

## **XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

### **ANÁLISE DA POSSIBILIDADE DO ROMPIMENTO EM CASCATA PARA A CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS LOCALIZADAS NO MUNICÍPIO DE VÁRZEA GRANDE, MT**

*Angélica Luciana Barros de Campos<sup>1</sup>; Ruben Jose Ramos Cardia<sup>2</sup>*

**RESUMO** – No estado de Mato Grosso - MT é comum encontrar barragens de usos múltiplos situadas no mesmo corpo d’água, podendo ser consideradas em cascata, quando o rompimento de uma barragem, provoca efeitos negativos nas barragens a jusante. Então, existe a necessidade de desenvolver procedimentos diferenciados para classificação e regularização dessas barragens. Assim, o objetivo do trabalho é analisar a possibilidade do rompimento de barragens situadas no mesmo curso d’água, no município de Várzea Grande, MT e realizar a classificação do DPA dessas barragens. Para isso, foi utilizada a “Metodologia Simplificada para Definição da Mancha de Classificação do Dano Potencial Associado (DPA) da Barragem” desenvolvida pelo LNEC e adaptada pela ANA. Foram geradas Manchas de Classificação, considerando rompimento isolado e rompimento em sequência, de barragens situadas no mesmo rio. Pelos resultados da simulação observou-se que as barragens estudadas se caracterizam como ‘Barragens em Cascata’, pois o rompimento da barragem de montante (barragem 1), pode provocar o galgamento das barragens 2 e 3. Além disso, a classificação do DPA obtido para as barragens do estudo foi ‘Alto’.

**Palavras-Chave** - Barragem, Rompimento, Cascata.

**ABSTRACT**– In the state of Mato Grosso - MT one normally can find multiple finality dams, sited in the same water stream, and they may be considered as in a cascade when failure of a particular dam may provoke negative effect on those downstream dams. So, there exist a need to develop determined protocols to classify and regulate such dams. Main goal of this paper is the assessment of the possibility of dam failure for those sited in the same water stream, at Várzea Grande County, MT. Besides that assessment Classification of DPA for those dams may also be performed. The process used in the assessment was “Simplified Methodology in the Determination of the Shadow Contour for Associated Potential Damage – DPA Dam Classification” developed by LNEC e adapted by ANA. Within that system, Classification Shadow Contours were generated, having in mind: Separated Failure, as well Sequential Failure of dams in the same river. Results from dams modeling showed that those dams should be characterized as ‘Dams in a Cascade’, since failure of upstream dam (Dam D1), could cause overtopping and failure of following Dams D2 and D3 in the downstream path. Besides, Classification of DPA obtained for those dams attended in the study was ‘High’.

**Key-Words** - Dam, Failure, Cascade.

1) Afiliação: Assistente de Pesquisa IPEA/ANA, Rua C, s/n - Centro Político Administrativo, CEP: 78049-913, Cuiabá – MT, (65) 3613-7257, angelica.campos@ipea.gov.br

2) Afiliação: Pesquisador de Campo IPEA/ANA, Rua Gustavo Maciel n. 31-44; 17017-230 Bauru, SP; (14)3234-1702, ruben.cardia@ipea.gov.br

## INTRODUÇÃO

Segundo Fontenelle *et al.* (2018), o aumento do número de barragens tornou crescente a preocupação com a segurança dessas estruturas. Grandes acidentes com barragens chamaram atenção para este problema, já que as falhas destas estruturas podem causar danos ambientais irreversíveis, além de mortes de populações e de animais.

A maioria das barragens existentes (no estado de Mato Grosso) são de pequeno porte e muitas vezes mantidas por pequenos empreendedores que normalmente não possuem o conhecimento técnico suficiente para avaliações mais precisas e/ou recursos financeiros para a contratação de profissionais qualificados. Essa situação é comum em diversas regiões do Brasil e em outros lugares do mundo (Aguiar, 2014).

Grande parte dos acidentes com barragens, com perdas de vidas, ocorreu em barragens pequenas, com altura inferior a 30 m. Então, essas barragens se tornaram motivo de preocupação e de maior interesse de profissionais de segurança de barragens (ICOLD, 1997 *apud* Medeiros *et al.*, 2013).

No estado de Mato Grosso - MT é comum encontrar pequenas barragens localizadas no mesmo curso d'água (ou em talvegues), podendo ser apenas sequenciais (quando não há efeito negativo de uma barragem sobre a de jusante) ou em cascata. Muitas estão localizadas próximas a rodovias e/ou outras infraestruturas, representando risco elevado de Dano Potencial Associado (DPA).

O rompimento de barragens em cascata são aqueles causados pela possibilidade de ruptura de uma barragem, gerando uma onda de cheia e galgamento ou transbordamento de barragens existentes a jusante (em um mesmo curso d'água ou talvegue). É necessário que cada empreendedor trate adequadamente das barragens de sua propriedade, para não atribuir riscos adicionais às outras barragens na cascata (que podem até, serem de outros empreendedores). A onda de cheia causada por uma ruptura é, geralmente, maior do que a vazão de projeto do extravasor da barragem imediatamente a jusante, já que o volume do reservatório é liberado em um pequeno intervalo de tempo. Essa onda de cheia pode causar o transbordamento (“*overtopping*”) da barragem a jusante e sua ruptura (Fusaro *et al.*, 2012).

Uma vez que no estado de Mato Grosso - MT, já ocorreram rupturas em cascata, caracterizando-se como uma preocupação para o órgão fiscalizador, há necessidade de desenvolver procedimentos diferenciados para a regularização e classificação delas. Assim, o objetivo do estudo é analisar a possibilidade do rompimento de barragens situadas no mesmo curso d'água, no município de Várzea Grande, MT, realizar a classificação do DPA dessas barragens e assim, apresentar um procedimento para a classificação do DPA de barragens situadas no mesmo corpo d'água.

## METODOLOGIA

Para a análise da influência negativa das barragens localizadas no mesmo curso d'água, foi utilizada a “Metodologia Simplificada para Definição da Mancha de Classificação do Dano Potencial Associado (DPA) da Barragem”. Essa metodologia é atualmente utilizada pela Agência Nacional das Águas – ANA, para a classificação das barragens de sua competência. Ela é uma metodologia desenvolvida no LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, de Portugal) para a ANA, a qual gera uma mancha ou polígono de referência para a estimativa do DPA. A metodologia parte do princípio que os dados disponíveis tanto das barragens quanto do relevo, não possibilitam uma modelagem precisa do rompimento. Assim, a metodologia adequada foi simplificada para permitir o uso do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) como modelo digital de elevação e um mínimo de dados de entrada sem maiores descrições da geometria, tanto da barragem quanto do canal de escoamento jusante.

Portanto, o objetivo dessa mancha é apenas delimitar a área de análise para a classificação do DPA. Ela é semelhante a uma área de inundação, no entanto, não podemos entendê-la como uma mancha de inundação *stricto sensu*, devido à insuficiente precisão dos dados, principalmente dos dados de relevo (SRTM de 30 m). Ela se limita a ser uma referência em que o agente público, ou órgão fiscalizador de segurança de barragens, poderá se basear para priorizar a sua atuação (ANA, 2017).

Segundo ANA (2017), a metodologia (considerando a área a jusante da barragem e algumas seções transversais, de referência e controle), consiste nos seguintes procedimentos:

- Cálculo empírico da extensão do rio a ser modelada;
- Verificação da adequação do limite determinado, analisando a ocupação e a geomorfologia do vale a jusante da barragem;
- Cálculo da vazão máxima associada à ruptura da barragem;
- Cálculo das vazões de pico em cada uma das seções transversais ao longo do vale;
- Comparação da vazão amortecida em cada seção transversal ao longo do vale, com a vazão máxima do vertedouro;
- Obtenção da altimetria de pontos ao longo das seções transversais;
- Cálculo hidráulico para estimativa do nível máximo da onda de ruptura em cada uma das seções transversais;
- Criação da superfície envoltória da onda de ruptura;
- Obtenção do polígono, para a classificação de DPA;

- Eventual adoção de ajustes, para considerar características específicas do local.

Para a geração da mancha é necessário o uso do *software* ArcGis. No estudo, empregou-se a versão 10.5. Além disso, são necessários os seguintes dados: SRTM 30 m; Volume do reservatório; Altura da barragem; Cota de coroamento; e Imagens de satélite.

A análise do risco de rompimento em cascata das barragens ocorreu a partir de mapas temáticos com as manchas de classificação, onde foram avaliados de acordo com os aspectos da classificação do DPA apresentados na Resolução nº 132/2016 ANA, tais como: volume total do reservatório; potencial de perda de vidas humanas; impacto ambiental e impacto socioeconômico.

Para a análise foi realizado um estudo de caso utilizando as barragens 1 (B1), barragem 2 (B2) e barragem 3 (B3) localizadas no Ribeirão Esmeril, município de Várzea Grande, MT e apresentadas na Figura 1. São de terra homogênea, com uso prioritário para a atividade de aquicultura. Essas barragens estão cadastradas na Superintendência de Recursos Hídricos da SEMA-MT (Secretária de Estado de Meio Ambiente de Mato Grosso). Foram vistoriadas no ano de 2016 e possuem dados coletados em campo, pelos técnicos da SEMA-MT.



Figura 1 - Barragens utilizadas para a análise da influência negativa das barragens localizadas em um mesmo curso d'água

A localização e altura das barragens foram obtidos no relatório de vistoria da SEMA-MT. Já o volume, foi estimado a partir da área molhada e altura da barragem. A cota de coroamento das

barragens foi obtida no *Google Earth*. Os dados de entrada utilizados nas simulações são apresentados na Tabela 1. Nas simulações para a análise da influência negativa das barragens situadas no mesmo curso d'água foram considerados alguns cenários, onde poderiam ocorrer:

- Rompimento isolado de cada uma das barragens, de acordo com recomendações de ANA (2017);
- Rompimento em cascata das barragens B2 e B3, onde o rompimento inicial ocorre na barragem B2, mas dadas as limitações do aplicativo, se considera como ocorrendo na barragem B3, somando-se os volumes de água armazenada nas duas (volume da barragem B2 somado ao volume da barragem B3), como se fosse apenas na B3;
- Rompimento das 3 barragens. Neste caso (dadas as limitações da Metodologia), o rompimento modelado se dá na barragem B3 e o volume considerado na simulação foi a soma dos volumes das três barragens.

Tabela 1 - Dados de entrada para a geração da mancha de classificação do DPA, considerando diferentes cenários

| <b>Simulação</b> | <b>Cenário</b>                       | <b>Volume estimado (hm<sup>3</sup>)</b> | <b>Altura (m)</b> | <b>Cota de coroamento (manm)</b> |
|------------------|--------------------------------------|---|-------------------|----------------------------------|
| S1               | Rompimento isolado da barragem B1    | 0,24                                    | 2,7               | 175                              |
| S2               | Rompimento isolado da barragem B2    | 0,50                                    | 4,8               | 174                              |
| S3               | Rompimento isolado da barragem B3    | 0,39                                    | 6,3               | 173                              |
| S4               | Rompimento das barragens B2 e B3     | 0,89                                    | 6,3               | 173                              |
| S5               | Rompimento das barragens B1, B2 e B3 | 1,13                                    | 6,3               | 173                              |

Como a metodologia para a geração da mancha de classificação só consegue considerar os dados de apenas uma barragem, para os cenários do rompimento em cascata (simulação S4 e S5), a simulação foi iniciada na última barragem onde ocorreria o rompimento.

Logo, os dados de altura e cota de coroamento utilizados nas simulações S4 e S5 foram os dados da barragem B3, enquanto que o volume usado foi a somatória dos três reservatórios.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a mancha de classificação considerando apenas o rompimento da B1.

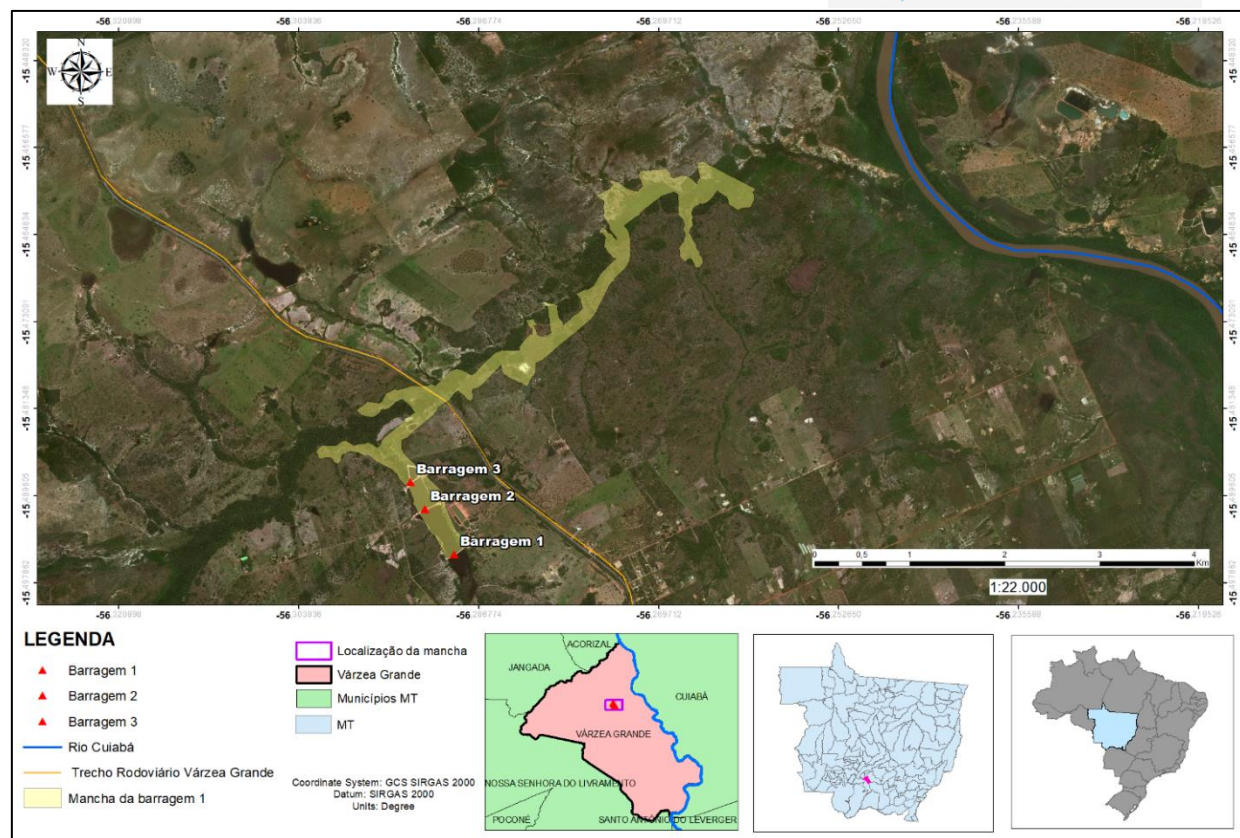


Figura 2 - Mancha gerada considerando a simulação 1

Pelas análises das manchas isoladas e pelos valores das cotas máximas obtidas, é possível perceber que o rompimento da barragem de montante (barragem B1), provavelmente provocaria o rompimento das barragens B2 e B3, pois as cotas máximas obtidas na simulação da barragem B1, nas seções das barragens B2 e B3, são: 175,32 manm (metros acima do nível médio do mar) e 174,33 manm, respectivamente. As cotas do coroamento dessas barragens são 174 manm e 173 manm, respectivamente, e assim, pela simulação, a água poderia passar por sobre a crista dessas barragens, o que provavelmente iria provocar o rompimento sequencial, por galgamento.

Situação semelhante ocorreu com as cotas máximas da simulação do rompimento isolado da barragem B2. Nesse caso, a onda provavelmente causaria a passagem das águas por sobre a barragem B3, de acordo com a simulação, pois a cota máxima da onda de cheia na seção onde localiza-se a barragem B3 é 174,89 manm e a cota de coroamento daquela barragem é 173 manm.

Pela Figura 3, percebe-se que as manchas geradas pelos rompimentos em cascata são maiores que as manchas considerando os rompimentos isolados das barragens.

Isso vem demonstrar a necessidade de um procedimento de regularização diferenciado para essas barragens, já que elas devem ser classificadas em conjunto, pois geram maiores consequências negativas em caso de ruptura, inclusive podendo afetar a rodovia situada a jusante.

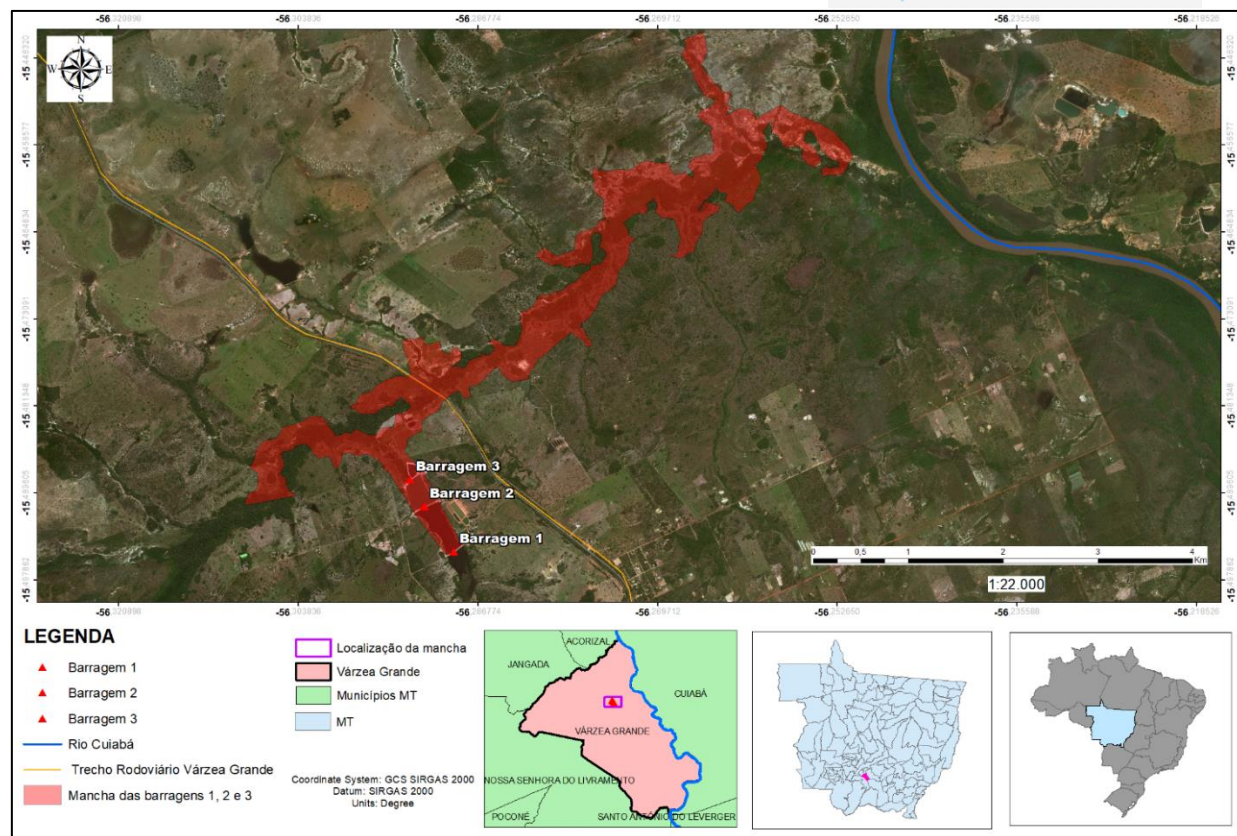


Figura 3 - Mancha das barragens B1, B2 e B3

Considerando a classificação das barragens isoladamente, todas são classificadas com DPA ALTO, conforme Resolução nº 143/2012 CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos). E, de acordo com a matriz de classificação quanto ao DPA, das Resoluções nº 132/2016 e nº 236/2017 da ANA, a mancha nos 3 casos passa por habitações onde há ocupação permanente, rodovia federal e tanques de aquicultura, como apresentada na Figura 4, totalizando DPA igual a 17 (a= 1, b= 12, c= 1, d= 3). Além disso, no Anexo 1 da Resolução nº 143/2012, havia a orientação para já considerar DPA ALTO, no caso de algum item do ‘EC- Estado de Conservação’ ser superior ou igual a ‘10’. O mesmo ocorreu considerando o rompimento das barragens em cascata, tanto para o cenário do rompimento das barragens B2 e B3, quanto para o cenário de rompimento das três barragens.

É importante mencionar que o próprio programa realiza o cálculo da extensão do rio a ser modelada. Para todas as simulações a distância limite calculada pelo programa foi de aproximadamente 7 km.

Logo, todas as manchas geradas possuem cerca de 7 km de extensão e, conseqüentemente, dão uma aparência (não confirmada) de que provavelmente, não chegariam ao rio Cuiabá.

No entanto, acredita-se que se a simulação ocorresse para uma distância maior, a mancha chegaria ao corpo d'água principal. Porém, acredita-se também, que o próprio rio Cuiabá teria condições de amortecer essa onda de cheia.

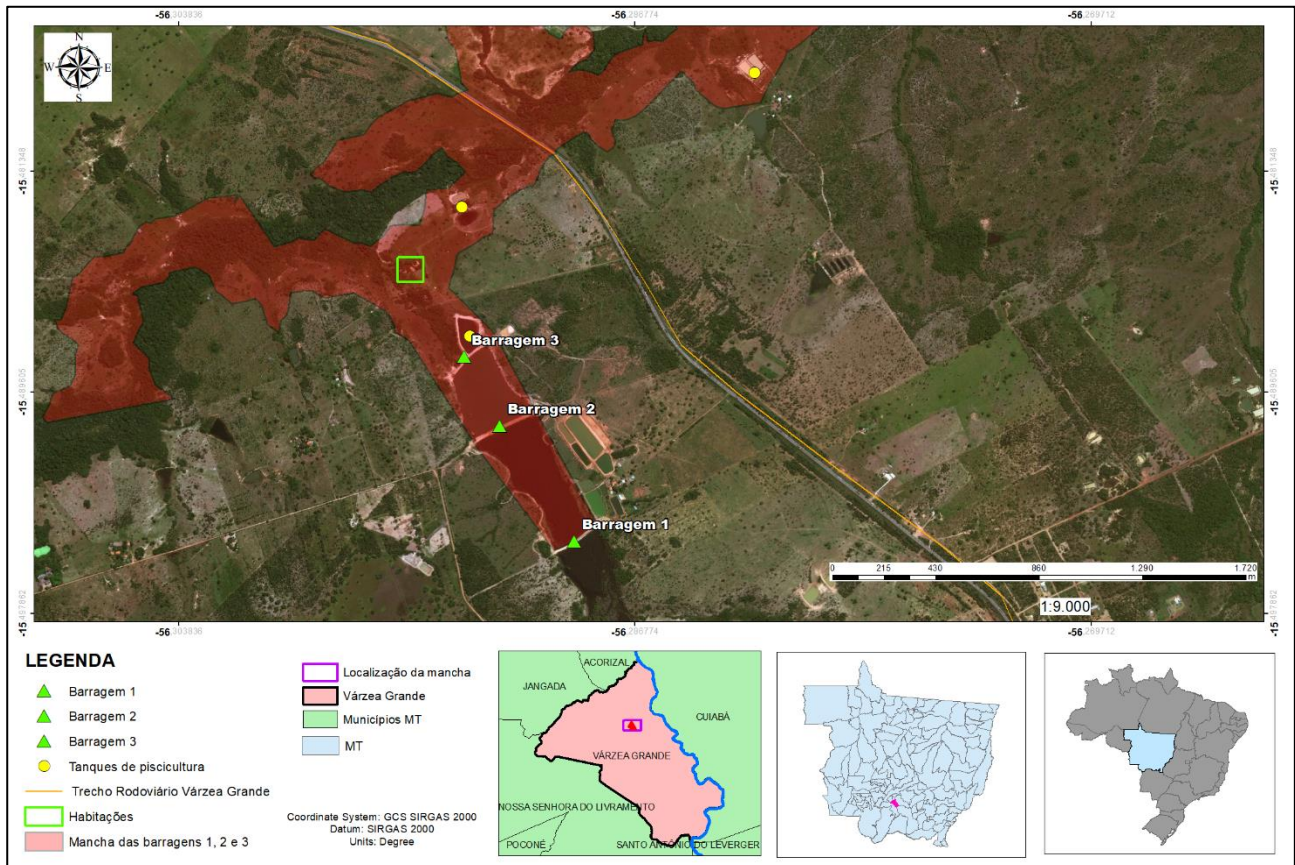


Figura 4 - Detalhe das habitações, tanques de aquicultura e trecho rodoviário presentes na mancha, considerando ruptura das barragens B1, B2 e B3

## CONCLUSÃO

A análise da influência negativa das barragens situadas no mesmo curso d'água é extremamente importante para que os órgãos fiscalizadores da segurança de barragens tenham ciência dos possíveis impactos das barragens em cascata (e não apenas sequenciais, quando não haveria ruptura em efeito 'dominó').

Isso irá permitir a exigência para que os empreendedores providenciem e apresentem ao órgão: estudos, relatórios e planos de ação, necessários para garantir a segurança dessas barragens, bem como as atividades imediatas de resiliência.



## AGRADECIMENTOS

Ao IPEA (Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas) e a ANA (Agência Nacional de Águas) pela concessão da bolsa aos pesquisadores, por meio do Projeto “Aperfeiçoamento de Ferramentas Estaduais de Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito do Progestão”. Aos técnicos da SEMA-MT pelo apoio. A todos, em especial à Enga. Fernanda L. de Aquino (ANA), ao Dr. Antenor Lopes de Jesus Filho (IPEA) e à Enga. Maria de Fátima Cardoso (SEMA-MT) pela autorização de uso e apresentação dos dados obtidos nos estudos.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, D. P. O. *Contribuição ao estudo do índice de segurança de barragens – ISB*. 2014. 166p. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

ANA – Agência Nacional de Águas. *Geração de manchas para classificação de barragens quanto ao dano potencial associado: Metodologia simplificada*. 2017. Disponível em: <<https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/handle/ana/319>> Acesso em: 14 ago. 2018.

BRASIL. Resolução ANA n° 132, de 22 de fevereiro de 2016. Brasília, DF: 2016.

\_\_\_\_\_. Resolução ANA n° 236, de 30 de janeiro de 2017. Brasília, DF: 2017.

\_\_\_\_\_. Resolução CNRH n° 143, de 10 de julho de 2012. Brasília, DF: 2012.

FONTENELLE, M. C.; FONTENELLE, A. S.; MATOS, Y. M. P.; MONTEIRO, F. F. (2018). “Avaliações de risco em barragens: estudo de caso da barragem Malcozinhado no nordeste brasileiro”. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 14(1), pp. 25-42.

FUSARO, T. C.; DIAS, G. G.; ANDERÁOS, A.; LEONARDI, C.; PIMENTEL, C. E. B.; NEUMANN, C.; OSAKO, C.; COELHO, D. P.; FARIA, E. F.; WILLRICH, F. L.; PATIAS, J.; OLIVEIRA, J. A.; ARAÚJO, L. M. N.; MATOS, S. F. *Módulo III: gestão e desempenho de barragens*. Unidade 1: análise e gestão de riscos. Capacitação ANA: Segurança de Barragens. 2012. Disponível em: <[https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/27/Unidade\\_1-modulo3.pdf](https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/27/Unidade_1-modulo3.pdf)> Acesso em: 30 jun. 2018.

MEDEIROS, C. H. A. C.; DIAS, G. G.; ANDERÁOS, A.; LEONARDI, C.; PIMENTEL, C. E. B.; NEUMANN, C.; OSAKO, C.; COELHO, D. P.; FARIA, E. F.; WILLRICH, F. L.; PATIAS, J.; OLIVEIRA, J. A.; ARAÚJO, L. M. N.; MATOS, S. F. *Módulo I: Aspectos legais, técnicos e socioambientais*. Unidade 1: Diretrizes, legislação e regulamentação. Capacitação ANA: Segurança de Barragens. 2013. Disponível em: <[https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/2/Unidade\\_1-modulo1.pdf](https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/110/2/Unidade_1-modulo1.pdf)> Acesso em 10 ago. 2018.