

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE DANOS CAUSADOS POR INUNDAÇÕES: APLICAÇÃO AO MUNICÍPIO DE MONTENEGRO -RS

Emanuel Duarte Silva ¹

RESUMO – Prover instituições governamentais, responsáveis pelo gerenciamento de situações de risco, com informações, robustas, que subsidiem a tomada de decisão de forma ágil e eficiente se configura um desafio em um ambiente econômico com recursos públicos escassos. Diante desse cenário esse estudo utilizou a integração de informações provenientes de mapas de inundação, compilação de dados censitários (grande estatística e setores censitários do IBGE), bem como um inventário de danos decorrentes de inundações em um imóvel padrão, para projetar os prejuízos financeiros decorrentes de inundações no município de Montenegro – RS. As estimativas foram baseadas na adaptação da metodologia utilizada por Fadel (2015) com o propósito de se quantificar o prejuízo total gerado em um evento hidrológico extremo. Os valores obtidos para o somatório dos prejuízos, resultantes das quatro tipologias de danos investigadas (decorrentes de danos a edificações, conteúdo das edificações, custos com limpeza e decorrentes de dias não trabalhados), são da ordem de 12 milhões de reais associados a cota de 650 cm chegando a 81 milhões de reais associados a cota de 1000 cm. Os valores gerados, para os diferentes níveis de inundação, poderão ser utilizados em conjunto com o sistema de alertas de hidrológicos que atende o município, operado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, pela defesa civil como forma de antever parte dos recursos necessários ao atendimento da população atingida.

ABSTRACT– Providing robust, well-informed governmental institutions responsible for managing risk situations that support agile and efficient decision-making is a challenge in an economic environment with scarce public resources. Given this scenario this study used the integration of information from flood maps, compilation of census data (grid statistics and census sectors of IBGE), as well as an inventory of flood damage in a standard property, to project financial losses arising from of floods in the municipality of Montenegro - RS. Estimates were based on the adaptation of the methodology used by Fadel (2015) to quantify the total damage generated in an extreme hydrological event. The values obtained for the sum of the losses, resulting from the four types of damage investigated (resulting from damage to buildings, building contents, cleaning costs and days not worked), are of the order of R\$ 12 million associated with 650 cm reaching 81 million reais associated with quota of 1000 cm. The values generated for the different levels of flooding can be used in conjunction with the hydrological alert system that serves the municipality, operated by the Geological Survey of Brazil - CPRM, by the civil defense as a way to foresee part of the resources needed to attend of the affected population.

Palavras-Chave – Inundação, Prejuízos, Simulação.

1) Pesquisador em Geociências do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, R. Banco da Província, 105, 90840030, Porto Alegre RS, emanuel.duarte@cprm.gov.br

1 INTRODUÇÃO

A história do desenvolvimento humano e a distribuição da população ao redor do planeta está marcada pela ocupação de áreas circunvizinhas a fontes de água, este padrão de ocupação se dá devido a necessidade de utilização desse recurso, direta ou indiretamente, em praticamente todos os processos e atividades que norteiam a vida humana. A ocupação dessas regiões de forma desornada, ao longo do tempo, foi responsável pela geração de inúmeros problemas, entre eles as perdas de vidas e bens materiais decorrentes de enchentes, enxurradas e inundações, dados do Banco Mundial (2012) revelam que apenas em 2010, 178 milhões de pessoas foram afetadas por inundações, com perdas totais que excederam \$40 bilhões.

Diante desse cenário o Serviço Geológico do Brasil – CPRM, alinhado com as diretrizes presentes no Plano Nacional de Gestão de Risco e Resposta a Desastres Naturais e as metas impostas pela casa civil, deu início, em 2010, a expansão de seu programa de implantação e operação de sistemas de alertas hidrológicos, expandindo de três para quatorze o número bacias dotadas de sistemas de monitoramento e previsão em tempo real. A bacia do rio Caí, no Rio Grande do Sul, foi uma das primeiras a integrar o processo de expansão, com cheias do tipo rápidas e duração de alguns dias, distribuídas ao longo de todo o ano, possuem recorrência acentuada, em Montenegro-RS em um período de 26 anos, 1991 a 2016, a cota de início de inundação (600 cm) foi ultrapassada 64 vezes.

O projeto SAH-Caí foi implementado, em 2010, com o objetivo de instalar e operar, de forma continuada, um sistema de monitoramento e alerta hidrológico com previsões de níveis, inicialmente, para as cidades de São Sebastião do Caí e Montenegro. O sistema é composto por oito estação telemétricas, que transmitem dados de chuva e nível, um modelo de previsão fluvial (baseado em redes neurais artificiais) e uma plataforma web (SACE) de divulgação dos dados. Ao longo da operação foram identificadas lacunas nas informações disponibilizadas aos órgãos envolvidos na execução de ações junto a população em casos de emergências. Em consulta a defesa civil, entidade responsável pela efetiva implementação de medidas de proteção a população local, se percebeu que a emissão unicamente da previsão fluvial não era suficiente para subsidiar o processo de tomada de decisão sendo necessário a mensuração, com mais precisão, da área a ser atingida, bem como a quantificação dos danos causados e o prejuízo financeiro decorrente desses danos, assim a metodologia utilizada por Fadel (2015) foi adaptada e aplicada para o município de Montenegro – RS a fim de se obter uma estimativa dos danos associados as previsões fluviométricas geradas no âmbito do projeto do Sistema de Alertas Hidrológicos da Bacia do Rio Caí (SAH-Caí).

2 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE DANOS CAUSADOS POR INUNDAÇÕES

As inundações em áreas urbanas provocam grandes impactos sociais e econômicos, demandando onerosos trabalhos de reconstrução da infraestrutura e a reposição de bens moveis e imóveis, os impactos decorrentes desses eventos dependem do grau de ocupação da área de várzea, impermeabilização do solo, eficiência da rede de drenagem, bem como da vulnerabilidade das edificações. Os danos causados podem ser classificados como tangíveis e intangíveis e em um segundo nível em diretos e indiretos, sendo os tangíveis passíveis de mensuração em termos monetários, dentro dessa classificação pode-se considerar que os danos resultantes do contato direto com a água como diretos (danos físicos a estruturas e equipamentos), enquanto que os decorrentes da interrupção de atividades sociais e econômicas (limpeza, perda de lucros) são denominados indiretos (JANOV, 2013), segundo Cançado (2009) como a análise global dos danos envolve essas duas dimensões é comum termos sobreposições de valores e erros de cálculo.

Segundo Fadel (2015) para se quantificar os danos decorrentes de uma inundação é necessário realizar, previamente, um inventário dos possíveis danos na região e seus prejuízos associados, para que posteriormente se possa relacionar os prejuízos inventariados a um determinado evento. Para Machado (2005) e Cançado (2009) a avaliação de impactos sócios-econômicos de inundações pode ser realizado através de métodos microeconômicos baseados em mercados reais (método dos preços hedônicos ou método de valor esperado) ou hipotéticos (método da valoração contingente), sendo os mais comumente utilizados para análise de danos decorrentes de inundações, ambos tem como princípio a premissa de que o mercado é capaz de incorporar o risco da inundações, sendo a análise hedônica (método conceitual) baseada na disponibilidade que um mercado real tem a pagar sobre os danos decorrentes de uma inundação (custos de manutenção, recuperação e reposição do espaço construído e de seu conteúdo), sinteticamente a diferença de valores entre imóveis, similares, situados em regiões inundáveis ou não poderia ser considerado como o custo de uma inundação, esse método apresenta a desvantagem das incertezas em se atribuir as diferenças de valores de mercado de bens imóveis a causas relacionadas a prejuízos com inundações. No método da valoração contingente (método conceitual) a disponibilidade a pagar por medidas de proteção contra inundações, em um cenário hipotético, por uma população poderia ser considerado o custo da inundação.

Ainda segundo Machado *et al.* (2005) a relação de danos com as variáveis hidráulicas associadas a inundação, como a profundidade, pode ser explicitada na forma de uma curva de danos versus profundidade, sendo a sua construção trabalhosa em virtude da variabilidade dos danos expostos. A sua construção pode-se dar a partir de dados reais obtidos em zonas sinistradas (*a posteriori*) ou a partir de estimativas hipotéticas (*a priori*).

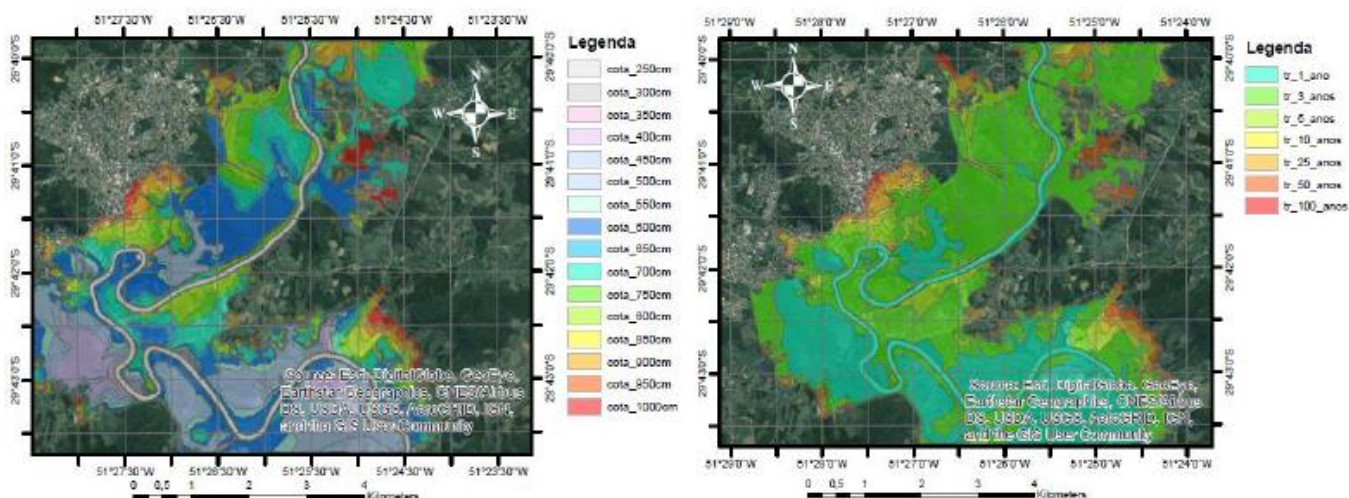
Fadel (2015) relaciona os danos por inundação a quatro fatores: qualidade da edificação, área construída, estado de conservação da edificação e conteúdo das áreas atingidas, bem como relaciona as características desses fatores ao poder aquisitivo dos moradores os subdividindo em seis classes socioeconômicas segundo o Critério Brasil (ABEP, 2015). Para fins de realização desse estudo esses critérios foram atualizados conforme a última publicação da ABEP para o ano de 2016. Ainda segundo Fadel (2015) os prejuízos as edificações podem ser estimados através dos custos de reforma de um imóvel de acordo com quatro padrões construtivos (alto, normal, baixo e proletário) que se subdividem em mais nove itens (revestimento das paredes internas e externas, cozinha e banheiros, os pisos e acessórios para a cozinha e os banheiros e o material predominante de portas e janelas), com relação ao levantamento dos danos ao conteúdo podem ser realizado pela quantidade, tipo, qualidade e idade dos bens duráveis atingidos e a profundidade a que foram expostos relacionados, por sua vez, à classe socioeconômica da unidade familiar determinada pelo Critério Brasil.

Diante da complexidade de se realizar um inventário de danos a edificações e conteúdo, de forma detalhada, para cada imóvel atingindo Tachini (2010) propôs uma abordagem sintética, onde se considerou um imóvel padrão (unifamiliar e de um pavimento) como unidade padrão para a base de cálculo. A quantificação da população atingida é proporcional a área inundada e os danos, por sua vez, proporcionais a essa população, desse modo é de suma importância a discretização da região em estudo levando-se em consideração a disponibilidade de dados e o nível de detalhamento que se quer obter. Fadel (2015) e Tachini (2010) utilizaram como unidade padrão para discretização de suas áreas de estudo o setor censitário estipulado pelo IBGE, no entanto segundo o Brasil (2016) dificilmente haverá coincidência entre unidades para as quais existem divulgação de dados populacionais (unidades político-administrativas ou setores censitários) e uma região específica de estudo, sendo recomendável a utilização da grade estatística (matriz de dados composta de células de 1Km x 1Km na área rural e de 200m x 200m na área urbana, contendo dados de população residente, sexo e número de domicílios), para fins de quantificação populacional e número de residências em uma área de estudo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A etapa de quantificação dos danos decorrente de uma inundação está intimamente ligada a área diretamente atingida, bem como à profundidade a que a região foi exposta, deste modo é necessário a elaboração de mapas de inundação para a região que se deseja obter essa estimativa. Estudo anteriormente elaborado por Brasil (2016) gerou manchas de inundação para o município de Montenegro - RS, figuras 01 e 02, com graduações de 0,5 m até um horizonte de cotas de 1000 cm, vinculadas a seção de réguas do posto fluviométrico 87270000 (Passo Montenegro), essa base de

dados foi utilizada nesse trabalho, sendo cada mancha de inundação associada aos prejuízos potenciais para a região.



Figuras 1 e 2 – Manchas de inundação dispostas por variação de cotas e tempo de retorno respectivamente, posto Montenegro (87270000).

Parte das variáveis utilizadas no desenvolvimento das estimativas são padronizadas de acordo com a classe socioeconômica de cada setor censitário, segundo critério desenvolvido pela ABEP (2016), e a quantidade de imóveis atingidos pela inundação são obtidos através do cruzamento de cada mancha de inundação com a grade estatística do IBGE.

Tabela 1: Critério de divisão de classes socioeconômicas de acordo com a renda familiar.

Classe	Renda familiar média (R\$)
A	20.888
B1	9.254
B2	4.852
C1	2.705
C2	1.625
D-E	768

Tabela 2: Características das residências por classe socioeconômica.

Classe	Tipo de Residência	Código	Descrição	Área (m ²)
D-E	Popular	RP1Q	Sala, 1 quarto, banheiro e cozinha	39,56
C	Padrão Baixo	R1 – B	Sala, 2 quartos, banheiro, cozinha e área de serviço	58,64
B	Padrão Normal	R1 – N	Sala, 3 quartos (1 suíte), banheiro, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda/abrigo.	106,44
A	Padrão Alto	R 1 – A	Sala, 4 quartos (2 suítes e 1 closet), banheiro, cozinha, dependências completas de serviço e varanda/abrigo	224,82

A quantificação do dano total é obtida através do somatório dos danos às edificações e seu conteúdo, custo de limpeza e paralização de atividades econômicas. Fadel (2015) e Tachini (2010) utilizaram um imóvel padrão para a análise dos danos, o que resulta em dados de prejuízo unitário, sendo este possível de ser extrapolado para quaisquer áreas inundadas, de qualquer padrão

construtivo, este conceito também foi utilizado neste trabalho. Os danos as edificações podem ser obtidos utilizando o Custo Básico de Construção Civil (CUB) como unidade base de cálculo. Uma vez estimado o custo de reparo das edificações, de acordo com a classe econômica do setor censitário na qual estão inseridas, e a quantidade de residências atingidas, através da grade estatística, é possível calcular o dano total as edificações através da seguinte expressão:

$$DE=0.05 \times CUB \times Ped \times Ua \quad (1)$$

Onde:

0.05: fator de depreciação para imóveis usados de 5%, proposto por Tachini (2010);

DE: dano residencial relativo à edificação [R\$];

CUB: custo unitário de construção civil [R\$/m²];

Ped: percentual de dano à edificação;

Ua: unidades atingidas;

Tabela 3: Custo unitário básico de construção para cada classe socioeconômica.

Classe ¹	CUB abr/19 (R\$/m ²)
D-E	1.515,23
C	1.445,19
B	1.824,26
A	2.293,12

Tabela 4: Percentual de dano à edificação dos imóveis padrão, conforma altura de submersão.

Classe	Altura de submersão (m)				
	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
A	16%	20%	24%	28%	32%
B	13%	17%	20%	26%	28%
C	13%	16%	18%	24%	26%
D-E	14%	17%	20%	26%	28%

Os danos ao conteúdo foram calculados conforme metodologia apresentada por Fadel (2015), que elevou em consideração o conteúdo de um imóvel padrão (os valores dos itens foram atualizados com uma pesquisa de mercado local) conforme a classe social média da região, adotado padrão B2 para Montenegro-RS, para os imóveis compreendidos em setores censitários de outras classes foi aplicado um fator ponderador conforme tabela 05, assim é possível calcular o dano ao conteúdo através da seguinte expressão:

$$DC = 0,5 . Cip . Fm . Ua . Pdc \quad (2)$$

Onde:

DC: dano relativo ao conteúdo das residências [R\$];

0,5: Fator de depreciação por tempo de uso do conteúdo;

Cip: custo do conteúdo do imóvel padrão [R\$];

Fm: fator de multiplicação;

Ua; unidades atingidas

Pdc: percentual de dano ao conteúdo (obtido em fator da profundidade de submersão);

Tabela 5: Fator de multiplicação para as demais classes socioeconômicas.

Classe	FM (padrão B2)
A	1.64
B1	1.21
B2	1
C1	0.79
C2	0.69
D-E	0.25

O custo de limpeza é estimado em virtude da quantidade de horas gastas para limpeza do domicílio atingido, tabela 06, levando em consideração o nível de submersão que a residência foi exposta, renda familiar e demais encargos sociais que incidem sobre o salário, assim é possível calcular o custo de limpeza através da seguinte expressão:

$$DL = Rf \cdot Tl \cdot Ua \quad (3)$$

Onde:

DL: dano relativo à limpeza da residência [R\$];

Rf: renda média mensal familiar já adicionada de encargos sociais [R\$/h];

Tl: tempo de limpeza [horas/m² pessoa];

Ua: unidades atingidas [m²];

Hm: total de horas de trabalho por mês [h/mês] (média de 21 dias trabalhados ao longo do mês e 8 horas diárias)

Tabela 6: Tempo médio de limpeza conforme a profundidade de submersão.

Nível de Submersão (m)	Horas/m ² pessoa
0.50 a 0.75	0,25
0.75 a 1.00	0,5
1.00 a 1.50	1,0
1.50 a 2.00	3,0
2.00 a 3.50	5,0
3.50 a 5.00	8,0

Os danos por dias parados têm relação com a paralização das atividades econômicas em decorrência do evento de inundação, podendo ser calculado através da seguinte expressão:

$$DDP = \frac{RF}{Nd} \cdot Pop_i \cdot D_i \quad (4)$$

Onde

DDP: dano relativo aos dias de paralização das áreas atingidas [R\$]

Rf: renda média mensal familiar [R\$/mês]

Nd: número de dias do mês

PopI: número de pessoas atingidas pela inundação

DI: duração da inundação [dias]

De posse da quantificação de prejuízos de cada topologia de dano podemos estimar o prejuízo total, para cada nível da inundação, a partir da seguinte expressão:

$$D_{total_i} = DDP_i + DE_i + Dc_i + DL_i \quad (5)$$

Onde

Dtotal: dano total por nível de inundação [R\$];

i: nível previsto considerado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram simuladas inundações no intervalo de níveis de 650cm a 1000cm, tendo como referência o posto fluviométrico 87270000 (Passo Montenegro), a cota 600cm do referido posto marca o início da inundação na cidade, no entanto não foi considerada em virtude da baixa profundidade de submersão de domicílios e equipamentos, sendo utilizada pela defesa civil local, apenas, como referencial para o transbordamento inicial da calha fluvial. A espacialização dos domicílios utilizando a grade estatística do IBGE se mostrou promissora, pois possibilita um nível de discretização da informação que não pode ser obtida utilizando-se, unicamente, os setores censitários. É importante destacar que os dados presentes na grade estatística e nos setores censitários são referentes ao ano de 2010 o que pode representar distorções em relação aos quantitativos de domicílios efetivamente atingidos atualmente. A utilização de um cadastro urbano atualizado tem potencial de melhorar sensivelmente os resultados.

Os gráficos 01 e 02 apresentam respectivamente os valores obtidos, ao final do processo de cálculo, para a estimativa de prejuízo total conforme a evolução do nível da inundação na área urbana do município de Montenegro – RS e o médio por domicílio atingido. É possível observar uma redução dos valores médios aferidos na cota 900 cm, esse fato pode ser explicado devido ao aumento considerável de imóveis classes B1 e B2 nessa faixa, esses imóveis possuem áreas construídas substancialmente maiores que as classes C e D sem que, no entanto, tenham aumento proporcional no valor do conteúdo e custo de reforma, diluindo os valores aferidos por unidade e m².

Gráfico 1: Total prejuízos estimados para cada horizonte de inundação no município de Montenegro-RS.

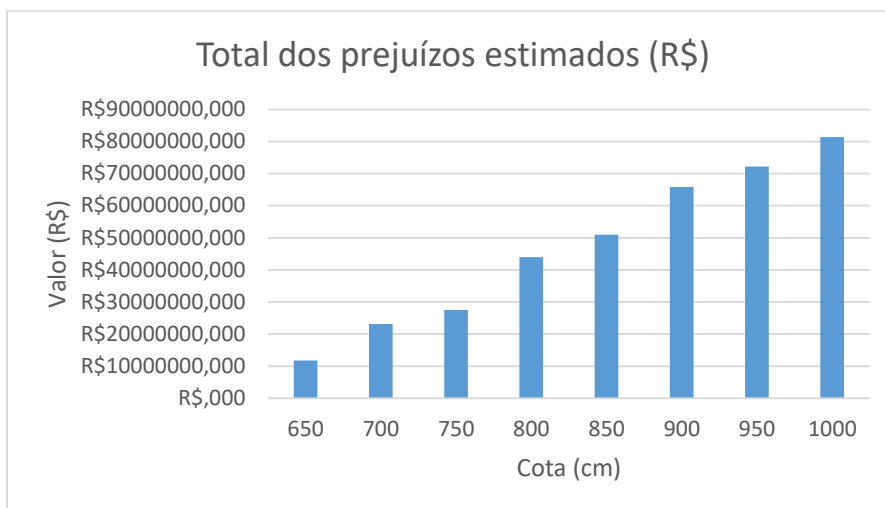
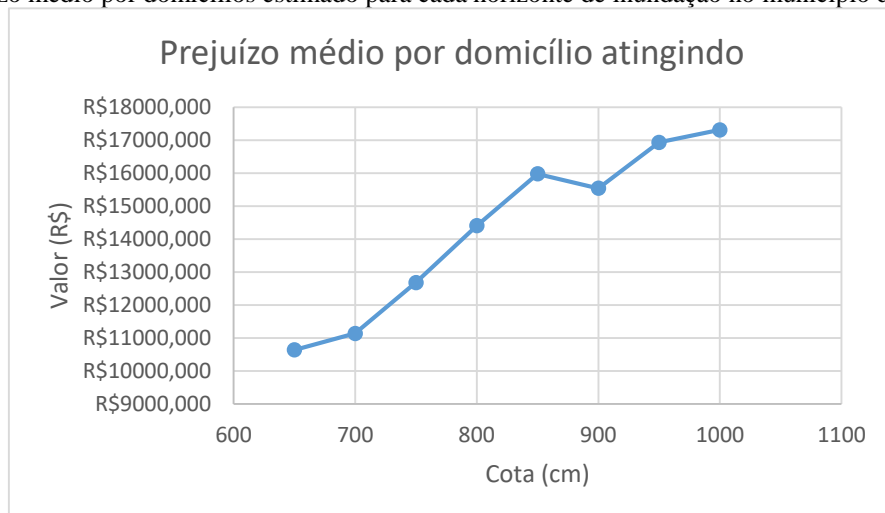


Gráfico 2: Prejuízo médio por domicílios estimado para cada horizonte de inundação no município de Montenegro-RS.



A defesa civil local produz um relatório de danos (formulário de informações do desastre – FIDE) com uma estimativa de prejuízo global, no entanto os critérios adotados têm como enfoque a quantificação de prejuízos econômicos no setor público, como os com saúde pública, decorrentes de atendimentos médicos emergenciais, bem como reparos na infraestrutura de transporte, geração e distribuição de emergência elétrica. Os resultados obtidos utilizando a presente metodologia tem ênfase nos prejuízos diretamente relacionados aos domicílios podendo serem utilizados para complementação do FIDE.

É importante destacar que a utilização dessas estimativas em conjunto com um sistema de alertas de inundação, como ferramenta para auxílio de tomada de decisão, requer atualização regular das variáveis diretamente relacionada a flutuação de preços, evitando a sua defasagem e consequente subestimação dos prejuízos.

4 CONCLUSÃO

O objetivo central desse trabalho foi realizar uma estimativa de danos e prejuízos econômicos, decorrentes de diferentes limiares de inundação para o município de Montenegro – RS, como forma

de subsidiar o processo de tomada de decisão dos entes governamentais responsáveis pelo gerenciamento de situações de risco. A utilização dos resultados obtidos em conjunto com um sistema de previsão e alerta de inundações se configura como uma importante ferramenta de gerenciamento de risco, uma vez que possibilitando antever prejuízos pode contribuir com a otimização da aplicação de recursos e pessoal em setores específicos ou ainda subsidiar a requisição de recursos emergenciais. A metodologia se mostrou de execução prática, uma vez que não necessita da execução de extensos inventários de danos em campo, podendo ser replicada de forma rápida em diversas localidades e integrada a sistemas de monitoramento e alertas hidrológicos.

4 REFERÊNCIAS

- ABEP. Associação Brasileira de Empresas e Pesquisa. Critério Brasil, 2016.
- ABHAS K JHA (Washington). Banco Mundial. Cidades e Inundações: Um guia para a Gestão Integrada do Risco de Inundação Urbana para o Século XXI.. Washington Dc: Banco Mundial, 2012. 54 p.
- BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Grade Estatística. Brasília, 2016. 33 slides, color.
- BRASIL. Emanuel Duarte Silva. Serviço Geológico do Brasil. ELABORAÇÃO DE MANCHAS DE INUNDAÇÃO PARA AS CIDADES DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ E MONTENEGRO. Porto Alegre: CPRM, 2016. 23 p.
- CANÇADO, V. L. Consequências econômicas das inundações e vulnerabilidade: Desenvolvimento de metodologia para avaliação do impacto nos domicílios e na cidade. 2009. 394 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2009.
- FADEL, Amanda Wajnberg. Incorporação do Risco de Prejuízo no Gerenciamento de Medidas de Controle de Inundação. 2015. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Iph, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- JONOV, Cristiane Machado Parisi; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira; SILVA, Adriano de Paula e. Avaliação de danos às edificações causados por inundações e obtenção dos custos de recuperação. Ambiente Construído, [s.l.], v. 13, n. 1, p.75-94, mar. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212013000100006>.
- TACHINI, M. Avaliação de danos associados às inundações no município de Blumenau. 2010. 167 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.