

Modelo de risco para chuvas intensas aplicado para a Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu, Região Metropolitana de Curitiba, PR

Marciel Lohmann¹
Flavio Deppe¹
Romario Trentin¹
Jean Grassi¹

¹Instituto Tecnológico SIMEPAR, Centro Politécnico da UFPR
Caixa Postal 19100 - 81531-980 - Curitiba - PR, Brasil
{marciel, deppe, romario, jgrassi}@simepar.br

Abstract: The environmental and economic problems of a region are usually related to lack of planning based on knowledge, diagnostic surveys and considering the environmental, social, economic and territory use and occupation dynamics involved. With regards to water resources, the problems are related to scarcity, which results in cutting the domestic supply, and with excess, which results in flooding. Allied to these, usually occurs contamination by organic substances and/or toxic, and degradation of water resources. All this causing impact on both the environment, habitats and human health. Floods depend on the population density, land use, stream network, territorial and physical characteristics (topography, soils, vegetation, etc.), and the intensity and frequency of precipitation. For the control of floods, some measures can be adopted to modify the relationship between rainfall and stream flow, plan and systematize the land use (mainly the areas of risk, etc.). This study aims to use a model for determining the risk related to the occurrence of heavy rains in the Upper Iguaçu watershed area, inserted in the Metropolitan Region of Curitiba (Pilot Area), and consequently the risk of flooding. Results indicated that the highest risk of flooding are linked to environment vulnerability within the urban areas of the counties. This was the case in the city of Curitiba, which shows high rates of soil sealing (due to urbanization) and concentration of population. The Iguaçu River plain is in another area of high flood risk, due to flat terrain (low slope) and lowlands. The flood model adopted should be validated with records of floods for comparisons and further assessments.

Palavras-chave: Risk, Vulnerability Model, Flood, Risco, Modelo de Vulnerabilidade, Inundações.

1. Introdução

As inundações são mais antigas que a existência do homem na terra. O homem sempre procurou se localizar perto dos rios para usá-lo como transporte, obter água para seu consumo e mesmo dispor seus dejetos. As áreas próximas aos rios geralmente são planas e propícias para o assentamento humano o que também motivou a sua ocupação.

O desenvolvimento histórico da utilização de áreas livres explica muito dos antigos condicionamentos urbanos existentes. Devido à grande dificuldade de meios de transporte no passado, utilizava-se o rio como a via principal. As cidades se desenvolveram às margens dos rios ou no litoral. Pela própria experiência dos antigos moradores, a população procurou habitar as zonas mais altas em que o rio dificilmente chegaria (TUCCI & BRAGA 2003).

No caso brasileiro, as características sociais e ambientais de diversas cidades, tais como a impermeabilização excessiva do solo e parcela considerável da população ocupando fundos de vale e áreas de inundação, acarretaram problemas crônicos de enchentes nos últimos anos, causando grandes impactos em áreas urbanas, prejudicando as condições de vida da população e provocando prejuízos econômicos.

Assim, uma das maiores dificuldades quanto à prevenção dos impactos pluviiais reside no fato de que toda a estrutura urbana é “planejada” usando como parâmetro apenas o estado médio dos fenômenos meteorológicos, desconsiderando as anomalias que fazem parte do clima local, e que esporadicamente ocorrem.

Portanto, a chuva é o principal elemento deflagrador dos acidentes relacionados a inundações, mas a ocupação inadequada de áreas sujeitas a alagamentos é o principal componente da vulnerabilidade da população frente a esses eventos, e decorrem de processos políticos, econômicos e culturais.

Com o intuito de desenvolver um sistema de alerta para as chuvas intensas baseado num conceito mais amplo de risco, optou-se por envolver não apenas as ameaças meteorológicas, mas também as vulnerabilidades locais a estas ameaças.

Levando-se em consideração que não há como evitar totalmente que desastres ocorram entre eles as inundações, é de fundamental importância aprender a conviver com as possíveis adversidades trazidas por eles.

Neste sentido, o gerenciamento de desastres naturais apresenta-se como alternativa, tornando-se o conjunto de ações que tem como objetivo mitigar os efeitos negativos de determinados eventos extremos.

Rylander & Mégevand (1993) definem risco como a probabilidade da ocorrência de danos e/ou perdas sociais e econômicas. Segundo estes autores, o risco pode também ser expresso por uma ameaça e a existência de condições de vulnerabilidades. De acordo com Franco (1999), o risco é a probabilidade de ocorrência de um fenômeno natural, com potencial destrutivo. Segundo este autor, o risco depende das ameaças, e da vulnerabilidade a estas ameaças conforme a equação 1.

$$RISCO = Ameaça \times Vulnerabilidade \dots \dots \dots (1)$$

A ameaça é o fenômeno natural que atinge a região e o seu grau de risco geralmente avaliado pelo tempo de retorno (Tr)¹. Características como magnitude, probabilidade de ocorrência e possibilidade de previsão, contribuem para a avaliação do grau de risco. Medidas estruturais que atenuem a magnitude diminuem a parcela da ameaça na estimativa do risco.

Cardona (1993) define ameaça como um fator de risco externo de um indivíduo ou sistema, associado a um fenômeno de origem natural ou tecnológica. Este mesmo autor conceitua a vulnerabilidade como sendo um fator de risco interno de um indivíduo ou sistema exposto a uma ameaça e correspondente a sua predisposição intrínseca de ser afetado ou tornar-se susceptível de sofrer uma perda.

De acordo com Rylander & Mégevand (1993), a ameaça é definida como a probabilidade de um fenômeno de origem natural ou causado pela ação humana ocorrer em um determinado tempo e região.

Segundo estes autores a vulnerabilidade é entendida como o conjunto de condições sociais, culturais, econômicas e produtivas, nas quais a população se encontra para enfrentar uma ameaça.

Levando em consideração as ideias apresentadas por Andrade (2006), a vulnerabilidade indica quão bem preparada está a área para receber a ameaça, ou a propensão de uma área em sofrer dano causado por uma ameaça. Este termo apresenta maior desafio para ser definido e avaliado, pois consta de uma componente física e uma social. Turner et al (2003) definem a vulnerabilidade como o grau ao qual o sistema está propenso a ter dano causado pela exposição à ameaça, mas salientam como a vulnerabilidade depende também da resiliência do sistema ameaçado, ou seja, da capacidade do sistema em absorver distúrbios e em se organizar durante a mudança para manter as mesmas funções, estrutura e identidade.

¹ Segundo Baptista et al (2005) o tempo de retorno (Tr) é o intervalo médio entre duas ocorrências sucessivas de um dado evento ou sua superação.

Tendo com premissa as idéias apresentadas, para o presente trabalho, selecionou-se como área de estudo a bacia hidrográfica do Alto Iguaçu (Figura 1), inserida na Região Metropolitana de Curitiba-PR. A escolha desta área justifica-se na medida em que grandes transformações socioeconômicas e ambientais foram observadas ao longo das últimas décadas correspondendo fortes pressões e modificações sobre o ambiente, muitas das quais se traduziram em perdas irreparáveis para esta bacia. A pressão da sociedade sobre o meio físico, visível nos mais diversos aspectos, desde a ocupação de espaços agrícolas nas periferias dos centros urbanos, de vertentes declivosas até a construção em áreas de leito de inundação, constitui um dos principais fatores responsáveis pela degradação ambiental e pela inerente perda de qualidade de vida das populações.

Neste sentido, objetivou-se construir um modelo para determinação do risco de ocorrência de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Alto Iguaçu, inserida na Região Metropolitana de Curitiba (Área Piloto).

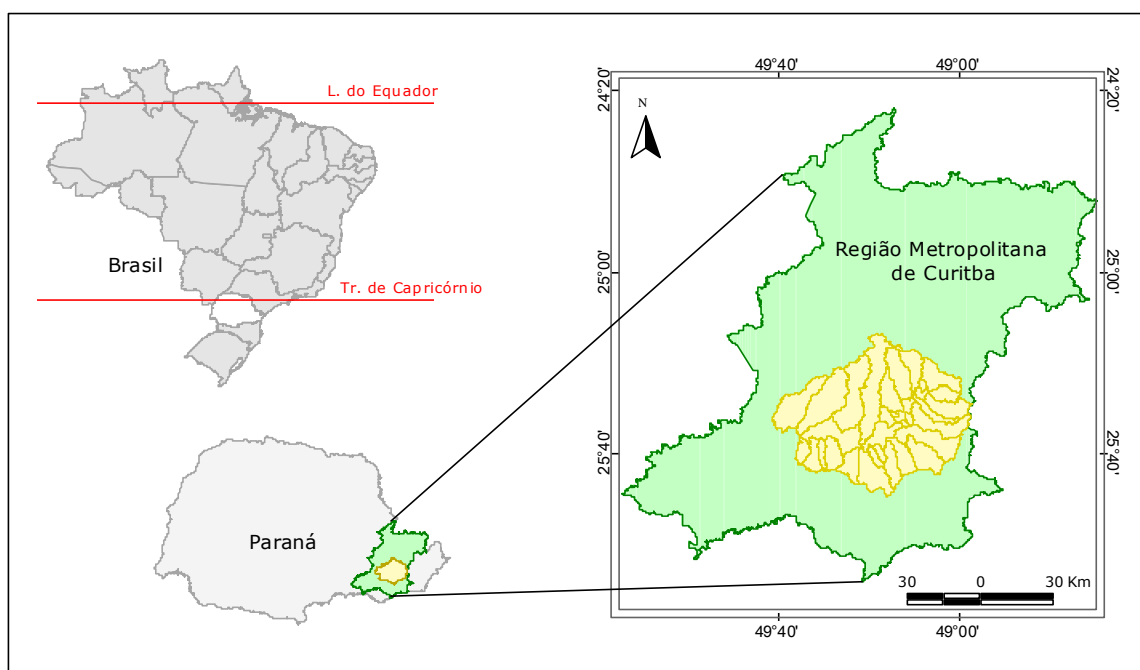


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo (Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu).

2. Materiais e Métodos

Para a elaboração do modelo de vulnerabilidade, as variáveis foram organizadas em duas classes distintas, ou seja, variáveis do meio físico e variáveis do meio sócio-econômico.

O meio sócio-econômico foi representado pelo risco atribuído ao número de pessoas de cada setor censitário (urbano e rural) e as variáveis do meio físico englobam os riscos relativos aos solos, uso e ocupação do solo, geologia, geotecnia e declividade. A Figura 2 mostra o fluxograma do modelo hierárquico utilizado para geração da vulnerabilidade da área.

Para o modelo de vulnerabilidade, a variável solos foi considerada como sendo de fundamental importância, já os mesmos regulam a infiltração da água e conseqüentemente uma maior ou menor taxa de escoamento.

A partir dos parâmetros encontrados no levantamento de solos para cada classe, foram calculados os valores da condutividade hidráulica saturada e da capacidade de água do solo.

No programa “Splintex” construído por Prevedello (2000), foram informadas as porcentagens de areia, silte e argila. A partir do valor da densidade de partículas do solo para cada horizonte, calcula-se os valores da condutividade hidráulica saturada (Ψ_m), da umidade

residual (θ_r), da umidade de saturação (θ_s), e dos coeficientes α , m e n da equação de van Genuchten, mostrada na equação 2:

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \Psi_m)^n]^m} \dots\dots\dots(2)$$

A partir da equação de van Genuchten e dos coeficientes fornecidos pelo Splintex, foi possível calcular a umidade na capacidade de campo e umidade no ponto de murchamento substituindo Ψ_m por 15000 cm H₂O e 330 cm H₂O respectivamente. A subtração dos dois valores encontrados resulta na capacidade de água do solo.

Foram utilizados os valores calculados de condutividade hidráulica e capacidade de campo para os horizontes A e B de cada tipo de solo.

As unidades geológicas referentes a bacia do Alto Iguaçu dizem respeito a: Aluviões Atuais, Formação Guabirotuba, Intrusivas Básicas, Formação Furnas, Formação Camarinha, Formação Capiru e os Complexos Granito-Gnáissico e Gnáissico-Migmatítico. Foram dados pesos a cada uma das classes citadas de acordo com o grau de risco a inundações.

A geotecnia, de acordo com SUDERHSA (2000) permite identificar as áreas mais favoráveis à ocupação e os riscos geológicos associados aos tipos de terreno. As classes de geotecnia são subdivididas em unidades de terreno, apresentando características geotécnicas uniformes (geologia e declividade), permitindo auxílio no planejamento das formas de ocupação do solo, uma vez que reúnem um grupo de atributos de grande importância na caracterização do meio físico. Dessa forma, assim como para a geologia foram atribuídos pesos a cada classes de acordo com o grau de risco a inundações.

As classes de uso e ocupação do solo foram obtidas junto a SUDERHSA a partir de técnicas de sensoriamento remoto e interpretação das fotografias aéreas digitais ortorretificadas (ortofotos) de junho de 2000. O mapeamento do uso do solo designa qualquer forma de uso e ocupação do solo, tanto pela cobertura vegetal natural, quanto pelas diversas atividades humanas como áreas urbanas, atividades agropecuárias, mineradoras, industriais e extrativistas. A partir da análise das ortofotos e da escala (1:20.000) utilizada para a interpretação, foi definida a legenda do mapeamento, resultando em 22 classes de uso.

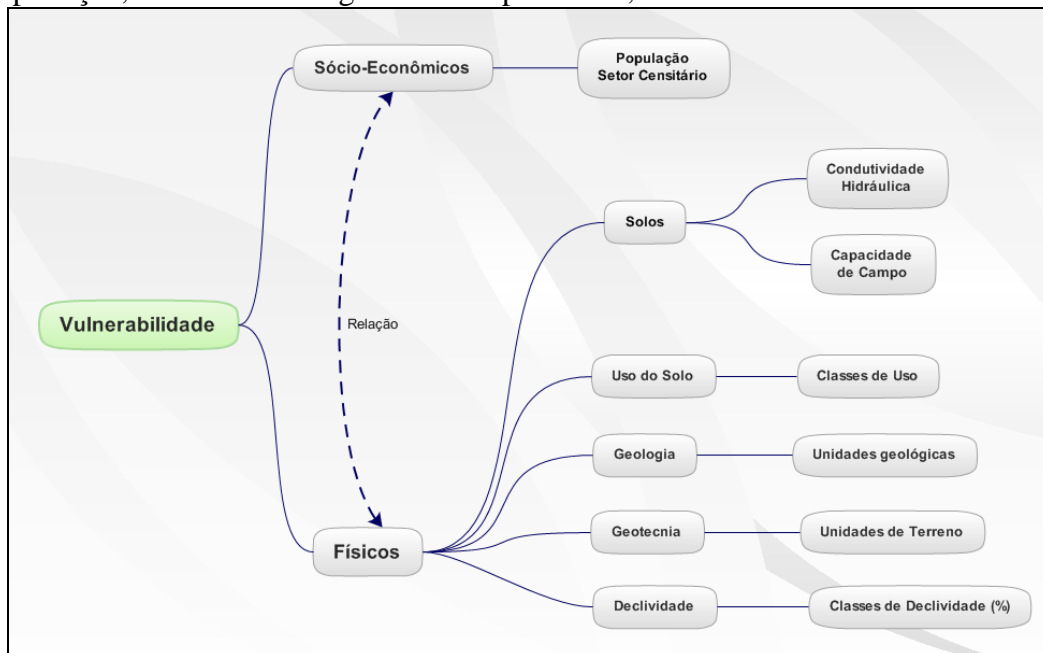


Figura 2 – Fluxograma do modelo hierárquico

O peso de cada classe com relação à vulnerabilidade a inundações foi definido pelo modelo hierárquico.

Para as classes de declividade, geradas a partir do Modelo Digital de Elevação (DEM) da bacia do Alto Iguaçu, utilizou-se como convenção as classes adaptadas de Ross (1992). A Tabela 1 ilustra as classes de declividade utilizadas para integração no modelo de vulnerabilidade a inundações.

Os pesos atribuídos a cada classe de declividade também se deram em função do maior risco a inundações a que determinado tipo de terreno está sujeito.

A variável do meio sócio-econômico, representada pela população de cada setor censitário foi compilada a partir de dados do IBGE.

Tabela 1 Classes de declividade e relevo

Nível de declividade (%)	Grau de Limitação
0 a 3	Plano/Praticamente plano
3 a 6	Suave ondulado
6 a 12	Moderadamente ondulado
12 a 20	Ondulado
20 a 45	Forte ondulado
> 45	Montanhoso/Escarpado

Fonte: Adaptado Ross, 1992

Optou-se por não utilizar a densidade populacional já que a mesma não representa a realidade de cada setor, pois em determinados setores, em função da área do setor ser muito pequena, o número resultante da divisão entre população e área, resultou em um valor extremamente alto, não condizendo com a realidade.

De posse de todos os dados no mesmo sistema de referência e datum partiu-se para a fase de conversão dos mesmos, já que originalmente encontravam-se em formato “shape”. A conversão foi feita para formato “raster”, estabelecendo-se o tamanho de célula (pixel) de 30 m como referência. Posteriormente a conversão dos dados, elaborou-se a reclassificação dos mesmos, atribuindo-se os pesos a cada classe de cada variável.

Utilizando-se da ferramenta “Raster Calculation” foram cruzadas a variáveis e gerado o mapa de “Vulnerabilidade a Inundações da Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu”. Os valores calculados foram normalizados em uma escala que varia de 0 a 1 sendo o valor zero (0) de baixa vulnerabilidade e o valor um (1) de alta vulnerabilidade.

Levando-se em consideração que o objetivo principal era de gerar um modelo para determinação do risco de ocorrência de chuvas intensas e que o RISCO = Ameaça X Vulnerabilidade, partiu-se para o cruzamento do mapa de vulnerabilidade com o mapa de chuva, considerado como sendo a “Ameaça”.

Para tal procedimento, utilizou-se a precipitação efetiva obtida considerando a precipitação do dia corrente (dia previsto pelo modelo) e a precipitação dos dois dias anteriores (obtida pelo satélite), tendo esses os menores ‘pesos’ (Equação 3).

$$PE_j = \sum_{n=1}^i \left(\sum_{m=1}^n \frac{P_m}{n} \right) \dots \dots \dots (3)$$

Em que: **j** = índice do dia corrente; **i** = duração sobre a qual a soma é calculada, sendo considerada neste estudo igual a três, ou seja, é o dia corrente somado com os três dias anteriores; e **P_m** = é a precipitação m-1 dia, antes do dia corrente (dia da previsão).

Assim, como exemplo, se nos dias 23 e 24 houve registro de 5 mm e 30 mm, respectivamente, e o modelo previu para o dia 25, chuva de 0 mm, o cálculo da precipitação efetiva será da seguinte forma:

$$PE = \left(d_{25} + \left(\frac{d_{25} + d_{24}}{2} \right) + \left(\frac{d_{25} + d_{24} + d_{23}}{3} \right) \right) \dots \dots \dots (4)$$

A conversão dos valores da precipitação efetiva para uma escala de risco foi definida através do ajuste de funções matemáticas aos histogramas de frequências acumuladas da

chuva efetiva calculada para o período de janeiro de 2004 até dezembro de 2007. Para o ajuste destas funções foram consideradas as variabilidades espacial e temporal do clima de precipitação da área em estudo.

De posse dos dados de precipitação e vulnerabilidade, elaborou-se o cruzamento dos dados e por consequência o “Mapa de Risco a Inundações da Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu”.

3. Resultados

Para a bacia hidrográfica do Alto Iguaçu, constatou-se que as áreas com maior vulnerabilidade estão localizadas na planície de inundação do rio Iguaçu (Figura 3) e no município de Curitiba, tendo como forte característica as baixas declividades e os solos do tipo hidromórficos além da taxa de impermeabilização do solo.

Tendo como premissa que as características dos diversos tipos de solos possuem fundamental importância para entendimento das inundações, procedeu-se o cálculo da condutividade hidráulica e capacidade de campo. Contatou-se que efetivamente os solos do tipo latossolos e orgânicos possuem alta condutividade hidráulica, o contrário dos cambissolos e hidromórficos. Relacionando-se com os resultados do modelo, os solos com baixa condutividade localizam-se exatamente nas áreas com maior vulnerabilidade.

Quando comparada a relação expressa entre a expansão urbana e os impactos diretos e indiretos sobre a disponibilidade quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos, a quantidade de população por setor censitário e por sub-bacia hidrográfica representa um forte indicador.

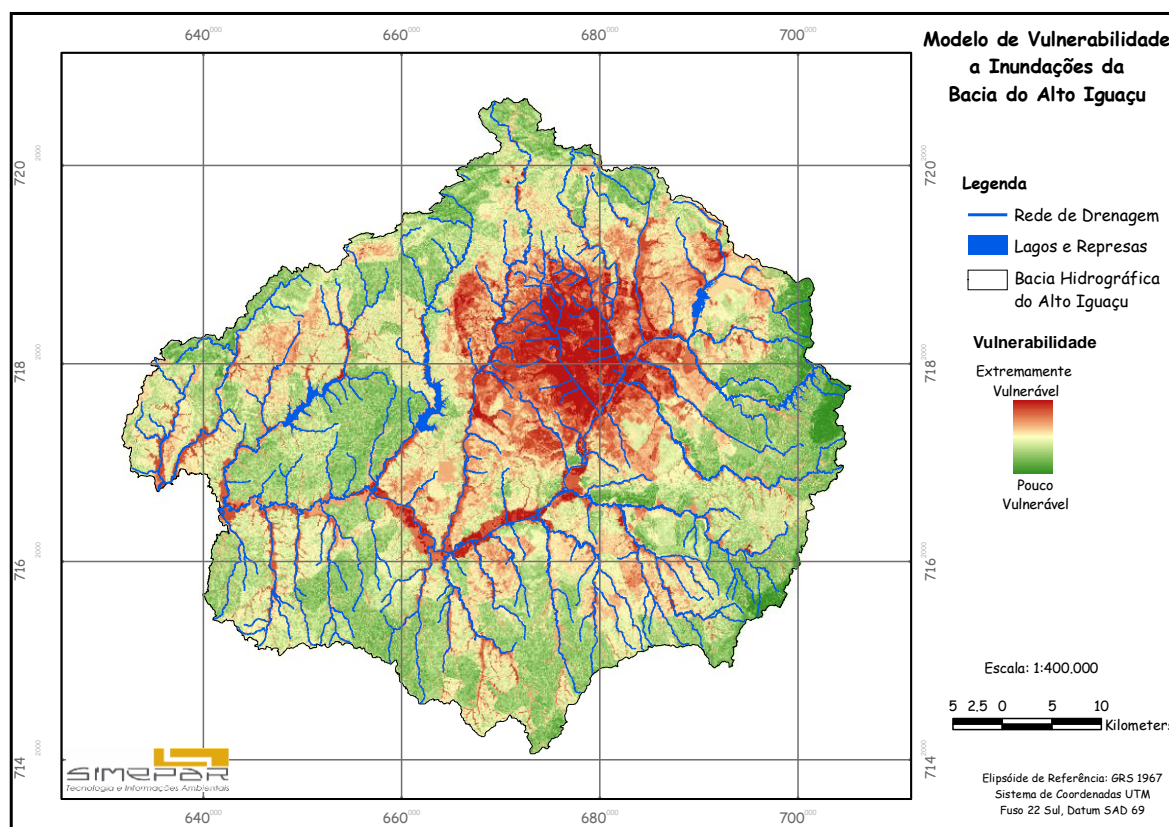


Figura 3 – Vulnerabilidade a Inundações na Bacia do Alto Iguaçu

Elaborando-se uma breve relação entre alguns parâmetros, nota-se que quanto maior a população da cada bacia (representada neste estudo pelos setores censitários), maior também a demanda por abastecimento daquela população, maior o volume de resíduos e efluentes gerados, maior o impacto sobre a cobertura natural existente e maior a impermeabilização do

solo, reduzindo a recarga local dos aquíferos subterrâneos e aumentando a intensidade das inundações. Por isso, a porção nordeste da bacia do Alto Iguaçu torna-se a área com maior grau de vulnerabilidade.

Para estabelecer o modelo de risco a inundações da bacia do Alto Iguaçu, inicialmente procedeu-se o cálculo da chuva, já que a mesma representa a “ameaça”. Os dados de precipitação foram espacializados e interpolados numa grade de 100m, mesma grade do modelo de vulnerabilidade. Tais dados foram convertidos em uma escala de risco que varia de 0 a 1, obedecendo a lógica de que o valor máximo (1) corresponde a qualquer chuva acima de 50 mm, sendo padronizado estatisticamente o restante da escala.

Após os dados de precipitação encontrar-se preparados, partiu-se para a multiplicação dos valores de vulnerabilidade X chuva. Para tal procedimento foram simulados, com dados reais de precipitação, quatro casos. Os casos correspondem aos dias a seguir: 1) Dia 19/08/2009; 2) Dia 20/08/2009; 3) Dia 21/08/2009 e 4) Dia 08/09/2009. Os resultados são apresentados na figura 4.

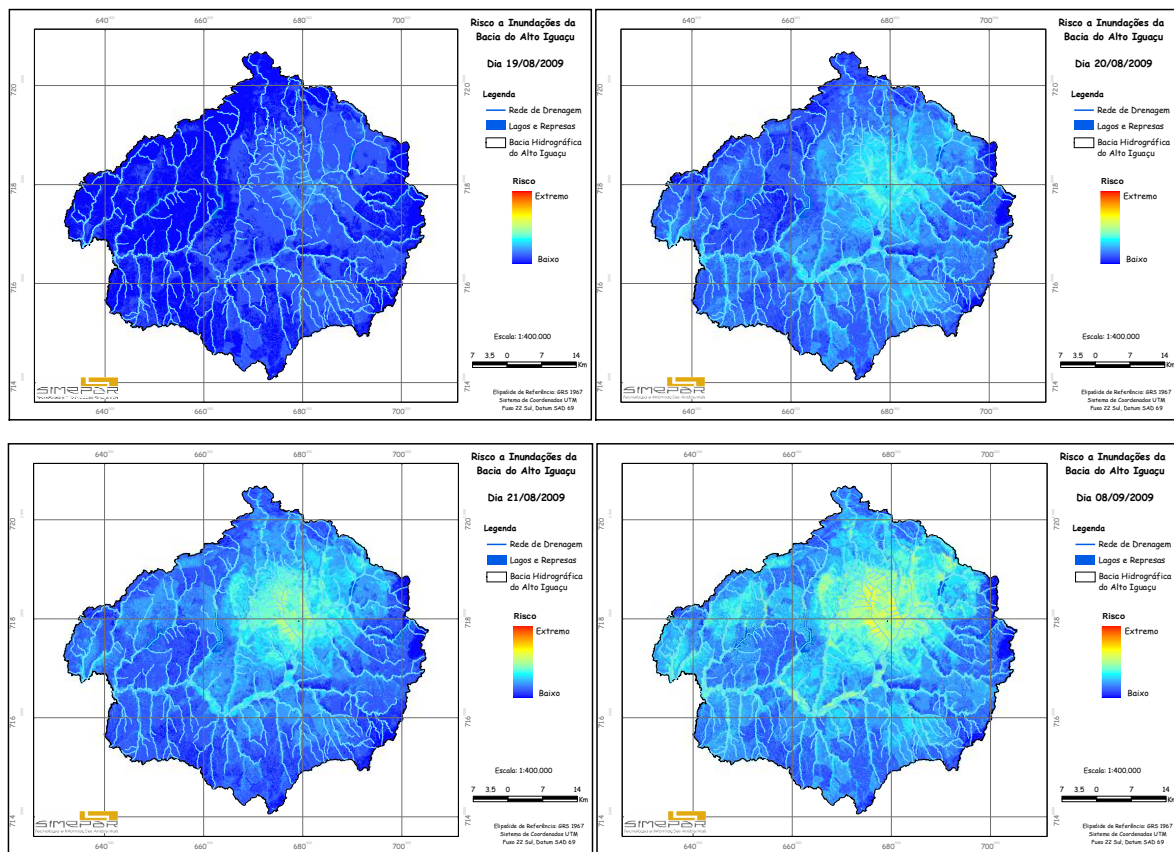


Figura 4 – Risco a inundações na Bacia do Alto Iguaçu para os dias 19,20 e 21/08/2009 e 08/09/2009

De acordo com os resultados, constatou-se que o modelo é sensível e responde de forma correta aos dados de entrada.

Para o dia 19/08/2009, os dados de chuva apresentavam variação de 0.2 a 0.4 (em uma escala que varia de 0 a 1). Desta forma, o risco a inundações ficou baixo para toda a área de estudo. Para o dia 20 e 21/08/2009 a variação dos valores de chuva ficaram entre 0.4 e 0.6. Elaborando-se a multiplicação com os dados do modelo de vulnerabilidade, constatou-se que as áreas sujeitas a inundações concentram-se principalmente na área urbana de Curitiba e ao

longo da calha do rio Iguaçu, mostrando que o modelo responde de forma adequada ao aumento da precipitação em tais áreas.

O último caso, ou seja, o dia 08/09/2009, foi escolhido em função de atingir em alguns locais o nível extremo de chuva. Desta forma, elaborando-se a multiplicação constatou-se que novamente as áreas mais sujeitas e com maior risco a inundações são realmente a parte central do município de Curitiba bem como as áreas próximas aos principais cursos d'água da bacia do Alto Iguaçu.

4. Conclusões

Como esperado, observou-se que os maiores riscos, ligados claramente a vulnerabilidade do ambiente estão vinculados a área urbana dos municípios que estão inseridos na bacia em estudo, principalmente ao município de Curitiba, que apresenta alto índice de impermeabilização do solo (condutividade hidráulica praticamente nula) e grande população. A planície do rio Iguaçu constitui-se em outra área de elevado risco a inundações, tendo como principal característica reguladora de tal risco a baixa declividade e os solos hidromórficos.

Vale ainda salientar que para obtenção de melhores resultados para o modelo de vulnerabilidade bem como para os mapas de risco sugere-se avaliações em nível de sub-bacias. Sugere-se ainda que seja melhorada a resolução espacial dos dados de precipitação.

Outra sugestão que é colocada trata da validação do modelo de risco com dados de ocorrências de alagamentos e inundações. A partir de tais registros (espaciais) pode-se comparar se os resultados do modelo de risco estão sendo calculados corretamente.

Testes em nível operacional estão sendo feitos para que o modelo possa ser implementado.

Referência Bibliográficas

ANDRADE, J. P. **Previsão hidrometeorológica visando a sistema de alerta antecipado de cheias em bacias urbanas**. São Carlos. Dissertação - EESC, USP 2006.

CASTRO, A. L. C. de. **Glossário de Defesa Civil: estudos de riscos e medicina de desastres**. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa. Brasília – DF, 2002, 3º Edição, 283 p.

FRANCO, M. de A. R. **Planejamento ambiental para a cidade sustentável**. São Paulo: Annablume: FAPESP, 2001.

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo**. Com problemas resolvidos. Curitiba. 446 p. 1996.

PREVEDELLO, C. L. **Programa SPLINTEX para estimar a curva de retenção de água a partir da granulometria (composição) do solo – Versão 1.0**. 1999.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do Depto. de Geografia, FFLCHUSP, n. 6, São Paulo, 17-30.1992

RYLANDER, R. e MÉGEVAND, I (dir.). **Introdução à medicina do ambiente**. Lisboa, Instituto Piaget, 1993.

TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. (org.). **Clima e recursos hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, 2003. p.281-348

TURNER, B. L. et al.. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. PNAS, vol. 100, nº 8, pp. 8074-8079, Julho de 2003.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

ZANELA, E. **O impacto das precipitações, as inundações e a percepção das comunidades atingidas, da imprensa e dos gestores públicos: um estudo de caso no bairro Cajuru – Curitiba – PR**. Curitiba, 2005. 209 p. Tese (Programa de Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná.