

## Modelo de Seguro para Riscos Hidrológicos

**Julian Margarido Righetto, Eduardo Mario Mendiondo**

*Depto. Hidráulica e Saneamento, EESC/USP*

*julianmr@uninove.br ; emm@sc.usp.br*

**Antonio Marozzi Righetto**

*Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Natal - RN*

*righetto@ct.ufrn.br*

*Recebido: 20/06/06 - Revisado: 14/08/06 - Aceito: 01/02/07*

---

---

### RESUMO

O artigo trata da introdução de um modelo de seguro contra prejuízos causados pelas enchentes em uma micro-bacia hidrográfica localizada em São Carlos, SP. A alta frequência com que vêm ocorrendo enchentes em muitas cidades brasileiras motivou o desenvolvimento deste estudo. Com o intuito de quantificar os acréscimos nas vazões de cheias decorrentes dos avanços da urbanização, caracterizados, principalmente, pelo aumento de áreas impermeáveis, foi escolhida uma área de teste na cidade de São Carlos, a região do micro-centro no córrego do Gregório. Objetiva-se avaliar o "custo da incerteza" que a sociedade está disposta a pagar, ou a sua redução, usando mecanismos de transferência de riscos como Seguros. Através de simulação hidrológica e da avaliação dos prejuízos nos eventos com inundação, desenvolveu-se um modelo para a fixação do prêmio a ser pago pelo segurados de modo a compatibilizar os valores de inundação com o capital a ser acumulado pelo fundo de seguro contra enchentes.

**Palavras-chave:** *Previsão de Inundações, Riscos, Modelos de Seguro, Sistemas de Alerta Antecipado.*

---

---

### INTRODUÇÃO

A gestão de risco para inundações trata da integração de princípios e prioridades na investigação de cheias que afetam as grandes capitais do mundo.

A América Latina tem comprometido mais de 2 % do Produto Interno Bruto e mais de 15 % de sua arrecadação de impostos pela falta de gestão do risco de inundações. Cenários até o horizonte de 2050 indicam prioridades para políticas públicas que contemplam adequadamente a gestão de riscos de inundação.

### MODELOS DE SEGUROS PARA INUNDAÇÕES

Modelos de seguros para inundações são descritas por Righetto e Mendiondo (2005) e analisados em detalhe por Righetto (2005). Os modelos de seguro contra enchentes têm como etapas: 1) identificação do prêmio inicial, taxa de juros, máximo valor do fundo do seguro e massa de assegurados; 2) simulações sintéticas de cenários para dife-

rentes tempos de retorno diante da ocorrência de enchentes; 3) otimização de prêmios; e, 4) análise de sensibilidade para diferentes coberturas de seguro. Os passos são apresentados na tabela 1.

### EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Mostra-se uma aplicação do modelo de seguro contra enchentes na bacia piloto do Rio Gregório em São Carlos SP, Brasil. A bacia total tem uma área de drenagem de 19 km<sup>2</sup>, sendo a área até o Micro Centro Comercial de São Carlos de aproximadamente 13 km<sup>2</sup>. As enchentes no micro-centro são decorrentes do crescimento urbano acelerado observado no século XX.

#### Percepção das perdas de enchentes

A percepção da disponibilidade do prêmio a pagar é relacionada com as perdas causadas pelo impacto das enchentes, conforme aparece na figura 1, e com a dispersão da percepção do dano para diferentes momentos depois da enchente. A figura 2 mostra que a dispersão das respostas diminui com o tempo.

**Tabela 1 - Variáveis do modelo de seguro para inundações.**  
Adaptado de Righetto & Mendiondo(2005).

Nome	Definição
Prêmio inicial (P)	Quantidade inicial a pagar para contratar um seguro, sem otimização
Taxa de Juros (i)	Taxa de juros anual médio (%)
Intervalo	Passo de tempo (ano) de uma série sintética de ocorrências anuais
Probabilidade (Q<Q*)	Probabilidade de ocorrência (0,1) de uma variável aleatória com distribuição pré-estabelecida
Tempo de Retorno	Recorrência anual; $Tr = [1-Prob(Q<Q^*)]^{-1}$
Volume de inundação	Existem duas opções: 1) como função de inventário regional; 2) por simulação hidrológica.
Altura de inundação	Nível de água em função do evento hidrológico e do tempo de retorno.
Perdas	Custos associados a área de influência da inundação
Indenização	Valores a pagar em função do fundo do seguro e das perdas
Prêmio a pagar	Valor do prêmio a ser otimizado
Fundo do Seguro	$S(t) = S(t-1) (1+i) + P(t) - Indenização(t)$
Função objetiva	Minimizar (Prêmio), sujeito a: Prêmio $\geq 0$ ; Soma (Perd.-Inden.+Prêmio) $\geq 0$

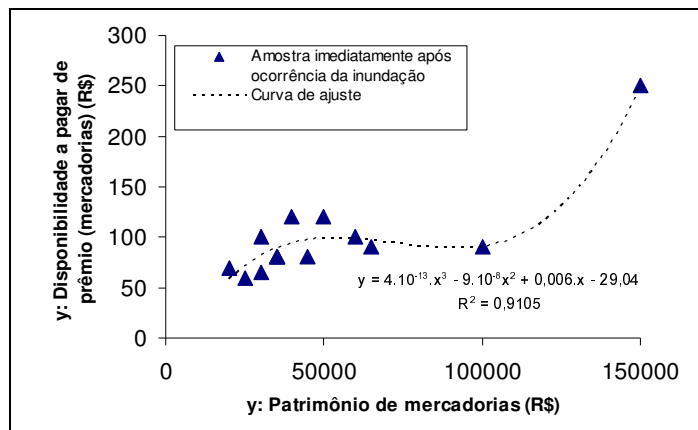


Figura 1 – Relação entre patrimônio de mercadorias (abscissas) e disponibilidade a pagar o seguro.

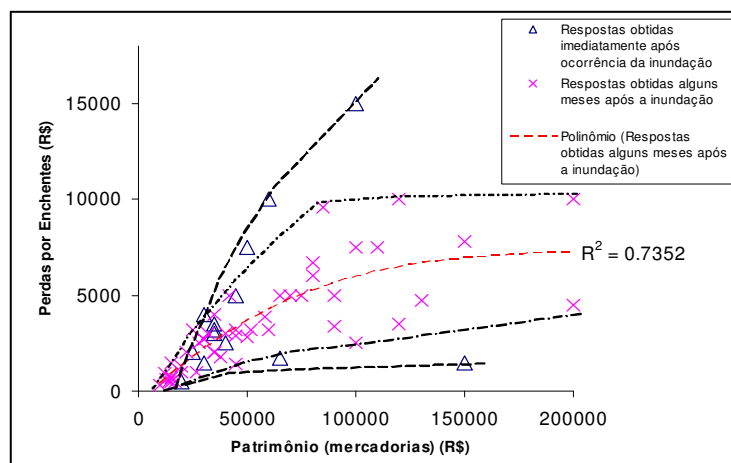


Figura 2 - Variação de respostas, de percepção por perdas de inundações na bacia urbana experimental, São Carlos, Brasil. Fonte: Righetto (2005).

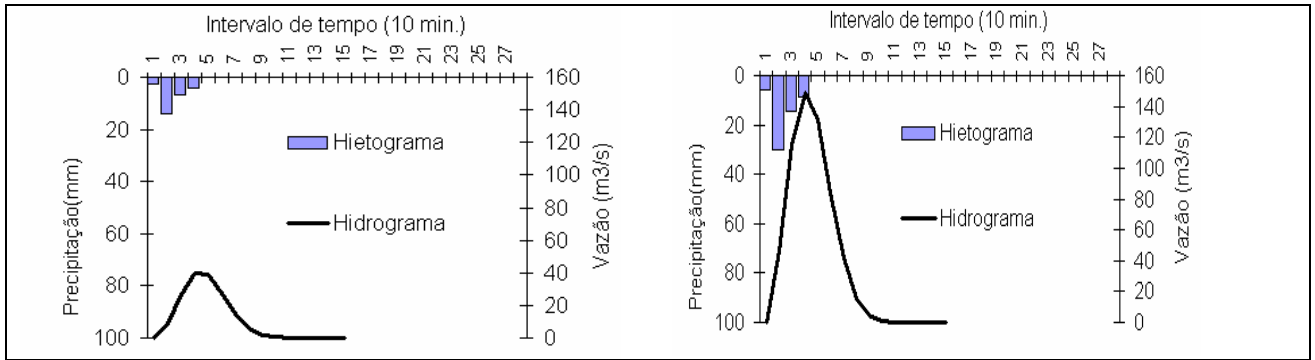


Figura 3 – Hidrogramas de desenho para  $t_r=2$  e 50 anos na bacia experimental, para curvas de perdas.

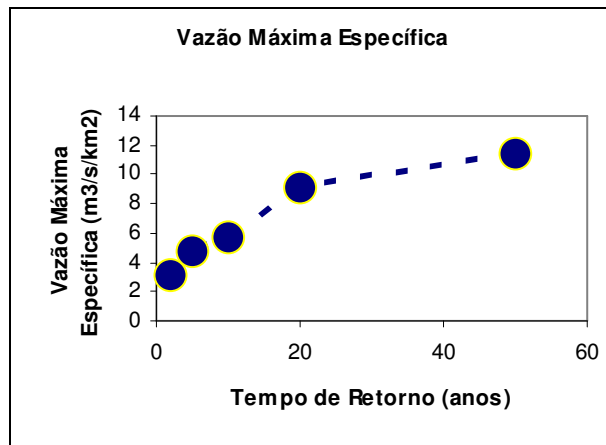


Figura 4 – Vazão máxima específica para diferentes tempos de retorno na bacia experimental.

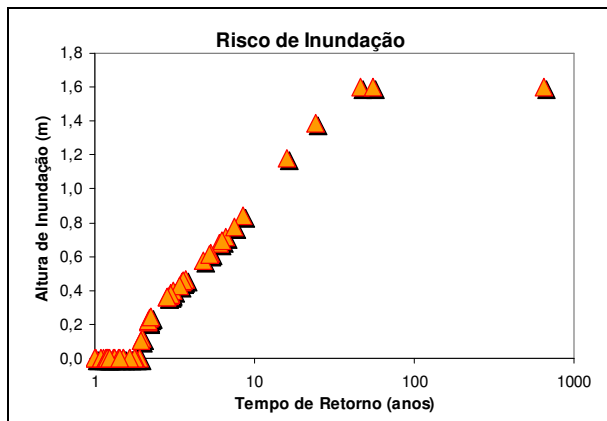


Figura 5 – Alturas máximas de inundação para diferentes tempos de retorno na bacia experimental.

#### Simulações de cenários para tempos de retorno

A curva de perdas por enchentes é obtida por análises para diferentes tempos de retorno,

obtidos de duas maneiras: a) com base em inventário regional de vazões de desenho a) pela simulação de cada cenário de ocorrência de eventos extremos. Na figura 3 aparecem, como exemplo, os histogramas e hidrogramas de desenho para tempos de retorno ( $t_r$ ) de 2 e 50 anos. Para vários tempos de retorno, é possível construir a curva de vazões máximas (figura 4), de alturas críticas (figura 5) e a correspondente curva de perdas (figura 6).

#### Otimização dos prêmios de seguro

Para cada ano gera-se o T (tempo de retorno) e avalia se há enchente, o prejuízo, a indenização e as mudanças de capital acumulado do fundo.

Para que a indenização seja paga integralmente, o prêmio deverá ficar um pouco acima do calculado. Abaixo, o fundo entra em confusão por causa do endividamento, e, acima, o fundo começa a acumular um capital enorme.

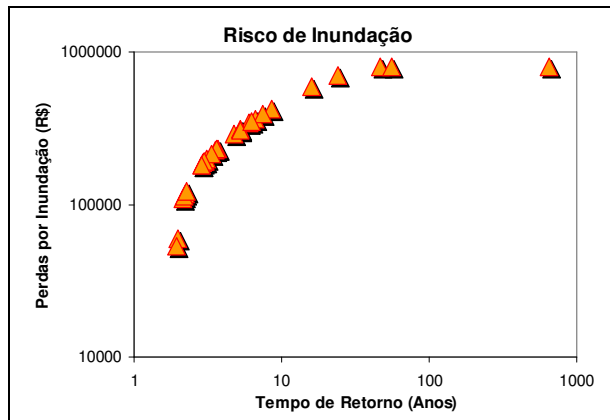


Figura 6 – Perdas de inundação para diferentes tempos de retorno em bacia experimental.

O capital do fundo é calculado em função do prêmio e das indenizações. O capital acumulado do fundo é o valor do ano anterior acrescido de juro anual mais o prêmio do ano e menos à indenização do ano (balanço financeiro).

$$S(t) = S(t-1) + P + J(t) - O(t)$$

sendo  $S(t)$  e  $S(t-1)$  o armazenamento de capital do fundo de seguro ao final dos intervalos de tempo  $t$  e  $t-1$ ;  $P$  é o prêmio a ser pago pelo segurado;  $J(t)$  os juros capitalizados pelo fundo de seguro;  $O(t)$  a extração do fundo para pagamento de indenizações. O fundo poderá estar com ou sem dinheiro ao final do período  $t-1$ . No primeiro caso, os juros pagos atuarão incrementando o saldo existente; no segundo, os juros atuarão incrementando a dívida.

Considera-se que a indenização cubra um prejuízo máximo correspondente ao capital acumulado pelo fundo. E que quando o fundo supere o limite superior do prejuízo, o excedente será revertido aos segurados através de bônus. Para que o seguro cubra bem os prejuízos, ou seja, que a indenização cubra os prejuízos, é preciso arrecadar anualmente um prêmio limite mínimo calculado em 30 simulações através da ferramenta SOLVER do programa EXCEL. E no caso do fundo entrar em valor negativo, então os segurados devem arcar adicionalmente com uma porcentagem do endividamento.

Pela sensibilidade do modelo, é preciso avaliar diversas estratégias de funcionamento. Foram

testado várias alternativas, até encontrar um adequado, ou seja, que mantenha o capital do fundo em valores razoáveis tanto em termos de acumulação de capital quanto a de endividamento.

As perdas foram calculadas pela expressão  $Perdas = C_p \cdot h^m$  sendo adotado  $C_p = 500.000$  e  $m = 1$ . Na falta de melhores informações, adotou-se que para uma altura média de 1,00 m de inundação o prejuízo seria da ordem de R\$500.000,00. Para o parâmetro  $m$  a adoção do valor 1 parece razoável para esses valores de  $C_p$ .

Considerou-se para a indenização um valor máximo de R\$2.000.000,00. Prejuízo acima desse valor seria considerado igual a esse valor máximo.

Se o prejuízo for inferior a esse valor máximo, a indenização seria integral. Caso a indenização leve a um valor negativo do capital do fundo, então o prêmio seria alterado a fim de viabilizar o pagamento da dívida e ao mesmo tempo recuperar o capital do fundo. O prêmio será fixado num valor presente que permita a sustentabilidade do fundo. Enquanto o fundo acumula capital, isto é,  $S > 0$ , o prêmio anual seria fixado, por exemplo, em R\$200.000,00. Valores muito baixos não permitem acúmulo de capital necessário para cobrir eventuais indenizações de vulto. Valores muito altos levaria a um acúmulo exorbitante de capital e dificultaria a negociação do prêmio com os possíveis segurados. Caso ocorra indenização que leve a um valor negativo de  $S$ , portanto, empréstimos bancários, o prêmio anual sofreria um reajuste, cujo valor seria o valor do prêmio padrão mais um percentual da dívida contraída do fundo, digamos, 20% da dívida. Eliminada a dívida, o prêmio voltaria ao valor padrão. Caso o capital cresça e ultrapasse o valor máximo de indenização, fixado em R\$2.000.000,00, então, os valores de capital acima desse patamar seriam revertidos aos segurados através de bônus ou de investimentos que permitisse aumentar a segurança das obras de drenagem e, conseqüentemente, permitisse reduzir o valor do prêmio. Essa seria uma discussão a ser discutida e decidida entre os interessados.

Na figura 7 são apresentadas as 4 primeiras simulações de cenários de 50 anos, para um prêmio inicial de R\$ 200.000/ano, com as respectivas otimizações. Na figura 8, aparecem as 30 simulações para esse prêmio inicial, o valor médio dos prêmios otimizados por cenário R\$194.141,81 e os prêmios não otimizados, que são a diferença entre o prêmio inicial e o prêmio otimizado.

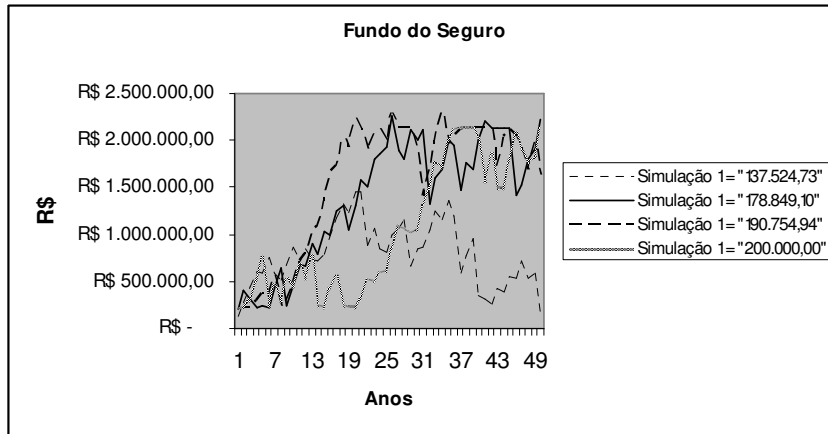


Figura 7 - Exemplo de evolução do fundo de seguros a partir das quatro primeiras simulações, para um prêmio de R\$200.000,00.

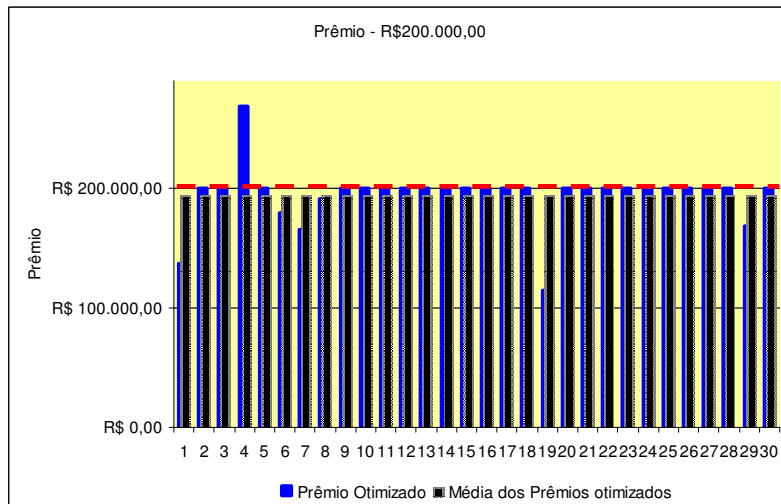


Figura 8 - Otimização da cobertura do seguro para 30 cenários com Prêmio de R\$200.000,00, na bacia urbana experimental, em São Carlos, Brasil.

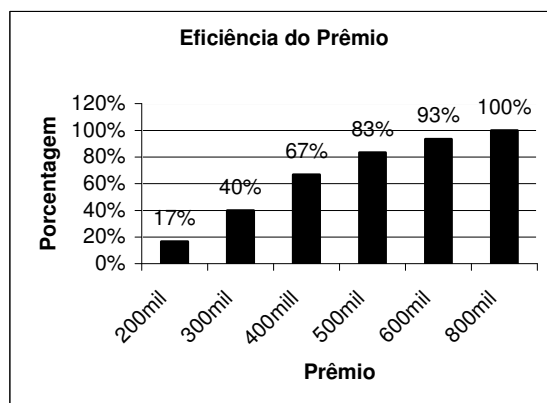


Figura 9- Nível de eficiência dos prêmios a serem pagos.

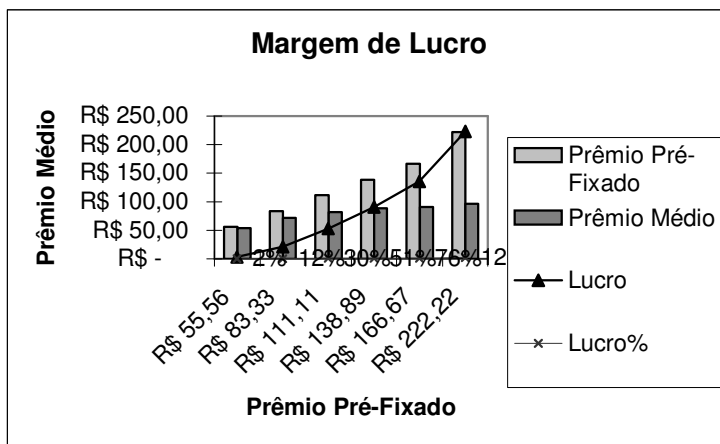


Figura 10– Margem de lucro do Sistema de Seguro para os casos estudados.

**Análise de sensibilidade de prêmios otimizados**

A figura 9 mostra a eficiência de cada prêmio a ser pago e a limitação superior do valor do prêmio. Trata-se de uma síntese de resultados para que os tomadores de decisão (seguradora e segurados) possam ajustar o valor do prêmio com a capacidade de pagamento. Para cada tipo de restrição adotada, o lucro do sistema de seguro varia conforme como mostram a tabela 2 e a figura 10.

Tabela 2– Capitalização do Sistema de Seguro através do Lucro

Prêmio Pré-Fixado	Prêmio Médio	Lucro	Lucro%
R\$ 55,56	R\$ 53,93	R\$ 1,63	2%
R\$ 83,33	R\$ 71,61	R\$ 11,72	12%
R\$ 111,11	R\$ 81,60	R\$ 29,51	30%
R\$ 138,89	R\$ 88,31	R\$ 50,58	51%
R\$ 166,67	R\$ 91,08	R\$ 75,59	76%
R\$ 222,22	R\$ 97,11	R\$ 125,11	125%

Para se obter o lucro de determinado nível de restrição de prêmio máximo, calcula-se a diferença entre o preço pré-fixado e o preço médio. Dessa forma, o sistema de seguro poderá acumular capital, acumulando lucro real que poderá reverter, ou não, aos segurados por ocasião da implantação contratual do sistema.

Convém novamente realçar que os valores básicos utilizados e critérios adotados foram fixados

através de uma estimativa subjetiva das perdas por enchentes que podem ocorrer na região em estudo. Com informações mais confiáveis, é possível ajustar o modelo e obter simulações mais realistas que permitam as negociações para a implantação do sistema de seguro contra enchentes.

**CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

O trabalho mostra exemplos de seguros contra enchentes a partir da gestão de risco de inundações, usado em uma bacia experimental e com características de aplicação a partir de simulação hidrológica. A metodologia permite integrar modelos de seguros com sistemas de alerta em bacias e oferecer elementos de auxílio para tomadores de decisão interessados no prognóstico hidrometeorológico.

Recomenda-se que as simulações de cenários possam integrar-se as alternativas para modificação do uso e da ocupação do solo e variação das taxas históricas, como forma de distinguir efeitos de impermeabilização futura na obtenção de prêmios otimizados.

**AGRADECIMENTOS**

- FINEP – CT – HIDRO – 01.02.0086.00: “Experimento Piloto de Gerenciamento Inte-

grado de Bacias Urbanas para Planos Diretores”.

- FAPESP – processo número: 02/12803-6: “Modelo de Seguros para riscos Hidrológicos no Contexto de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas”.
- CNPQ – processo número: 301491/2003-8: “Sistema de Alerta como estratégia da Bacia Escola para o Gerenciamento Ambiental Integrado de Águas Urbanas”.
- CRHEA (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada) – PPG-SEA (Programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental).

## REFERÊNCIAS

- Righetto, J. M. (2005) Modelo de seguros para riscos hidrológicos no contexto do manejo integrado de bacias, Diss. Mestr. PPG-SEA Ciências Eng. Ambiental, EESC/USP, 92p.
- Righetto, J. M., Mendiolo, E. M. (2005). Modelos contra Enchentes, In: VI Encontro Nacional de Águas Urbanas, Belo Horizonte, MG, Brasil.

### *Model Of Hydrological Risk Insurance*

#### **ABSTRACT**

*This article discusses the introduction of an insurance model against flood damage in a micro river basin in São Carlos, SP. The high frequency of floods in many Brazilian cities led to this study. In order to quantify increased flood flows as a result of encroachment of urbanization, characterized mainly by the increase in impervious areas, a test area was chosen in the city of São Carlos, the micro-center region of Gregório creek. The purpose is to evaluate the “cost of uncertainty” that society is prepared to pay, or its reduction, using risk transfer mechanisms, such as Insurance. Hydrological simulation and the evaluation of losses in flood events were used to develop a model to establish the premium to be paid by the insured, so as to render the flood values compatible with the capital to be accumulated by the flood insurance fund.*

*Key-words: Flood forecasting, Risks, Insurance Models, Early Warning Systems .*