



## CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO: A EXPERIÊNCIA DA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Petry, André<sup>\*</sup>, Laus, Fernanda<sup>†</sup>, Anderáos, Alexandre<sup>‡</sup> and Bomfim, Marcio<sup>§</sup>

<sup>\*</sup> Agência Nacional de Águas (ANA)

Setor Policial, área 5, Quadra 3, Bloco "M", Sala 116, 70610-200, Brasília, Brasil

e-mail: andre.petry@ana.gov.br, webpage: www.ana.gov.br

**Palavras chave:** Barragens, Classificação, Dano Potencial Associado, Mapa de Inundação

**Resumo.** *Com a edição da Lei nº 12.334/2010, que criou a Política Nacional de Segurança de Barragens, a Agência Nacional de Águas tornou-se fiscalizadora da segurança de barragens de usos múltiplos em rios federais. Após a consolidação do cadastro de barragens sob sua jurisdição, verificou-se o grande desafio de classificar esses barramentos, principalmente quanto ao Dano Potencial Associado – DPA, devido à precariedade dos dados de relevo e outros dados dessas barragens. Para estruturar os procedimentos de classificação, a ANA contou com apoio do Banco Mundial, com participação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal. Um dos produtos desenvolvidos foi um método simplificado para geração de mancha de inundação devido ao rompimento de barragem, baseando-se apenas em dados como altura, volume e localização e usando o SRTM como Modelo Digital de Elevação. A mancha gerada é para fins de classificação, e não substitui o estudo de rompimento a ser realizado pelo responsável pela barragem. A ANA adaptou a metodologia desenvolvida, tanto para a geração da mancha de inundação simplificada como para os critérios descritos na matriz de classificação do CNRH. Após a classificação de 136 barragens quanto ao DPA, as conclusões são que o método de geração da mancha de inundação simplificada é uma ferramenta barata e de fácil utilização, recomendada principalmente para a classificação de barragens, ou ainda para uma estimativa inicial de área inundada, sendo ideal para órgãos fiscalizadores com pouca informação sobre as barragens e falta de pessoal qualificado em simulações mais complexas. A maior dificuldade observada ocorre em barragens muito pequenas, onde a mancha simplificada resultante é conservadora, resultando em dificuldade de se determinar o DPA mais próximo possível da realidade.*

### 1 INTRODUÇÃO

No ano de 2010 foi promulgada a Lei nº 12.334<sup>1</sup>, que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens, e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Nesta Lei foi definido que o órgão que autorizou a implantação da barragem é o responsável pela fiscalização da sua segurança. Assim coube à Agência Nacional de

---

<sup>†</sup> Agência Nacional de Águas (ANA)

<sup>‡</sup> Agência Nacional de Águas (ANA)

<sup>§</sup> Agência Nacional de Águas (ANA)

Águas – ANA a fiscalização das barragens por ela outorgadas, no caso barragens de uso múltiplo localizadas em rios de dominialidade federal (que cruzam mais de um estado ou país).

Nesta Lei também foram definidos os instrumentos para a sua aplicação, sendo um destes o sistema de classificação de barragens por Categoria de Risco - CRI e por Dano Potencial Associado - DPA. Neste sistema as barragens são classificadas pelos órgãos fiscalizadores segundo critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH. A classificação por CRI é feita em função das características técnicas, do estado de conservação do empreendimento e do atendimento ao Plano de Segurança da Barragem, enquanto que a classificação por DPA é feita em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes de uma eventual ruptura da barragem.

Para cumprir o seu papel fiscalizatório a ANA, primeiramente, buscou refinar seu cadastro de barragens, verificando a partir de imagens de satélite todos os espelhos d'água localizados em rios de dominialidade federal. Quando não era identificada a outorga de barragens em algum desses espelhos d'água, realizava-se um procedimento de fiscalização *in loco* para verificar se tratava-se realmente de uma barragem. Em caso positivo, eram levantadas, quando possível, informações técnicas sobre essas barragens, bem como seus empreendedores eram requisitados a se regularizarem através da outorga. Uma vez outorgadas, as barragens passaram a fazer parte do cadastro da ANA, podendo então ser classificadas quanto ao CRI e DPA.

Após a consolidação do cadastro, a ANA buscou classificar as barragens quanto ao DPA, pois para estruturas com DPA baixo, altura inferior 15 metros, volume inferior a 3 milhões de metros cúbicos e reservatório sem resíduos perigosos, a Lei nº 12.334 não se aplica. Com isso a ANA percebeu o tamanho do desafio que tinha pela frente, pois ao tentar iniciar o procedimento de classificação verificaram-se dois grandes problemas comuns à maioria das barragens brasileiras: ausência de dados de projeto e precariedade dos dados de relevo disponíveis. Sem dados de qualidade, tanto de relevo como de projeto, não era possível fazer simulações confiáveis de rompimento da barragem, impedindo assim a verificação da área potencialmente atingida, e conseqüentemente a classificação quanto ao DPA.

Pela inexperiência na área de segurança de barragens, a ANA buscou apoio técnico junto ao Banco Mundial para estruturar todos os seus processos neste tema<sup>2</sup>. Especificamente em relação à classificação de barragens, a ANA solicitou que fosse desenvolvido um método simplificado, correlacionando a distância inundada a jusante de uma barragem com os parâmetros conhecidos como volume e altura da barragem, usando uma base de dados de 145 casos de rompimentos de barragens compilados pelo *United States Army Corps of Engineers - USACE*. Essa simplificação foi necessária pois, a Lei estipulava prazos apertados para a classificação.

Além disso, foi solicitado que o método a ser desenvolvido fosse facilmente replicável, dado que outros órgãos fiscalizadores possuíam os mesmos problemas de falta de dados e esta ferramenta poderia ser utilizada nos seus procedimentos de classificação de barragens.

## **2 O MÉTODO SIMPLIFICADO DE GERAÇÃO DE MANCHA DE INUNDAÇÃO**

Com o auxílio do Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal - LNEC foi então desenvolvido um método simplificado para geração de mancha de inundação devido ao rompimento de barragem, baseando-se apenas em dados como altura, volume e localização e usando o SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) como Modelo Digital de Elevação. Mesmo com todas as simplificações envolvidas este método foi considerado útil para fins de classificação de barragens quanto ao DPA, e adotado pela ANA para classificar as suas barragens.

### 3.1 O método original desenvolvido pelo LNEC

A metodologia simplificada desenvolvida pelo LNEC visa delinear áreas a jusante de barragens que seriam inundadas por causa do rompimento ou mau funcionamento de uma barragem. Ela foi desenvolvida exclusivamente para efeitos de classificação do Dano Potencial Associado (DPA). Por se tratar de uma metodologia simplificada, considera-se que, apesar de ser adequada para efeitos de classificação das barragens pelo órgão fiscalizador, as áreas de inundação por ela produzidas não devem ser usadas nos Planos de Ação de Emergência (PAE), quando tal plano for exigido.

Para a elaboração do PAE, o empreendedor deverá contratar um levantamento detalhado do relevo e uma simulação com modelo hidrodinâmico de modo a obter uma área de inundação mais precisa, inclusive com o tempo de propagação da onda de ruptura.

A metodologia simplificada destinada à avaliação da área potencialmente afetada em caso de ruptura foi desenvolvida em função: (1) da informação disponível sobre a localização das barragens, dos cursos de água e da altimetria, e (2) da possibilidade de se recorrer a fórmulas empíricas para o cálculo da extensão da área de inundação, das vazões máximas da onda de cheia que ocorrem ao longo desta e do amortecimento da vazão máxima à medida que a onda de ruptura se propaga para jusante. Sinteticamente a metodologia simplificada contém os seguintes passos:

- a) cálculo empírico da extensão da área inundada para jusante;
- b) cálculo da vazão máxima na seção da barragem associada à sua ruptura;
- c) verificação da adequação da zona limite de jusante dada pelo cálculo empírico face à ocupação do vale na zona imediatamente a jusante, e eventual extensão deste limite mais para jusante por forma a cobrir eventuais zonas de ocupação relevantes que possam ser atingidas pela onda de ruptura;
- d) cálculo empírico da vazão de ruptura amortecida nas diversas seções transversais estabelecidas ao longo do vale para a análise hidráulica;
- e) obtenção da altimetria de seções perpendiculares ao vale principal onde se propaga a onda inundação;
- f) cálculo hidráulico simplificado do nível máximo da onda de inundação em cada uma das seções;
- g) criação da superfície máxima de inundação com base no ESRI ArcGIS;
- h) obtenção da área de inundação através de programa no ESRI ArcGIS;
- i) eventual consideração de fatores de correção para cobrir as incertezas associadas à área de inundação;
- j) delimitação da zona afetada a considerar para efeitos de classificação do DPA.

Uma das principais simplificações do modelo foi de que o volume máximo armazenado no reservatório foi considerado como o fator com principal relevância na determinação da distância a jusante até onde se fazem sentir os efeitos da onda de ruptura. Analisando-se casos reais de rupturas de barragens, foi estabelecida uma curva de regressão relacionando o volume armazenado com a distância máxima para jusante da zona potencialmente afetada. Para que esta curva fosse contínua, possibilitando assim a automatização do procedimento, foram impostos os limites mínimos (6,7 km), baseando-se no fato de que nesta distância ocorrem ao menos 50% das fatalidades, e máximo (100 km), valor considerado suficiente para classificação quanto ao DPA.

Para o cálculo das vazões de ruptura e amortecidas ao longo do vale a jusante da barragem também se recorreu a equações empíricas disponíveis na literatura.

Para a vazão máxima de ruptura na barragem foram adotadas as equações de Froehlich (1995) e MMC - Mapping, Modeling, and Consequences Production Center da USACE, dependendo da relação entre a altura e o volume da barragem.

Para volumes elevados em relação à altura, o método utiliza a equação do MMC:

$$Q_{max} = 0,0039(V_{max}^{0,8122})$$

Caso contrário, utiliza-se a equação de Froehlich (1995):

$$Q_{max} = 0,607(V_{max}^{0,295} \cdot H_{max}^{1,24})$$

Para as vazões amortecidas ao longo do canal, também são utilizadas duas equações. No caso de barragens com volume superior a 6,2 hm<sup>3</sup> segue-se as recomendações propostas pelo *United States Bureau of Reclamation - USBR* (1989), em que o amortecimento apenas depende da distância  $x$  da seção à barragem.

$$Q_x = Q_{max} 10^{-0,01243x} \quad Q_x = Q_{max} 10^{-0,01243x}$$

Para o caso de volumes inferiores a 6,2 hm<sup>2</sup> adotam-se os ábacos propostos em *Dams Sector* (2011), em que o amortecimento depende da distância e do volume do reservatório. Neste último caso também foi criada uma expressão para facilitar a automatização dos procedimentos.

$$\frac{Q_x}{Q_{max}} = a \cdot e^{b \cdot x}$$

$$a = 0,002 \ln(V_{max}) + 0,9626$$

$$b = -0,20047(V_{max} + 25000)^{-0,5979}$$

sendo:

- $x$  - distância à barragem (m);
- $V_{max}$  - volume do reservatório (m<sup>3</sup>);
- $Q_x$  - vazão máxima à distância  $x$  (m<sup>3</sup>/s) da seção da barragem;
- $Q_{max}$  - vazão máxima na seção da barragem (m<sup>3</sup>/s);
- $a$  e  $b$  - parâmetros obtidos por regressão multiparamétrica com base nas cinco curvas representadas na Figura 11.

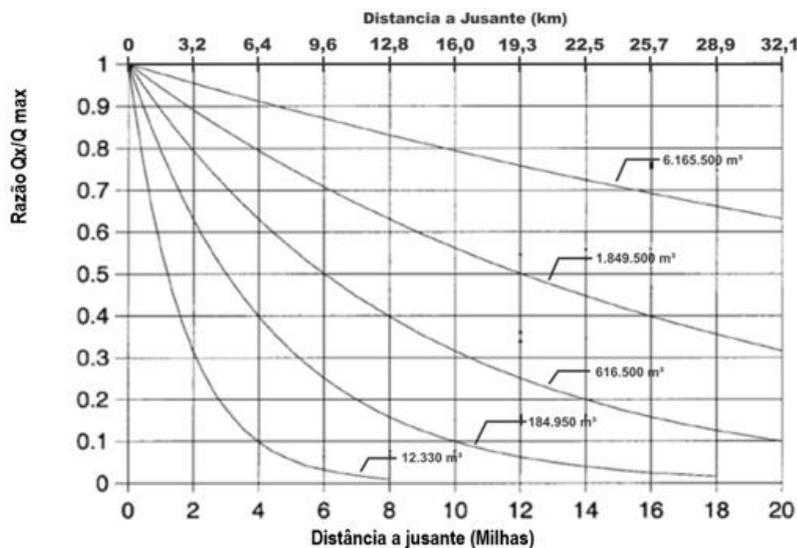


Figura 1 - Atenuação da vazão máxima com a distância para jusante da barragem (Dam Sector, 2011)

Para a caracterização da altimetria das seções perpendiculares ao vale principal onde se propaga a onda de cheia primeiramente se traça o talvegue do rio, e suaviza-se seu traçado para estabelecer as seções perpendiculares ao escoamento com ângulos menos acentuados entre si. A partir daí, através de procedimentos automatizados no software ESRI ArcGIS são traçadas as seções transversais em formato *Geodatabase*, e posteriormente, por interpolação, é extraída a cota altimétrica de cada ponto a partir das cotas correspondentes do modelo digital de elevação.

Para o cálculo do nível máximo da onda de cheia em cada uma das seções foi estruturada uma planilha de cálculo em Microsoft Excel que possibilita o carregamento automático dos dados altimétricos referentes a cada uma das seções transversais, calculando a capacidade de transporte de cada seção transversal com base na equação de *Manning-Strickler*.

$$\frac{Q_x}{\sqrt{j}} = K_s \cdot A \cdot R^{2/3}$$

onde:

- $Q_x$  - a vazão máxima à distância  $x$  da seção da barragem ( $m^3/s$ );
- $j$  - a inclinação da linha de energia com base no esquema da Figura 2;
- $K_s$  - o coeficiente de rugosidade de *Manning-Strickler*, valor admitido de  $K_s=15 m^{1/3}s^{-1}$ ;
- $A$  - a área da seção de escoamento ( $m^2$ );
- $R$  - o raio hidráulico da seção de escoamento (m).

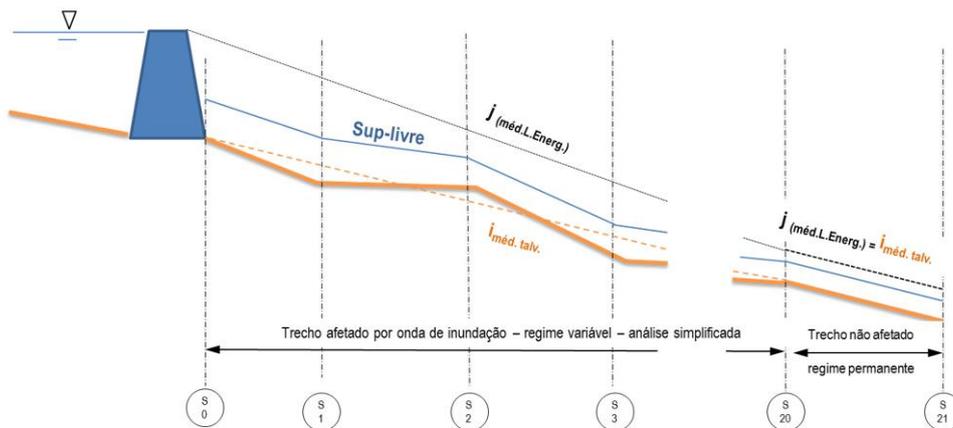


Figura 2 - Esquema traduzindo o funcionamento hidráulico simplificado, baseado no cálculo da capacidade de transporte de cada seção transversal

Assim por meio do método de cálculo hidráulico simplificado é possível estimar os níveis máximos atingidos pela onda de inundação num número pré-definido de seções transversais, com base em dados de simples obtenção.

As alturas máximas assim calculadas são então carregadas no *ArcMap* e são associadas às seções transversais, ficando cada linha de seção com uma altura máxima de inundação. A partir destas linhas, gera-se uma superfície máxima de inundação recorrendo a uma ferramenta de triangulação que faz uma interpolação entre as linhas das seções com as respectivas altitudes de inundação. O produto é uma superfície em formato de Rede Triangular Irregular (TIN).

Finalmente, o relevo é subtraído dessa superfície, de modo que as áreas em que o relevo é mais alto ficam com valores negativos e são descartadas, restando apenas as áreas próximas ao rio, onde a superfície de inundação é mais alta que o SRTM.

Por fim, em função da qualidade dos dados de base, nomeadamente os do modelo digital de elevação e dos dados georreferenciados (localização da barragem, *shapefiles* das linhas de águas e imagens satélite), foram propostos fatores de correção dos resultados do cálculo hidráulico simplificado, de forma a serem tidos em conta os erros associados à delimitação da área inundada decorrentes das incertezas dos próprios dados. Assim foram inseridos no modelo simplificado as seguintes correções:

- Acréscimo de 3,0 m nas cotas da superfície de inundação, já que os erros altimétricos absolutos do modelo digital de elevação SRTM para a América do Sul são na ordem de 6,2 m;
- Criação de um buffer mínimo de 250 m a partir do traçado do rio, já que foi verificado na literatura que este é o erro de geoposicionamento verificado entre as imagens de satélite do Google Earth e os valores de referência.

De forma global, pode dizer-se que a metodologia desenvolvida, ainda que simplificada, tem fundamentação técnica, sendo baseada em múltiplas fórmulas empíricas apresentadas em estudos de casos reais de rupturas e de modelos matemáticos de simulação de rupturas de barragens em exploração.

Esta metodologia simplificada permite o mapeamento da zona de inundação com algum grau de automação de procedimentos, não dispensando a análise de resultados intermediários do procedimento, nem algumas correções manuais ao método geral, sendo estas ditadas por certas especificidades de cada caso.

### **3.2 O método modificado pela ANA**

Ao implantar os procedimentos preconizados pelo LNEC na ANA, constatou-se que haviam ocorrido alguns melhoramentos nos dados, como por exemplo o modelo digital de elevação SRTM disponível à época do desenvolvimento pelo LNEC tinha pixel de 90 m, no entanto, ao final de 2015 foi disponibilizada uma nova versão com pixel de 30 m. Além disso, o posicionamento relativo entre o SRTM e as imagens disponíveis tanto no Google Earth quanto na base do ESRI ArcGIS foi melhorado. Assim, foram feitos os seguintes incrementos na metodologia:

- Foi utilizado o modelo digital de elevação SRTM com pixel de 30 m, criando-se um mosaico cobrindo todo o território brasileiro. Como isso aumentou consideravelmente o tempo de processamento, foi criada uma rotina onde recorta-se esse mosaico na região de interesse a cada barragem processada;
- A digitalização do rio foi feita de acordo com o talvegue do SRTM, eliminando a principal diferença entre as informações de entrada, que era a falta de coincidência entre o traçado do rio e o Modelo Digital de Elevação. Além disso houve um melhoramento no posicionamento entre o SRTM e as imagens do Google Earth. Com esses dois novos fatores foi possível eliminar o buffer de 250 metros em torno do rio previsto na metodologia original, tornando mais realistas as manchas de inundação das barragens, principalmente as de menor tamanho;
- Considerando que os erros relativos entre um pixel do SRTM e seus vizinhos é muito menor do que o erro absoluto de 6m levantado pelo LNEC e que as cotas máximas da onda de ruptura são calculadas somando a altura da onda à cota do talvegue obtida do SRTM; considerando que a precisão geral do método aumentou com a redução do pixel para 30m; e considerando a experiência da USGS norte-americana que usa os valores puros de seus modelos de elevação nos estudos de rompimento de barragens, decidiu-se eliminar o acréscimo de 3m pois este introduzia uma “correção” excessiva, aumentando o erro do processo, ao invés de reduzi-lo.

- Outra medida foi abrir a possibilidade de utilizar o valor da cota de coroamento da barragem obtido do SRTM, no caso de barragens que já existiam e estão registradas nesse modelo. Por vezes encontrou-se diferenças entre os valores de projeto da barragem e as cotas do SRTM que ocasionavam erros de processamento. Em cada caso o analista deve decidir qual o melhor valor a ser utilizado. Usando valores locais eliminam-se discrepâncias em relação aos valores absolutos.

Além dessas alterações a ANA desenvolveu programas na linguagem Python e conseguiu aumentar o grau de automatização das etapas de geração da mancha, uniformizando as configurações necessárias e agilizando as diversas etapas do processo. Como resultado a geração das manchas de inundação tornou-se um processo rápido e mais próximo da realidade, preservando em grande parte a essência do método proposto originalmente.

### **3.3 Os critérios complementares de classificação quanto ao DPA adotados pela ANA**

A classificação de barragens quanto Dano Potencial Associado deve seguir critérios gerais estabelecidos pelo CNRH. As barragens são classificadas em DPA alto, médio ou baixo em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem.

Com base nesses critérios, a ANA fez à época uma classificação inicial quanto ao DPA das 113 barragens que possuíam dados confiáveis (representando cerca de 88% das barragens em cadastro). Deste conjunto, 92 barragens (81%) resultaram em DPA alto, gerando dificuldades na fiscalização por excesso de rigor. Além disso, se a classificação coloca quase todas as barragens em um mesmo patamar, o instrumento perde a característica de servir como uma priorização de esforços, ou seja, focar naquelas barragens que apresentem maior risco à sociedade.

Analisando-se os critérios, verificou-se que nos itens impactos ambientais e socioeconômicos as pontuações associadas eram muito rigorosas, com poucas classes de escolhas, não permitindo uma correta associação com a realidade verificada em campo. Por exemplo, no item impacto ambiental as únicas opções de escolha são impacto significativo ou muito significativo. Em barragens muito pequenas acredita-se que o impacto ambiental não necessariamente seja significativo, então a existência de uma outra classe de escolha com pontuação menos rigorosa refletiria melhor a realidade.

A ANA então estabeleceu, para fins de classificação de suas barragens quanto ao DPA, classes intermediárias nos critérios relacionados ao impacto ambiental e ao impacto socioeconômico, buscando uma complementação e detalhamento dos critérios de classificação do CNRH. É importante ressaltar que esses critérios complementares valem somente para as barragens fiscalizadas pela ANA. Os demais órgãos fiscalizadores devem seguir os critérios estabelecidos pelo CNRH, a menos que criem seus próprios critérios complementares.

Como resultado dessa alteração nos critérios complementares houve uma maior distribuição do DPA entre as classes alto, médio e baixo, refletindo e hierarquizando com mais precisão a realidade das barragens fiscalizadas pela ANA.

## **3 ANÁLISE DA CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS PELA ANA QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO**

Após as alterações realizadas na metodologia de geração da mancha de inundação e dos critérios complementares de classificação quanto ao DPA, a ANA iniciou o processo de classificação de suas barragens. Até o momento foram classificadas 136 barragens, e em todas foi utilizada a mancha simplificada de inundação como referência para a área de análise.

Verifica-se que o objetivo inicial desse método simplificado, que era de gerar uma mancha de inundação de forma rápida a partir de dados básicos de entrada, foi atingido plenamente. Mesmo com os dados escassos de características técnicas das barragens foi possível estabelecer a mancha de inundação para todas as barragens fiscalizadas pela ANA. E mesmo com as simplificações e correções manuais que devem ser feitas ao longo do processo, na grande maioria dos casos a mancha final foi considerada próxima da realidade, sendo adequada para fins de classificação quanto ao DPA.

A automatização do método de geração da mancha simplificada tornou essa ferramenta simples e barata, que não necessita de um técnico especializado em modelagem hidráulica para executá-la. Com alguns conhecimentos básicos da ferramenta ESRI ArcGIS é possível que qualquer técnico da ANA, seja qual for sua qualificação profissional, execute a rotina de procedimentos e gere a sua mancha de inundação simplificada para uma barragem. Após a repetição desse procedimento algumas vezes chega-se ao tempo médio de 2 horas como o necessário para geração dessa mancha simplificada.

Para órgãos fiscalizadores que possuem muitas barragens para classificar, a geração de uma mancha de inundação em 2 horas por qualquer técnico com conhecimentos mínimos de software ESRI ArcGIS é algo que pode reduzir de forma rápida o passivo existente. É possível utilizar esta metodologia para uma verificação inicial da classificação quanto ao DPA, de forma rápida e que atenda a Lei nº 12.334. Em casos mais complexos é recomendável utilizar-se de métodos mais refinados, desde que haja dados para isso.

Esta foi a estratégia utilizada pela ANA para diminuir seu passivo, pois desde a criação da Lei nº 12.334 a ANA ainda não tinha oficialmente classificado nenhuma barragem quanto ao DPA. Então ela utilizou a metodologia simplificada de geração de mancha de inundação para todas as suas barragens, refinando a análise em casos mais específicos. Este processo foi feito no início de 2017 e durou aproximadamente 3 meses para as suas 136 barragens. Após a classificação, todos os empreendedores foram notificados, e somente um deles questionou a classificação realizada pela ANA. Isso mostra que, apesar das simplificações envolvidas, os resultados gerados são adequados a seus fins.

Agora que não existe mais um passivo de barragens a classificar, somente novas barragens outorgadas é que devem ser classificadas. Como não é todo dia que uma barragem é outorgada, existe mais tempo disponível para uma análise mais criteriosa. Mesmo assim a ANA ainda utiliza a metodologia simplificada inicialmente, e caso perceba que existem dúvidas na geração da mancha ou na classificação da barragem, e se os dados disponíveis permitirem, recorre a métodos mais refinados.

A Tabela 1 resume os resultados obtidos com a classificação realizada pela ANA. Verifica-se que, apesar da grande maioria das barragens ainda ser classificada como DPA alto (61%), cerca de 30% delas são classificadas como DPA baixo, o que não ocorria antes das alterações na metodologia e nos critérios complementares quanto ao DPA. Em geral as barragens de grande porte foram classificadas como DPA alto, e as barragens de pequeno porte como DPA baixo, o que reproduz mais fielmente a realidade.

DPA	Quant.	Volume máx (hm <sup>3</sup> )	Volume med (hm <sup>3</sup> )	Volume min (hm <sup>3</sup> )	Altura máx (m)	Altura med (m)	Altura min (m)
Alto	83	2400,0	93,6	0,2	69,4	24,7	6,0
Médio	12	4,8	1,4	0,1	16,0	11,2	5,2
Baixo	41	11,7	0,9	0,1	25,1	6,2	1,0

Tabela 1: Resultados da classificação quanto ao DPA das barragens fiscalizadas pela ANA.

Para as barragens de grande porte, verifica-se que a metodologia simplificada de mancha de inundação é adequada para fins de classificação quanto ao DPA, pois a extensão da

mancha gerada é suficiente para determinar os impactos ambientais, socioeconômicos e de perdas de vidas humanas. Na realidade brasileira essas grandes barragens geram benefícios à região, atraindo populações para seu entorno e a jusante dela. Por isso geralmente encontram-se núcleos populacionais na área possivelmente atingida por um rompimento de barragem, o que leva a classificação delas como DPA alto. Nesses casos a metodologia simplificada de geração de mancha de inundação é mais recomendada, pois traduz de forma mais simples, rápida e barata o resultado esperado.

Entretanto para as barragens de pequeno porte é necessário maior cuidado na utilização da metodologia simplificada. Neste método a extensão da mancha de inundação é de no mínimo 6,7 km, valor imposto na curva de regressão. Isso torna a mancha de inundação conservadora para barragens muito pequenas, pois essa distância muitas vezes é superior à distância eventualmente calculada baseando-se em modelos de cálculo hidráulicos mais robustos, o que pode levar a classificações quanto ao DPA superiores às que realmente deveriam ser.

Além disso observou-se que o processo de geração da mancha de inundação simplificada apresenta dificuldades em regiões planas, como no caso da região da Amazônia brasileira. Nessas regiões os dados do terreno disponíveis não são bons, e as manchas geradas muitas vezes apresentam grandes descontinuidades ou mesmo não fazem algum sentido. Nesses casos muitas correções manuais são necessárias, o que gera mais incerteza na definição da área eventualmente atingida.

Após a utilização do método simplificado, a ANA corrobora a observação feita pelos criadores da metodologia de que ela deve ser utilizada apenas para fins de classificação quanto ao DPA. Ela não pode ser utilizada em mapas de inundação pois não permite simular diversos aspectos hidrodinâmicos da onda de inundação, destacando-se que:

- nem o hidrograma afluente ao reservatório, nem o progressivo desenvolvimento da brecha de ruptura são simulados e, conseqüentemente, as características do regime variável associado à propagação da onda ao longo do vale a jusante não são calculadas pelo modelo simplificado;
- o modelo não respeita a continuidade do escoamento ao admitir o regime permanente em cada seção transversal, ou seja, admite que a vazão em cada seção é a vazão de pico estimada com base na metodologia empírica;
- ao se admitir que o nível de água no reservatório é constante e coincidente com o coroamento da barragem para efeitos da estimativa da inclinação da linha de energia, ignora-se que durante a ruptura ocorre um abaixamento progressivo do nível no reservatório e a desprezar as perdas de energia localizadas, por exemplo, nas curvas do rio e nas confluências com outras linhas de água;
- ao não ser considerado o regime variável, o modelo de cálculo hidráulico simplificado não permite calcular em cada seção transversal, quer a evolução temporal da velocidade de escoamento, quer a do nível de água, parâmetros estes que, apesar de serem muito importantes para a elaboração do Plano de Ação e Emergência - PAE, são considerados dispensáveis para efeitos da classificação do DPA.

#### **4 CONCLUSÕES**

A tarefa de classificar as barragens quanto ao DPA não é nada fácil na realidade brasileira, principalmente pelo grande número de barragens existentes, pela falta de dados de projeto e de terreno precisos. Por isso a ANA buscou junto ao Banco Mundial e LNEC a criação de uma metodologia simplificada que permitisse a geração de uma mancha de inundação, a partir de dados básicos, e que fosse de fácil utilização e replicável. A metodologia

criada atendeu a todos os objetivos, pois permite a geração de uma mancha de inundação de forma simples e rápida, com resultados satisfatórios.

A experiência da ANA mostra que essa ferramenta pode ser extremamente útil aos órgãos fiscalizadores na diminuição do passivo de barragens classificadas quanto ao DPA, principalmente para as barragens de grande porte. Já para as barragens de pequeno porte deve-se fazer uma análise mais criteriosa, pois pela experiência da ANA geralmente as manchas de inundação geradas são conservadoras.

Deve-se ressaltar que esta metodologia é recomendada apenas para fins de classificação quanto ao DPA, não devendo ser utilizada na elaboração de mapas de inundação para fins de inclusão nos planos de ação e emergência oficiais.

## **REFERÊNCIAS**

- [1] Brasil, *Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010*, Brasília, Brasil (2010).
- [2] Banco Mundial, *Contrato 051/ANA/2012*, Banco Mundial, Brasília, Brasil (2014).