

Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade

Luis Miguel Schiebelbein
(Organizador)

Luis Miguel Schiebelbein
(Organizador)

Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

G393 Gestão de recursos hídricos e sustentabilidade / Organizador Luis Miguel Schiebelbein. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.
– (Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade; v.1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-024-7

DOI 10.22533/at.ed.247190901

1. Desenvolvimento de recursos hídricos. 2. Política ambiental – Brasil. 3. Sustentabilidade. I. Schiebelbein, Luis Miguel. II. Título. III. Série.

CDD 343.81

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade” aborda uma série de artigos e resultados de pesquisa, em seu Volume I, contemplando em seus 21 capítulos, os novos conhecimentos científicos e tecnológicos para as áreas em questão.

Estrategicamente agrupados na grande área temática de GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, ne nas seções de Meteorologia, Modelagem, Conceitos Aplicados & Estudos de Caso, traz à tona informações de extrema relevância para a área dos Recursos Hídricos, assim como da Sustentabilidade.

Os capítulos buscam de maneira complementar, abordar as diferentes áreas além de concentrar informações envolvendo não só os resultados aplicados, mas também as metodologias propostas para cada tipo de estudo realizado.

Pela grande diversidade de locais e instituições envolvidas, na realização das pesquisas ora publicadas, apresenta uma grande abrangência de condições e permite, dessa forma, que se conheça um pouco mais do que se tem de mais recente nas diferentes áreas de abordagem.

A todos os pesquisadores envolvidos, autores dos capítulos inclusos neste Volume I, e, pela qualidade e relevância de suas pesquisas e de seus resultados, os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora.

Ressalta-se ainda e indica-se a consulta ao Volume II, o qual aborda as grandes áreas temáticas de QUALIDADE DA ÁGUA, RECURSOS HÍDRICOS NO ABASTECIMENTO, UTILIZAÇÃO AGRÍCOLA DOS RECURSOS HÍDRICOS & SUSTENTABILIDADE.

Complementarmente, espera-se que esta obra possa ser de grande valia para aqueles que buscam ampliar seus conhecimentos nessa magnífica área da Gestão de Recursos Hídricos, associada à Sustentabilidade. Que este seja não só um material de apoio, mas um material base para o estímulo a novas pesquisas e a conquista de resultados inovadores.

Luis Miguel Schiebelbein

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A FLORESTA E A DINÂMICA HIDROLÓGICA DE NASCENTES	
Jéssica Fernandez Metedieri	
Mariana Santos Leal	
Kelly Cristina Tonello	
DOI 10.22533/at.ed.2471909011	
CAPÍTULO 2	17
REQUALIFICAÇÃO FLUVIAL: CONCEITOS E CASOS DE ESTUDO	
Aline Pires Veról	
Bruna Peres Battemarco	
Matheus Martins de Sousa	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.2471909012	
CAPÍTULO 3	34
ANÁLISE DA VARIABILIDADE TEMPORAL DE BASE NA PROPAGAÇÃO DA ONDA DIFUSA EM UM RIO	
Maria Patricia Sales Castro	
Patrícia Freire Chagas	
Karyna Oliveira Chaves de Lucena	
Raimundo Oliveira de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.2471909013	
CAPÍTULO 4	43
PLANO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL PARA OS ASSENTAMENTOS DOS MUNICÍPIOS DE DELMIRO GOUVEIA E ÁGUA BRANCA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO CANAL DO SERTÃO ALAGOANO	
Eduardo Jorge de Oliveira Motta	
DOI 10.22533/at.ed.2471909014	
CAPÍTULO 5	53
ZONEAMENTO DE ÁREAS DE RESTRIÇÃO E CONTROLE RELEVANTES PARA A CONSERVAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA APLICADA À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VELOSO (SUB-BACIA DO RIO PARAPEBA), MINAS GERAIS, BRASIL	
Joselaine Aparecida Ribeiro	
Thiago Vieira da Silva Matos	
Antônio Pereira Magalhães Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.2471909015	
CAPÍTULO 6	65
PROJETO DA PAISAGEM NOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA - CASO DA BACIA DO RIO JOANA	
Isadora Tebaldi	
Ianic Bigate Lourenço	
Aline Pires Veról	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.2471909016	

CAPÍTULO 7	82
GESTÃO DA DRENAGEM URBANA EM MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAJAÍ AÇU	
Fabiane Andressa Tasca	
Roberto Fabris Goerl	
Jakcemara Caprário	
Aline Schuck Rech	
Alexandra Rodrigues Finotti	
DOI 10.22533/at.ed.2471909017	
CAPÍTULO 8	92
ANÁLISE AMBIENTAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESPAÇO URBANO DE CAMPO GRANDE/MS	
Eva Faustino da Fonseca de Moura Barbosa	
DOI 10.22533/at.ed.2471909018	
CAPÍTULO 9	108
APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO A BARRAGENS DO ESTADO DE MINAS GERAIS	
Carlos Eugenio Pereira	
Maria Teresa Viseu	
Marcio Ricardo Salla	
Kevin Reiny Rocha Mota	
DOI 10.22533/at.ed.2471909019	
CAPÍTULO 10	117
INFLUÊNCIA PLUVIOMÉTRICA NA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS NO MUNICÍPIO DE IPOJUCA - PE	
Fernanda Soares de Miranda Torres	
Enjôlras de Albuquerque Medeiros Lima	
Margarida Regueira da Costa	
Alexandre Luiz Souza Borba	
Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff	
Roberto Quental Coutinho	
DOI 10.22533/at.ed.24719090110	
CAPÍTULO 11	125
CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DOS AQUÍFEROS JUROCRETÁCEOS DO OESTE DO RIO GRANDE DO SUL	
Guilherme Vargas Teixeira	
Antonio Pedro Viero	
Romelito Regginato	
DOI 10.22533/at.ed.24719090111	
CAPÍTULO 12	134
AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DO TOCANTINS	
Fernán Enrique Vergara	
Viviane Basso Chiesa	
Cecília Amélia Miranda Costa	
DOI 10.22533/at.ed.24719090112	

CAPÍTULO 13 143

ATENUAÇÃO DE ONDAS EM MARGENS DE RESERVATÓRIOS DE BARRAGENS PELA PRESENÇA DE VEGETAÇÃO NO FUNDO – ANÁLISE NUMÉRICA ATRAVÉS DO MODELO SWAN-VEG

Adriana Silveira Vieira
Germano de Oliveira Mattosinho
Geraldo de Freitas Maciel

DOI 10.22533/at.ed.24719090113

CAPÍTULO 14 153

MODELO DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS COMO INSTRUMENTO DE TOMADA DE DECISÃO PARA CONTROLE DE CHEIAS NA ÁREA URBANA DE ITAQUI-RS

Francisco Lorenzini Neto
Marcelo Jorge de Oliveira
Nájila Souza da Rocha
Raul Todeschini
Rafael Cabral Cruz

DOI 10.22533/at.ed.24719090114

CAPÍTULO 15 163

PREVISÃO DE VAZÃO DE CHEIA EM UM TRECHO DA BACIA DO RIO POTENGI

Patrícia Freire Chagas
Maria Patricia Sales Castro
Fernando José Araújo da Silva
Mário Ângelo Nunes de Azevedo Filho
Raimundo Oliveira de Souza

DOI 10.22533/at.ed.24719090115

CAPÍTULO 16 173

SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS DO MODELO SWAT EM UMA BACIA NA AMAZÔNIA OCIDENTAL: BACIA DO RIO MACHADINHO/RO

Vinicius Alexandre Sikora de Souza
Marcos Leandro Alves Nunes
Otto Corrêa Rotunno Filho
Claudia Daza Andrade
Vitor Paiva Alcoforado Rebello

DOI 10.22533/at.ed.24719090116

CAPÍTULO 17 183

ABASTECIMENTO HUMANO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CEARÁ MIRIM RN

Vera Lucia Rodrigues Cirilo
João Abner Guimarães Junior
Lara Luana Cirilo Silva
Priscila Gosson Cavalcanti

DOI 10.22533/at.ed.24719090117

CAPÍTULO 18	191
ELABORAÇÃO DE CONSISTÊNCIA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS: ESTUDO DE CASO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DE TUCURUÍ- PARÁ	
Alcione Batista da Silva	
Laysse Alves Ferreira	
Lucas Rodrigues do Nascimento	
Andressa Magalhães Gonçalves	
Rafael Oliveira da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.24719090118	
CAPÍTULO 19	200
ANÁLISE DO IMPACTO DO USO DE DADOS DIÁRIOS OU MÉDIAS CLIMATOLÓGICAS NA SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA COM O MODELO MGB-IPH	
Bibiana Rodrigues Colossi	
Daniela Santini Adamatti	
Fernando Mainardi Fan	
Paulo Rógenes Monteiro Pontes	
DOI 10.22533/at.ed.24719090119	
CAPÍTULO 20	211
MÉTODOS NUMÉRICOS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADOS À DETECÇÃO DE ANOMALIAS EM DADOS HIDROLÓGICOS	
Alana Renata Ribeiro	
Mariana Kleina	
DOI 10.22533/at.ed.24719090120	
CAPÍTULO 21	220
CONCEPÇÃO SISTÊMICA PARA SOLUÇÕES DE CONTROLE DE CHEIAS URBANAS EM VILA VELHA, ES	
Paulo Canedo de Magalhães	
Matheus Martins de Sousa	
Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira	
Osvaldo Moura Rezende	
Victor Augusto Almeida Fernandes de Souza	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.24719090121	
SOBRE O ORGANIZADOR	236

APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO A BARRAGENS DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Carlos Eugenio Pereira

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Civil
Uberlândia - Minas Gerais

Maria Teresa Viseu

Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Lisboa – Portugal

Marcio Ricardo Salla

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Civil
Uberlândia - Minas Gerais

Kevin Reiny Rocha Mota

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Civil
Uberlândia - Minas Gerais

RESUMO: No caso da ruptura de uma barragem, o volume de água do reservatório é liberado de forma inesperada, o que pode causar riscos a pessoas, impactos ambientais e socio-econômicos consideráveis. A Lei nº 12.334, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), obriga a modelação das cheias induzidas e o mapeamento das zonas de risco a jusante, para barragens classificadas com dano potencial associado alto. Aplicou-se para três barragens com características diferentes (PCH1, PCH2 e PCH3), um método simplificado para determinação de áreas de inundação, esse método utiliza equações semi-

empíricas para determinar a vazão de pico em seções transversais sequenciais traçadas no vale de inundação a jusante da barragem, e aplica a equação de Manning-Strickler para o equacionamento hidráulico, afim de determinar a máxima altura de água no vale de inundação nessas seções. Os níveis máximos de água variam conforme o formato do relevo a jusante e o volume do reservatório, neste trabalho alcançou níveis máximos entre 11,21m a 21,95m na PCH 1, de 4,21m a 19,59m na PCH 2 e de 0,46m a 1,09m na PCH 3. Os mapas de inundação foram gerados por meio de ferramentas SIG (Sistema de Informações Geográficas) e são apresentados para as três barragens analisadas.

PALAVRAS-CHAVE: Método Simplificado, Rotura de Barragens, Mapas de Inundação

APPLICATION OF THE METHOD SIMPLIFIED MINAS GERAIS STATE DAMS

ABSTRACT: When a dam fails, the volume of the reservoir water is released, imposing risks to people, environmental impact and considerable socio-economic losses. The Brazilian Law No. 12334, establishes the National Policy on Dam Safety (NBSP) and requires modeling of the induced floods and the mapping of risk areas downstream to the dams classified as potential

harm associated high. A simplified method was applied for three dams with different characteristics, for determining dam-flood characteristics. This method uses semi-empirical equations to determine the peak flow in sequential cross sections outlined in the valley below the dam: the use of the Manning-Strickler hydraulic equating application allows the determination of the maximum water level in the flood valley: Computational tool GIS (Geographic Information System) tools allow the elaboration of the inundation maps. The method was applied to three dams (PCH1, PCH2 and PCH3), having the maximum water levels varied between 11,21m to 21,95m in PCH 1 4,21m to 19,59m in PCH 2 and 0.46 m 1,09m in the PCH 3. The flood maps were generated using GIS and are presented for these three dams.

KEYWORDS: Simplified Method, rupture of dams, flood maps

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil no final da década de 90 enfrentou uma grave crise devido a falta de energia elétrica, e para acompanhar o crescimento econômico e demanda por energia criou na década seguinte, diversas políticas de parcerias público privada para construção de centrais hidroelétricas que pudessem amenizar esse problema. Assim, a construção de diversas barragens teve início, e neste contexto, pode-se citar as usinas hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio no Rio Madeira, Belo Monte, no rio Xingu, e outras.

Além das grandes usinas geradoras de eletricidade, destacam-se no cenário nacional o crescimento do número de Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCH), que geram energia com impacto ambiental reduzido, devido à área do reservatório ser menor do que as correspondentes às grandes centrais citadas acima. Embora, os estudos de impactos ambientais sejam revelantes nesse tipo de empreendimento, também o são os estudos de análise de danos potenciais envolvidos decorrentes da ruptura da estrutura do barramento, que podem afetar a população, propriedades, bens materiais e ambientais.

No Brasil, a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e estipula, como um dos instrumentos desta política, o desenvolvimento e a aplicação de um sistema de classificação de barragens. Para as barragens classificadas como de dano potencial associado alto, este documento legal obriga os empreendedores a avaliar as consequências adversas no caso de ruptura ou falha operacional da barragem, aspecto que obriga à modelação de cheias induzidas e ao mapeamento das zonas de risco a jusante.

O desenvolvimento do método simplificado para avaliação de ondas de cheia devido a ruptura de barragens, está descrito em De Melo (2015) e surgiu da necessidade de se analisar uma quantidade expressiva de barragens, com diferentes dimensões e características. Este método, também se baseia em estudos de diversos autores, dentre eles Pierce *et al.* (2010), que analisaram dados históricos

de rompimento de barragens, e cujas principais conclusões são de que a vazão máxima gerada é função direta da altura da barragem, do volume do reservatório ou a combinação de ambas. Embora tenham sido usados dados reais de rupturas de barragens, o uso dessas duas variáveis torna o cálculo da vazão mais simples, considerando a complexidade do escoamento que ocorre a jusante.

A aplicação do método simplificado quando comparado as metodologias mais tradicionais alcançou resultados confiáveis, e que podem ser aplicados em estudos de mapas de inundação, em estudos preliminares, e naqueles onde o risco de acidentes e a necessidade da elaboração de Planos de Ações Emergenciais (PAE) forem menores.

2 | OBJETIVO

Obtenção de áreas inundadas devido ao rompimento hipotético de três barragens de porte pequeno, médio e muito grande, pelo método simplificado e com risco associado alto de acordo com a Lei 12.334/2010.

3 | METODOLOGIA

Caso ocorra a ruptura de uma barragem, a onda de cheia gerada a jusante pode ser estimada por meio de equações empíricas. O método simplificado estima o nível máximo de água nas seções a jusante da barragem, calculando o pico de vazão em uma série de seções transversais a jusante do reservatório, e substitui a simulação numérica do escoamento ao longo do vale de inundação, encontrada em diversos programas computacionais, tais como DAMBRK, HEC-RAS, por expressões semi-empíricas. Embora envolva um determinado grau de incerteza, os resultados apresentados podem auxiliar na estimativa do nível máximo da enchente, e têm-se demonstrado coerentes quando comparados aos dos modelos mais complexos.

O método simplificado é baseado em duas aproximações; a primeira em relação à estimativa da máxima distância longitudinal no vale do rio a jusante da barragem; a segunda relacionada com o pico de vazão em diversas seções transversais levantadas dentro da distância estimada na primeira aproximação.

A máxima distância no vale do rio a jusante é determinada por uma equação semi-empírica baseada em estudos estatísticos feitos por Graham (1999), e apresentada nas equações 1 e 2.

$$D_{m\acute{a}x} = 8,870 \times 10^{-8} \cdot V_{m\acute{a}x}^3 - 2,602 \times 10^{-4} \cdot V_{m\acute{a}x}^2 + 2,648 \times 10^{-1} \cdot V_{m\acute{a}x} + 6.737$$
$$\text{Se } V_{m\acute{a}x} \leq 1000 \text{hm}^3 \quad (1)$$

$$D_{m\acute{a}x} = 100 \text{Km}, \text{ se } V_{m\acute{a}x} > 1000 \text{hm}^3 \quad (2)$$

$D_{m\acute{a}x}$: distância máxima a jusante da área afetada por falha de barragem (km);

$V_{m\acute{a}x}$: volume máximo do reservatório (hm^3).

A vazão nas diversas seções a jusante da barragem sofre uma atenuação decorrente das características do vale em termos da forma e geometria do rio, da capacidade de armazenamento de água no vale, da rugosidade das áreas inundadas, da presença de rios tributários e de obstáculos, tais como pontes e represas. Para a avaliação da atenuação da onda de cheia considerou-se como parâmetro mais relevante o volume armazenado. Assim, optou-se pela equação proposta pelo USBR (*United Station of Boreau Reclation*, 1989), adaptada para reservatórios com capacidade acima de $6,2 \text{ hm}^3$ que depende basicamente da vazão de pico e da distância da seção transversal à barragem.

$$Q_x = Q_{m\acute{a}x} \cdot 10^{-0.02143 \cdot x} \quad (3)$$

em que:

Q_x : vazão máxima na distância x a jusante da barragem (m^3/s);

$Q_{m\acute{a}x}$: vazão de pico na brecha junto a seção da barragem (m^3/s);

x : distância da seção transversal a jusante da barragem (km).

Para os reservatórios com capacidade inferior a $6,2 \text{ hm}^3$, adotou-se a proposta do Dams Sector (2011), a qual é expressa pela equação (4), função do pico de vazão na seção da barragem, da distância em relação a esta e da capacidade máxima do reservatório.

$$\frac{Q_x}{Q_{m\acute{a}x}} = a \cdot e^{b \cdot x} \quad (4)$$

$$a = 0,002 \cdot \text{Ln}(V_{m\acute{a}x}) + 0,9626$$

$$b = -0,20047 \cdot (V_{m\acute{a}x} + 25000)^{-0,5979}$$

em que:

x : distância da seção transversal a jusante da seção da barragem (m);

$V_{m\acute{a}x}$: volume máximo do reservatório (m^3);

Q_x : vazão máxima na distância x a jusante da barragem (m^3/s);

$Q_{m\acute{a}x}$: vazão de pico na brecha junto a seção transversal da barragem (m^3/s).

Após o cálculo desses parâmetros, inicia-se a obtenção de dados referentes às características topográficas do terreno nas seções transversais a jusante das barragens.

Utilizam-se Modelos Digitais de Terreno (MDT) com imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), de 30 metros de resolução, e que contém informações

topográficas que são úteis na obtenção de dados geométricos referentes às seções transversais ao longo do curso do rio. Com o auxílio de ferramentas SIG (Sistemas de Informações Geográficas) é possível obter informações das diversas seções transversais a jusante da barragem, e que são transportadas para planilhas eletrônicas previamente desenvolvidas que contêm a formulação matemática envolvida no cálculo hidráulico dos níveis máximos de água em cada seção.

No cálculo hidráulico envolvido utiliza-se a equação de Manning-Strickler para canais, sendo necessário estimar o coeficiente de rugosidade. O valor considerado variou entre 0,06 e 0,07 s/m^{1/3}.

Com os resultados alcançados do nível máximo em cada seção transversal, volta-se ao uso da ferramenta computacional SIG, onde é possível definir o mapa de inundação da área a jusante da barragem produzida pela combinação da envoltória dos máximos níveis de água das seções transversais produzidas por meio de um TIN (*Triangulated Irregular Network*) e do MDT do tipo SRTM, produzindo, assim, um contorno que define a área potencialmente afetada pelo risco da barragem.

4 | RESULTADOS

O método simplificado para geração das plantas de inundação foi aplicado a três Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) com características descritas na Tabela 1. A altura da barragem e o volume foram utilizados para calcular a distância máxima e a vazão de pico, conforme descrito no item anterior.

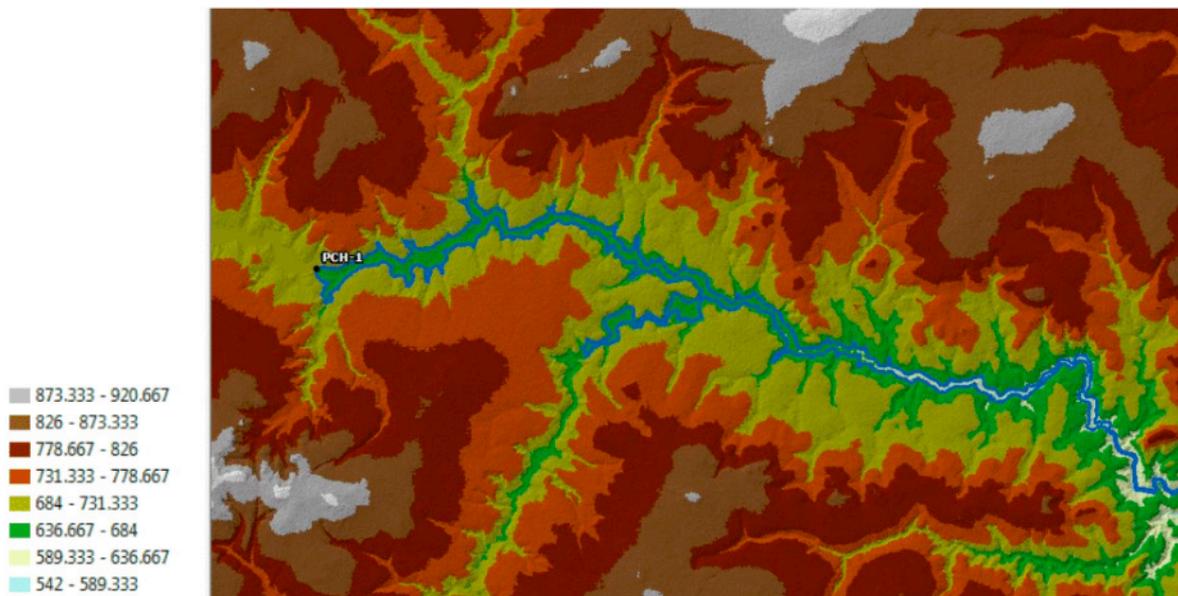
Pequena Central Hidrelétrica	Altura (m)	Volume do Reservatório (hm ³)	Classificação da barragem Resolução N° 143/2012	Distância Máxima (km)	Vazão de Pico (m ³ /s)
PCH-1	40,0	202,160	Muito Grande	50,42	21.727,00
PCH-2	42,0	18,050	Média	11,44	8.643,00
PCH-3	6,0	0,016	Pequena	6,74	97,00

Tabela 1 - Características gerais da Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH)

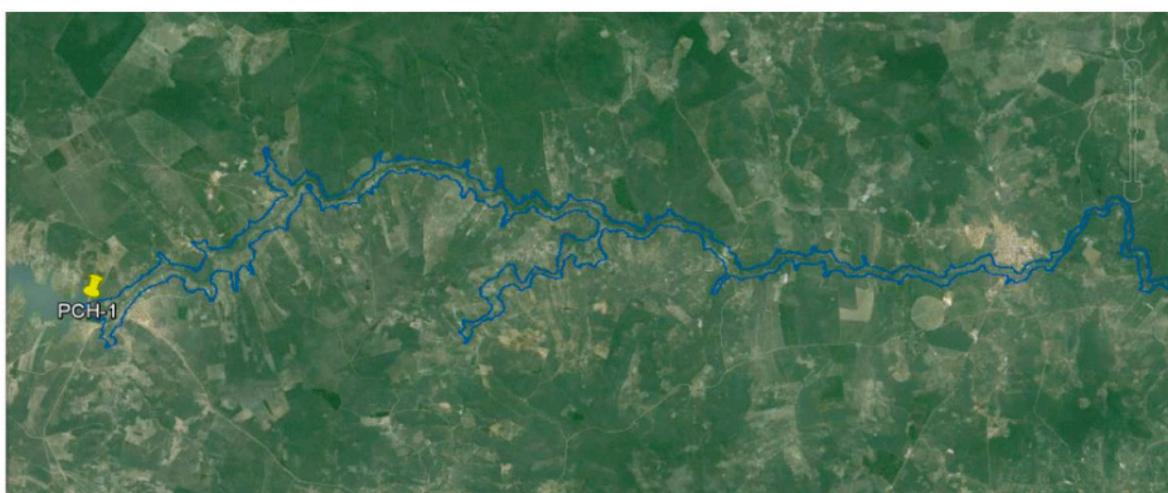
A Figura 1 apresenta respectivamente em a) o mapa de inundação no formato TIN, usando MDT do tipo SRTM, e em b) a envoltória das profundidades críticas geradas e inseridas no GOOGLE EARTH para a PCH-1. O procedimento descrito acima foi repetido para as outras duas PCH's, e são apresentados nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

Trata-se de uma PCH com volume do reservatório muito grande e que gera uma elevada vazão a jusante. Como o vale a jusante da barragem é relativamente estrito, a envoltória da mancha de inundação apresenta-se pouca larga; contudo, o nível de água é significativo, tendo as alturas máximas da onda de cheia variado entre 11,21 m

a 21,95 m. As regiões habitadas a jusante das barragens, nomeadamente um distrito 1 km a jusante, com aproximadamente 100 construções, e uma cidade localizada a aproximadamente 46 km, com 27918 habitantes em 2010, foram pouco afetados, não sendo atingidas de maneira direta. Os impactos socio-ambientais observados são mais representativos.



a)

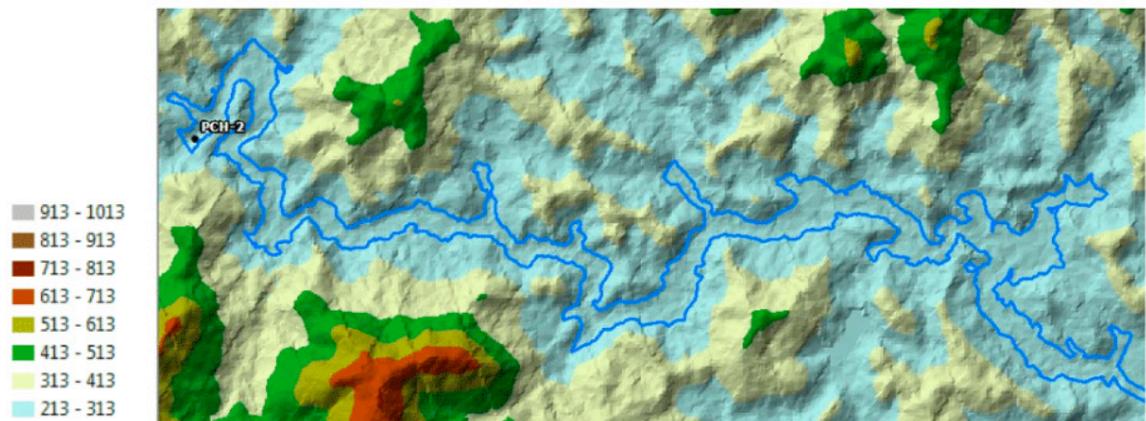


b)

Figura 1 - Mapa de inundação da PCH-1. a) Imagem TIN gerada em ferramenta computacional GIS

b) Imagem no GOOGLE EARTH da envoltória gerada pelo método simplificado.

A PCH 2, embora tenha um volume do reservatório bem inferior ao da PCH 1, apresenta uma área de inundação mais espalhada, conforme a Figura 2, com alturas máximas da onda de cheia foram de 4,21m a 19,59m. A presença de uma cidade localizada 7,5km a jusante, com 13049 habitantes, torna o risco elevado. Desta forma, devem ser consideradas medidas de mitigação, já que a onda de cheia atinge consideravelmente a cidade.



a)



b)

Figura 2 - Mapa de inundação da PCH-2. a) Imagem TIN gerada em ferramenta computacional GIS

b) Imagem GOOGLE EARTH da envoltória gerada pelo método simplificado.

O volume do reservatório da PCH 3 é inferior ao das barragens anteriores mas a mancha de inundação (Figura 3) atinge grandes extensões laterais no início do vale e nas proximidades da cidade localizada a jusante.

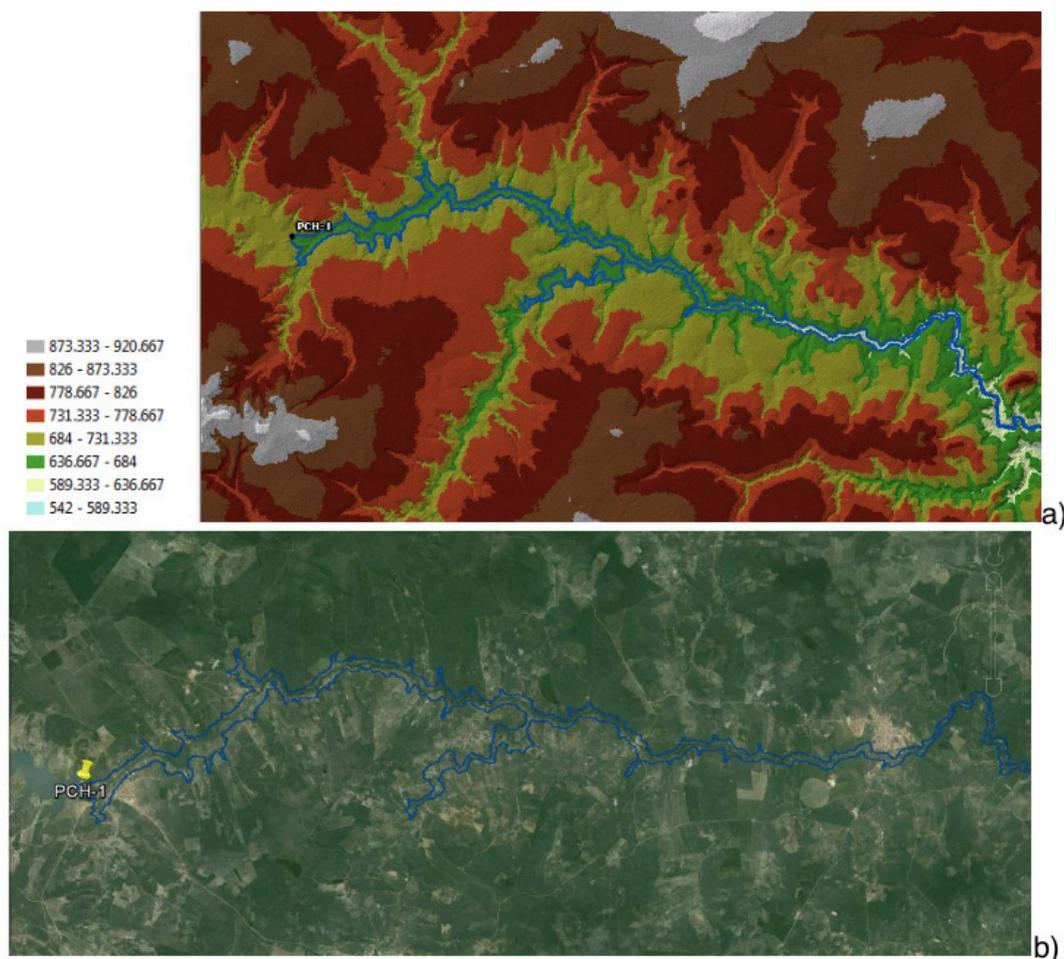


Figura 3 - Mapa de inundação da PCH-3.

a) Imagem TIN gerada em ferramenta computacional GIS

b) Imagem GOOGLE EARTH da envoltória gerada pelo método simplificado.

5 | CONCLUSÕES

O método simplificado utilizado para mapear as áreas de risco a jusante de barragens é baseado em informações semi-empíricas, rupturas que ocorreram historicamente. Os resultados encontrados detalham bem as possíveis áreas impactadas que podem ser atingidas pela onda de cheia do reservatório decorrente da ruptura da barragem e contabilizar o Dano Potencial Associado. Por se tratar de uma análise simplificada, pode ser aplicada a estudos preliminares, não vindo a substituir os métodos que envolvem equações de maior precisão.

As ferramentas computacionais do tipo GIS revelaram-se particularmente úteis, pois auxiliam na obtenção de cotas georreferenciadas sobre o MDT utilizado, na interpolação dos resultados, e na elaboração final das manchas de inundação.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei n.º 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária

de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Seção 1 - 21 set. 2010. p. 01.

DE MELO, J.F.(2015). **Dam-Break Flood Risk Assessment**. In *Second International Dam World Conference*. Org. por Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 47 – 56

GRAHAM, W.J. (1999) **A Procedure for Estimating Loss of Life caused by dam Failure**. Bureau of Reclamation, U.S. Department of Interior, Dam Safety Office, Denver, Colorado, September, 1999.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Gabinete do Ministro. Portaria n.º 143, de 10 de julho de 2012. Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 4 set. 2012. p. 30.

PIERCE, M.W.; THORNTON, C.I.; ABT, S.R. (2010) **Predicting Peak Outflow from Breached Embankment Dams**. Colorado State University, Engineering Research Center, Fort Collins, CO.

USBR. (1989) **Policy and Procedures for dam safety modification decision-making**. Department of the Interior, Denver, USA.

SOBRE O ORGANIZADOR

LUIS MIGUEL SCHIEBELBEIN Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (1997) e mestrado em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná (2006), Doutorado em Agronomia - Fisiologia, Melhoramento e Manejo de Culturas, pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2017). Atualmente é Professor dos Cursos de Agronomia, Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo e Superior Tecnológico em Radiologia e de Pós-Graduação em Agronegócio e Gestão Empresarial do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (CESCAGE). É revisor da Revista de Ciências Agrárias - CESCAGE, Professor Colaborador do Curso de Agronomia da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) . Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Agricultura de Precisão, atuando principalmente nos seguintes temas: Agricultura de Precisão, Geoprocessamento, Modelagem e Ecofisiologia da Produção Agrícola, Agrometeorologia, Hidrologia, Mecanização, Aplicação em Taxa Variável, Fertilidade do Solo e Qualidade.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-024-7

