárias/extraordinárias a vazão de 2743,7m<sup>3</sup>/s, conforme proposto por Ferreira (2013) para o médio rio Doce, considerando que este valor compreende a médias das vazões de cheias anuais da região.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram classificadas um total de 64 ondas de cheia, uma vez que para cada ano analisado foram avaliados os padrões de 2 ondas de cheia.

A partir desta classificação pôde-se evidenciar, portanto, as classes mais predominantes na região, através da análise das distribuições de frequência absoluta e relativas.

Identificou-se um quantitativo ao longo da série histórica do médio rio Doce que 10 ondas de cheias são do tipo A, 29 ondas do tipo B e 25 ondas do tipo C (frequência absoluta), constituindo, portanto percentuais de respectiva ocorrência no período avaliado de 15,63; 45,31 e 30,06%.

As ondas de cheia do tipo A são menos frequentes ao longo das cheias anuais, no médio rio Doce. Desta forma, há, portanto uma probabilidade menos pronunciada de ocorrência destes eventos.

Conforme, descrito por Destefani (2005) este padrão de onda de cheia costuma se desenvolver e regredir por períodos de tempo bastante grandes, o que pode gerar inundações nas áreas de risco mais próximas aos leitos de cheias mais baixos que se prolongam até por mais de um mês e são muito expressivas em termos de vazão, constituindo sempre cheias extraordinárias, o que de certo pode gerar transtornos bem significativos à população residente nestas áreas. Contudo, por ocorrer em menor proporção são as outras tipologias de ondas de cheia ocorrentes na região que compreendem os eventos que denotam maior relevância.

As ondas do tipo C já constituem comparativamente as do tipo A, ondas mais frequentes, apesar de não serem absolutamente as mais comuns. Dada sua frequência de ocorrência ao longo dos anos, estas ondas possivelmente são responsáveis por grande parte dos impactos ambientais e socioeconômicos descritos nos relatórios do comitê de bacia hidrográfica do rio Doce e sistema de alerta de enchentes. Por não serem exclusivamente formadas por eventos extraordinários (DESTEFANI, 2005), tal como ocorre com as do tipo A, não necessariamente as cheias desse tipo levarão ao alagamento de todas as áreas de risco, em Governador Valadares. Possivelmente as áreas de cotas mais altas não sofrerão efeitos adversos em anos em que estas ocorrem como eventos ordinários.

Entretanto, dado seu tempo de desenvolvimento em curto espaço as cheias do tipo A, cerca de poucos dias ou mesmo horas, os órgãos que assistem aos moradores residentes nas áreas de risco, notoriamente a defesa civil, devem estar bem articulados, pois disporão de tempo reduzido para atuação para retirar os moradores das áreas atingidas pelos eventos.

Por fim, de todos os padrões de cheia identificados o que compreendeu o mais frequente foi o de cheia tipo B. Este tipo de onda não possui desenvolvimento e dissipação que se prolongam por meses, como as do tipo A, tampouco são tão rápidas quanto as do tipo C, mas na verdade configuram um padrão temporal de desenvolvimento que fica situado entre as duas classes citadas. Desta forma, as ações de atenção aos moradores das áreas de risco demandam certa agilidade, porém não da mesma magnitude daquelas ondas do tipo C.

A análise relativa ao tempo de retorno corrobora para as tendências de recorrência de eventos de ondas de cheia já observadas pelos resultados da análise das frequências absoluta e relativa. De fato a onda com menor probabilidade de ocorrência ao longo dos anos hidrológicos compreende as do tipo A, tempo de retorno de 3 anos. Apesar de esta classe ser menos frequente o tempo de retorno de 3 anos das cheias tipo A, sugere que estes eventos não são de magnitude tão pronunciada a ponto de representarem eventos raros, contudo tem menor probabilidade de ocorrência que as outras tipologias.

As demais ondas, tipo B e tipo C, tempo de retorno de 1 ano, por sua vez possuem probabilidade de ocorrência muito maior, constituindo eventos que podem se repetir quase que anualmente.

Por fim, a análise da ocorrência de ondas de cheia extraordinárias dentre todos os padrões de cheias identificadas é apresentada nas tabelas 1 e 2, a seguir.

**Tabela 1: Ocorrência de cheias extraordinárias.**

ANO DA OCORRÊNCIA	Nº DE REGISTROS DE CHEIA EXTRAORDINÁRIA	TIPO DE ONDA DE CHEIA
1972-1973	1	B
1976-1977	1	A
1979-1980	1	A
1981-1982	2	C – A
1984-1985	1	A
1990-1991	1	C
1991-1992	1	A
1995-1996	1	A
1996-1997	2	C – C
2001-2002	1	A
2002-2003	1	A
<b>TOTAL</b>	<b>13</b>	

**Tabela 06: Classes das ondas extraordinárias.**

CHEIAS EXTRAORDINÁRIAS	CLASSES DE ONDA DE CHEIA		
	A	B	C
	8	1	4

No que tange a frequência das ondas de cheia extraordinárias; que representam as tipologias mais significativas, uma vez que representam anomalias positivas das cheias anuais; aquela que notoriamente é a mais importante compreende as do tipo A.

A própria definição conceitual desta tipologia já garante que ela necessariamente é formada por eventos extraordinários, logo, quando ocorrem elas já tem grande potencial de produzir impactos devido a gerarem vazões muito pronunciadas, que possivelmente abrangem grandes manchas de inundação, o que por sua vez gera a necessidade de remoção de um grande contingente populacional das áreas de risco.

Se pensarmos ainda, que este padrão de onda de cheia possui evolução gradual, de tempo prolongado, há duas situações distintas. A primeira é que em tese devido ao lento desenvolvimento da onda de cheia, há tempo hábil para uma tranquila remoção de toda a população residente nas áreas a serem atingidas pela onda. A segunda é que as áreas atingidas pela onda tendem a permanecer inundadas por muito mais tempo, protelando assim o tempo de retorno das comunidades residentes nestas áreas.

As do tipo B, apesar de poderem ser tanto ordinárias quanto extraordinárias (DESTEFANI, 2005), se configuram no médio rio Doce como eventos predominantemente ordinários, com apenas um registro extraordinário, ao longo do período analisado. Desta forma, as ondas tipo B constituem eventos que não ensejam um olhar atencioso, quanto a sua magnitude, mas de relevância notória quanto ao seu desenvolvimento, conforme já elucidado anteriormente.

As do tipo C, por outro lado, apresentam um número de ocorrência, como eventos extraordinários, não tão pronunciados quanto as do tipo A, mas não desprezível, como as do tipo B. Logo, podem ocorrer com frequência mediana, o que demanda um nível de atenção maior, tanto pela magnitude que podem alcançar, quanto pelo desenvolvimento extremamente rápido, o que pode ser um grande entrave as ações de atenção a população residente nas áreas de risco, uma vez que elas necessitam ser realizadas em curto espectro temporal.

## CONCLUSÃO

Todas as ondas de cheias previstas nos critérios de classificação adotados nesta pesquisa são observadas na bacia do rio Doce, contudo, no médio curso da bacia há notável predominância da ocorrência de cheias do tipo B, seguida das do tipo C e A, respectivamente.

As ondas tipo B ensejam especial atenção por serem ondas que levam relativamente pouco tempo de desenvolvimento, demandando assim ações rápidas e articuladas dos órgãos que fazem parte do sistema de alerta contra enchentes do rio Doce, a fim de remover a população das áreas de risco em tempo hábil.

Por outro lado, apesar de não serem ondas muito comuns na região, as ondas tipo A demanda igual atenção, uma vez que por serem notoriamente caracterizadas como eventos extraordinários, de maior ocorrência na região, elas tem potencial de gerar as maiores manchas de inundação, que se perduram por longo período de tempo, uma vez que possuem lento desenvolvimento e dissipação.

Apesar de não terem a mesma representatividade em termos de ocorrência histórica há grande potencial para a ocorrência frequente de todas no médio rio Doce, uma vez que possuem pequeno tempo de retorno.

Este trabalho constituiu uma contribuição inicial para o conhecimento do comportamento das ondas de cheia no médio rio Doce e deve ser complementada por outras pesquisas que busquem avaliar de forma mais detalhada não somente o padrão das cheias na região, mas também as possíveis causas que modulam o padrão de cada onda de cheia, a fim de que seja possível propor ações que tenham efeito de tamponamento nos picos das cheias anuais, podendo assim reduzir os impactos decorrentes das mesmas.

Por fim, é necessário ressaltar que as ações dos órgãos do sistema de alerta contra enchentes no médio rio Doce são notoriamente relevantes uma vez que, conforme comprovado no trabalho, há potencial para gerar inúmeros impactos

socioambientais nas ondas de cheia, contudo, estes impactos podem ser reduzidos na medida em que o sistema opera com precisão na predição das ondas de cheia e no rápido tempo de resposta a estes eventos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. *AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA)*. Hidroweb. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 26/02/2015
2. AMARAL, R.; RIBEIRO, R.R. 2009. *Inundação e Enchentes*. In: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. 2009. *Desastres Naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo, Instituto Geológico, p. 39-52
3. CABRAL, L.S.L. *Análise estatística do regime de vazões do rio Doce, no município de Governador Valadares (MG) e sua relação com a UHE Baguari*. 2013. 25F. Monografia (Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Minas Gerais, Governador Valadares. 2013.
4. *COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE (CBH-DOCE)*. Disponível em: <<http://www.cbhdoce.org.br/a-bacia/>> Acesso em: 18/04/2015.
5. CRESPO, A. A. *Estatística Fácil*. 19ª Edição. São Paulo: Saraiva, 2009.
6. DESTEFANI, E. V. *Regime hidrológico do rio Ivaí, PR*. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2005.
7. *DIÁRIO DO RIO DOCE*. A terceira pior enchente da história. Publicado em 06/01/2012. Disponível em: <<http://www.drd.com.br/news.asp?id=50089788440100002>> Acesso em: 19/03/2015.
8. ECOPLAN – LUME. *Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce e dos Planos de Ações para as utilidades de planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do rio Doce*. Contrato nº 043/2008 – IGAM. Jun.2010. 418p.
9. FERREIRA, R. L. *Análise da magnitude das cheias do médio rio Doce: classificação e estudo de caso de cheia pronunciada*. Monografia (Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Minas Gerais, Governador Valadares. 2013.
10. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE)*. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=312770>> Acesso em: 22/04/2015.
11. POMPÊO, C. A. drenagem urbana sustentável. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol. 5, nº1. 2000, p. 15-23.
12. TRIOLA, M. F. *Introdução à estatística*. 10ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
13. TUCCI, C. E. M. *Inundações urbanas*. Coleção ABRH, volume 11. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.
14. TUCCI, C. E. M. *Inundações urbanas*. 1995. Disponível em: [http://4ccr.pgr.mpf.mp.br/ccr4/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros\\_documentos\\_tecnicos/curso-gestao-do-terrorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/drenagem1.PDF](http://4ccr.pgr.mpf.mp.br/ccr4/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-terrorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/drenagem1.PDF)>. Acesso em: 30/09/2014.
15. UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA). *Hidrologia estatística: conceitos e aplicações*. Disponível em: <[http://www.deg.ufla.br/site/\\_adm/upload/file/Hidrologia%20I/hidrologiaestatistica.PDF](http://www.deg.ufla.br/site/_adm/upload/file/Hidrologia%20I/hidrologiaestatistica.PDF)> Acesso em: 29/05/2015.