

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS**

**BEATRIZ PIMENTA NORA**

**MODELOS DE PRECIFICAÇÃO ATUARIAL DE LETRA DE RISCO E SEGURO  
PARA CATÁSTROFE CLIMÁTICA NO BRASIL**

**VARGINHA/MG**

**2025**

**BEATRIZ PIMENTA NORA**

**MODELOS DE PRECIFICAÇÃO ATUARIAL DE LETRA DE RISCO E SEGURO  
PARA CATÁSTROFE CLIMÁTICA NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como parte dos requisitos para obtenção do título  
Bacharel em Ciências Atuariais, pela  
Universidade Federal de Alfenas.  
Orientador: Prof. Dr. Leandro Ferreira

**VARGINHA/ MG**

**2025**

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas  
Biblioteca Campus Varginha

Pimenta Nora, Beatriz.

Modelos de precificação atuarial de letra de risco e seguro para  
catástrofe climática no Brasil / Beatriz Pimenta Nora. - Varginha, MG,  
2025.

36 f. : il. -

Orientador(a): Leandro Ferreira .

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Atuariais) -  
Universidade Federal de Alfenas, Varginha, MG, 2025.

Bibliografia.

1. Cat Bonds. 2. Insurance-Linked Securities. 3. Transferência de Risco.  
4. Sazonalidade. 5. Inundações. I. Ferreira , Leandro, orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.

**BEATRIZ PIMENTA NORA**


**MODELOS DE PRECIFICAÇÃO ATUARIAL DE LETRA DE RISCO E SEGURO  
PARA CATÁSTROFE CLIMÁTICA NO BRASIL**

O Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciências Atuariais pela Universidade Federal de Alfenas.

Aprovada em: 7 de novembro de 2025

Prof. Dr. Leandro Ferreira  
Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

 Documento assinado digitalmente  
LEANDRO FERREIRA  
Data: 18/11/2025 17:38:39-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Reinaldo Antônio Gomes Marques  
Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Danilo Machado Pires  
Universidade Federal de Alfenas

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade da adaptação dos *Cat Bonds*, instrumento de transferência de risco amplamente consolidado em mercados internacionais, ao contexto brasileiro. Para isso, revisou-se a evolução das estruturas de *Insurance-Linked Securities (ILS)* no cenário global e utilizaram-se dados de sinistros por inundações disponibilizados pela Susep para o período de 2016 a 2021, complementados por registros de eventos climáticos extremos recentes no Brasil. A modelagem contemplou três abordagens: os dois primeiros modelos, de base não sazonal, inspirados em estudos internacionais e fundamentados em simulações simplificadas, assumem intensidade constante ao longo do tempo; já o terceiro modelo incorporou explicitamente a sazonalidade dos eventos de inundação, permitindo capturar a concentração temporal das perdas nos meses de maior exposição. Os resultados mostraram que essa última abordagem, embora mais complexa, garante maior aderência à realidade do risco, reforçando a importância de considerar a sazonalidade na precificação de *Cat Bonds* em contextos marcados por padrões climáticos bem definidos.

**Palavras-chave:** *Cat Bonds*; *Insurance-Linked Securities*; Transferência de Risco; Sazonalidade; Inundações; Modelagem Atuarial; Eventos Climáticos Extremos; Mercado Brasileiro; Precificação de Riscos Catastróficos; Resseguro.

## **ABSTRACT**

The purpose of this study was to assess the feasibility of adapting Catastrophe Bonds (Cat Bonds), a widely consolidated risk-transfer instrument in international markets, to the Brazilian context. To this end, the evolution of Insurance-Linked Securities (ILS) structures worldwide was reviewed, and flood-related claims data provided by SUSEP for the period from 2016 to 2021 were analyzed, complemented by records of recent extreme climate events in Brazil. The modeling incorporated three approaches: the first two, based on non-seasonal frameworks inspired by international studies and grounded in simplified simulations, assumed constant intensity of events over time; the third approach explicitly introduced the seasonality of flood events, enabling the model to capture the temporal concentration of losses during months of higher exposure. The results indicated that this latter, more complex approach provides greater adherence to the actual risk profile, reinforcing the importance of incorporating seasonality into the pricing of Cat Bonds in contexts characterized by well-defined climatic patterns.

**Keywords:** Cat Bonds; Insurance-Linked Securities; Risk Transfer; Seasonality; Floods; Actuarial Modeling; Extreme Climate Events; Brazilian Market; Catastrophic Risk Pricing; Reinsurance.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>EXPERIÊNCIAS PRÁTICAS NO CENÁRIO INTERNACIONAL .....</b>	<b>16</b>
3.1	EMISSÃO DO <i>CAT BOND</i> DA JAMAICA.....	16
3.2	EMISSÃO DO <i>CAT BOND</i> NO MÉXICO.....	18
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>20</b>
4.1	MODELO DE PRECIFICAÇÃO NÃO SAZONAL .....	20
4.2	MODELAGEM DE PRECIFICAÇÃO COM SAZONALIDADE .....	20
4.3	SIMULAÇÃO DE PREÇOS E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	24
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>34</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No ano de 2022, a Superintendência de Seguros Privados (Susep) definiu o resseguro tradicional como uma operação pela qual uma seguradora, denominada cedente, transfere parte dos riscos que assumiu para um ou mais resseguradores, com o objetivo de proteger-se financeiramente. Essa transferência pode ocorrer por meio de contratos automáticos, nos quais os riscos são repassados de forma sistemática e pré-acordada, ou por contratos facultativos, em que cada risco é analisado e negociado individualmente.

Nesse contexto, uma alternativa ao resseguro tradicional está ganhando destaque no mercado internacional: os *Insurance-Linked Securities (ILS)*. Esses instrumentos financeiros permitem a transferência de riscos de catástrofes diretamente para os mercados de capitais, conectando patrocinadores, como seguradoras, resseguradoras ou governos, a investidores.

Os *ILS* se destacam por oferecer cobertura totalmente colateralizada, ou seja, os recursos destinados ao pagamento de indenizações são previamente depositados em uma conta de garantia, eliminando o risco de inadimplência do pagador. Além disso, permitem maior diversificação de capital e prazos de cobertura que geralmente se estendem por vários anos, sendo uma solução atrativa especialmente para riscos de baixa frequência e alta severidade, como terremotos, furacões e inundações.

Após o furacão Andrew, que atingiu a Flórida em 1992, gerando perdas bilionárias e ocasionando o fechamento de dezenas de seguradoras, o mercado passou a lidar com uma redução significativa na oferta de resseguro para riscos catastróficos, especialmente nas regiões costeiras. Esse cenário crítico impulsionou o desenvolvimento de instrumentos financeiros que recorrem ao mercado de capitais como meio de ampliar a capacidade de transferência de riscos, marcando o surgimento dos *ILS*. Nesse contexto, os *Catastrophe bonds (Cat bonds)* destacam-se como o exemplo mais notório dessa inovação, concebidos como uma alternativa estratégica para reforçar a estrutura patrimonial das resseguradoras diante da crescente exposição a eventos catastróficos (Braun; Kousky, 2021).

A primeira securitização reconhecida como precursora dos *Cat bonds* foi realizada pela *Hannover Re*, por meio da transação *KOVER*, em 1994. Nos anos seguintes, outras emissões de menor porte foram realizadas, como o *Georgetown Re*, em 1996. No entanto, foi apenas em 1997 que os *Cat bonds* modernos se consolidaram, com a emissão do *Residential Re* pela seguradora norte-americana *USAA*, que garantiu proteção no valor de US\$480 milhões. A *USAA*, inclusive, permanece como um dos principais emissores desse tipo de título no mercado internacional (Difiore P. et al, 2021).

O mercado de *ILS* cresceu significativamente na última década, impulsionado por catástrofes naturais de grande impacto, como o furacão Katrina e os eventos de 2011, incluindo o terremoto e tsunami no Japão, as enchentes na Tailândia e o terremoto em Christchurch, na Nova Zelândia. Esse cenário impulsionou o uso dos *Cat bonds* por seguradoras e resseguradoras como ferramenta para otimizar a alocação de recursos, expandir a capacidade de subscrição e atender a exigências regulatórias. Em 2020, o volume total de *ILS* em circulação alcançou US\$91 bilhões, dos quais aproximadamente US\$46,4 bilhões referem-se a *Cat bonds* (Difiore P. et al, 2021).

Denominados internacionalmente como *ILS*, os instrumentos financeiros voltados à transferência de riscos seguráveis para o mercado de capitais passaram a ser regulamentados no Brasil sob a designação de Letras de Risco de Seguro (LRS). A normatização desse modelo, no país, teve início com a Resolução CNSP nº 396/2020 e foi consolidada pela Resolução CNSP nº 453/2022 e estabeleceu as diretrizes para a constituição das Sociedades Seguradoras de Propósito Específico (SSPEs), entidades responsáveis pela emissão desses títulos.

No contexto da crescente busca por inovação no financiamento de riscos no Brasil, Cesar Cavalcante, presidente da Andrina, afirmou: “Seguiremos buscando novas oportunidades para ampliar e potencializar este novo negócio. A LRS é muito utilizada no exterior e temos uma grande oportunidade de fortalecer nosso mercado, evidenciando e cumprindo com o papel social do setor: proteger a sociedade”. A fala marca o lançamento da primeira Letra de Risco de Seguro (LRS) do Brasil, emitida em 30 de maio de 2025, no valor de R\$ 33,7 milhões. A operação foi estruturada pelo IRB(Re), por meio da Andrina e executada em parceria com o Itaú BBA. A Andrina é a primeira Sociedade Seguradora de Propósito Específico (SSPE) autorizada pela Susep a atuar no país, viabilizando a entrada de uma nova modalidade de transferência de riscos para o mercado brasileiro.

Ainda que não se trate de um *Cat bond*, a letra de risco representa uma inovação importante no mercado brasileiro ao viabilizar a securitização de riscos relacionados a seguros e resseguros. Ao oferecer uma alternativa de investimento estável e descorrelacionada, esse instrumento tende a atrair novos investidores, diversificar portfólios e ampliar a participação do capital privado no financiamento de riscos. Com isso, avança na consolidação de um arcabouço financeiro mais moderno e resiliente, alinhado às diretrizes internacionais de transferência de risco. Essa evolução não apenas fortalece a capacidade de enfrentamento a desastres naturais, como também posiciona o país de forma mais competitiva no mercado global de seguros e investimentos.

O presente estudo tem por objetivo central analisar e propor uma adaptação, ao contexto brasileiro, de modelos de precificação aplicáveis aos *Cat bonds*, buscando calcular seu preço justo. Para tanto, são utilizadas diretrizes observadas em experiências internacionais, aliadas a uma metodologia que envolve a revisão bibliográfica e documental sobre mecanismos de transferência de riscos climáticos, com base em literatura técnica, normativa e científica.

Para a modelagem sem sazonalidade, foram considerados dois cenários. No primeiro, inspirado em Flores e Hernández-Pacheco (2023), utilizaram-se perdas históricas do Rio Grande do Sul, assumindo intensidade constante ao longo do tempo. No segundo, construiu-se uma base alternativa por meio de simulação estatística, em que a severidade foi modelada pela distribuição Pareto e a frequência pela distribuição Binomial, resultando em três meses com perdas. Além disso, o fluxo do título incorporou cupons mensais, incluído à taxa flutuante de referência um *funding margin*, em linha com emissões internacionais.

Em complemento, para a modelagem que contempla a sazonalidade, foi utilizada a metodologia proposta por Mildenhall (2023), a partir de dados mensais de sinistros relacionados a alagamentos e inundações no Brasil, disponibilizados pela Susep para o período de 2016 a 2021. As variáveis consideradas incluíram o mês de ocorrência, o montante total indenizado, a quantidade de sinistros registrados e a severidade. Essa estrutura de dados permite capturar a variação sazonal das perdas, elemento essencial para a precificação de *Cat bonds*.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

“Os títulos catastróficos oferecem a entidades como resseguradoras e governos a oportunidade de mitigar sua exposição ao risco de eventos climáticos extremos, os quais podem resultar em grandes perdas econômicas e sociais” (FLORES; HERNÁNDEZ-PACHECO, 2023, p. 3).

Segundo o centro nacional de monitoramento e alertas de desastres naturais (Cemaden 2020) as projeções de eventos de chuvas extremas, associadas a diferentes cenários de aquecimento global, indicam um aumento tanto na frequência quanto na intensidade desses fenômenos. Esse quadro eleva significativamente os riscos de desastres geo-hidrológicos no Brasil, com destaque para o crescimento do risco de deslizamentos e inundações em grande parte do território nacional, sobretudo nas regiões Sudeste e Sul.

Ainda, segundo Tabari (2020), o aumento da intensidade da precipitação extrema, impulsionado pelas mudanças climáticas, tende a elevar tanto a frequência quanto a severidade das inundações, gerando impactos significativos sobre os ecossistemas, as sociedades e a economia.

Em conjunto com os efeitos das mudanças climáticas, a urbanização desordenada também contribui significativamente para a maior suscetibilidade das áreas urbanas às inundações. Segundo Nobre et al. (2010), o agravamento dos problemas de drenagem nas cidades brasileiras está diretamente associado à ocupação de áreas vulneráveis, como fundos de vale, à supressão de áreas verdes e à crescente impermeabilização do solo. Além disso, o processo de favelização aumenta ainda mais esse cenário de risco.

Esses fatores auxiliam o aumento da frequência dos eventos climáticos extremos recentes no Brasil. Em fevereiro de 2023, o Litoral Norte de São Paulo foi palco de um evento climático sem precedentes, marcado por um volume recorde de chuvas acumuladas em apenas 24 horas. Segundo o meteorologista Marcelo Seluchi, do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), a atuação simultânea de uma frente fria intensa, uma área de baixa pressão atmosférica e a elevação do nível do mar dificultaram o escoamento da água da chuva, intensificando inundações e deslizamentos na região, conforme destacado em reportagem da *BBC News Brasil* (2023). A mesma reportagem mostra que, em São Sebastião, foram registrados 640mm de chuva em apenas um dia, o que representa mais do que o triplo do volume observado no evento extremo anterior documentado na cidade, em 2014, quando choveu 179mm em dez horas. Esses dados reforçam os alertas sobre a crescente vulnerabilidade do país frente à intensificação dos extremos climáticos.

A tragédia climática que assolou o Rio Grande do Sul em 2024 ilustra o agravamento dos efeitos das mudanças climáticas sobre a frequência e intensidade dos desastres naturais no país. De acordo com o MapBiomas, quase dois terços ou 61% dos municípios do Rio Grande do Sul foram atingidos pelas fortes chuvas ocorridas em abril e maio de 2024. A análise, baseada em imagens de satélite, revelou que áreas utilizadas para a produção agropecuária foram as mais afetadas, com mais de um milhão de hectares impactados, representando 64,2% do total ocupado por essas atividades no estado. Além disso, 234 municípios tiveram suas áreas urbanas atingidas, sendo que, em Eldorado do Sul, a área afetada superou 66%.

Diante desse cenário, o físico Paulo Artaxo, em entrevista à revista *FCW Cultura Científica*, destacou que, conforme projeções do relatório, publicado em 2023, do IPCC, com o avanço do aquecimento global, eventos extremos como as chuvas intensas que atingiram o Rio Grande do Sul, antes considerados raros, com recorrência média de 50 anos, poderão se tornar quase 40 vezes mais frequentes e até cinco vezes mais intensos em um cenário de elevação de 3 °C na temperatura global. Segundo o pesquisador, essa projeção evidencia a insustentabilidade do modelo atual de desenvolvimento econômico e reforça a urgência de medidas efetivas de mitigação e adaptação frente à crise climática.

Nesse contexto, a crescente ocorrência de eventos extremos exige o uso de ferramentas estatísticas capazes de modelar adequadamente perdas severas e de baixa frequência. A Teoria dos Valores Extremos (EVT) tem se destacado nesse campo, especialmente na modelagem catastrófica, por possibilitar a estimação de probabilidades e severidades associadas a eventos fora do padrão histórico. Conforme apontado por *Grossi et al. (2006)*, esse tipo de modelagem oferece suporte técnico essencial à gestão de riscos tanto no setor público quanto no setor privado, sendo também fundamental para a estruturação de instrumentos financeiros como os *CAT bonds*, que dependem de métricas de risco de eventos extremos para precificação e definição de gatilhos de pagamento.

Os *Cat bonds* surgem como uma alternativa ao resseguro tradicional, que, historicamente, oferece cobertura para eventos de alto impacto, conforme observa *Flores*. Embora as inundações sejam classificadas como riscos de alta frequência e baixa severidade, elas permanecem sub-representadas nesse mercado, principalmente devido à dimensão ainda limitada do setor de seguros voltado a esse tipo de evento. Segundo *Xu et al. (2022)*, os *Cat bonds* permitem uma alocação mais eficiente das perdas catastróficas, uma vez que são

majoritariamente financiados por investidores do mercado financeiro, complementados por prêmios pagos pela parte interessada na proteção.

Estruturalmente, os *Cat bonds* fazem parte do mercado de títulos vinculados a seguros, conforme apontam *Difiore et al. (2021)*. Esses instrumentos são classificados como títulos de renda fixa e, em geral, são emitidos com taxa de juros flutuante e cláusulas que preveem a possível perda do principal em caso de ocorrência do evento catastrófico segurado.

Figura 1- Elementos estruturais de um *Cat bond*



**Fonte:** *Difiore, P. et al, 2021.*

Os *sponsors*, geralmente resseguradoras ou governos, assumem a posição de cedentes do risco e pagam os prêmios de seguro, os quais são depositados em uma conta colateral administrada por um Veículo de Propósito Específico para Resseguro (*SPRV*). Essa conta é estruturada de maneira independente, garantindo a separação entre patrocinadores e investidores, evitando a exposição ao risco de contraparte, ou seja, à possibilidade de uma das partes não cumprir suas obrigações contratuais.

Por sua vez, os investidores realizam o aporte de capital no momento da emissão do *Cat bond*, valor esse que também é alocado no *SPRV*. Em contrapartida, os investidores recebem cupons calculados a partir de uma taxa flutuante e têm direito ao resgate do valor principal no vencimento, desde que o gatilho catastrófico previsto no contrato não seja acionado.

Segundo Edesess (2014), caso o *Cat Bond* seja acionado, os investidores podem não receber parte ou até mesmo a totalidade do valor principal no vencimento, a depender da estrutura contratual do título. Nessa circunstância, o *sponsor* é indenizado conforme os termos previamente estabelecidos. Essa indenização, no entanto, não ocorre de forma automática: para que os recursos do *Cat Bond* sejam liberados, é necessário que ocorra um evento que atenda a critérios técnicos definidos em contrato, conhecidos como mecanismos de gatilho, os quais determinam quando e em que condições os pagamentos aos patrocinadores devem ser efetuados.

Esses gatilhos variam quanto à forma de definição e apuração do evento coberto, e sua escolha impacta diretamente a rapidez no pagamento da indenização, o nível de aderência às perdas reais do patrocinador e a complexidade operacional da estrutura. Na tabela 1, são

apresentados os principais formatos de gatilho utilizados nesse tipo de instrumento, com suas respectivas características:

Tabela 1- Comparação entre os principais mecanismos de gatilho em títulos de *Cat Bonds*

Mecanismo de gatilho	Rapidez de pagamento	Precisão em refletir perdas reais	Complexidade operacional	Observações principais
Indenizatório	Baixa	Alta	Alta	Baseado nas perdas reais do patrocinador. Requer auditoria detalhada.
Perda Modelada	Média	Média	Média	Baseado em modelo predefinido que estima as perdas com base em parâmetros físicos do evento.
Índice da Indústria	Média	Média	Baixa	Baseado em índices padronizados das perdas totais do setor de seguros.
Paramétrico	Alta	Média	Baixa	Acionado por dados físicos mensuráveis do evento, o que permite pagamento rápido e independente de verificação de perdas.

**Fonte:** Elaboração própria com base em GIERTZ (2014).

O gatilho indenizatório, por se basear nas perdas reais do patrocinador, oferece maior aderência aos prejuízos efetivamente sofridos. No entanto, exige auditorias detalhadas e processos de verificação complexos, o que tende a tornar os pagamentos mais lentos. O gatilho de perda modelada apresenta-se como uma solução intermediária, pois estima as perdas com base em parâmetros físicos do evento, como velocidade do vento ou magnitude de terremotos, processados por modelos previamente aprovados. Já o gatilho por índice da indústria utiliza estimativas agregadas de perdas do setor segurador, favorecendo a padronização e a agilidade na liberação dos recursos, embora com maior risco de desconexão entre o valor pago e as perdas efetivas do patrocinador. Por fim, o gatilho paramétrico é acionado por variáveis físicas objetivas e mensuráveis, o que permite pagamentos quase imediatos, embora com menor precisão em relação às perdas financeiras reais, ampliando o risco de base.

Cada modelo está associado a diferentes tipos de risco: o risco de base é mais acentuado nos gatilhos paramétricos e por índice da indústria, dado que os pagamentos podem não refletir fielmente os prejuízos do patrocinador; o risco de modelagem está mais presente no mecanismo de perda modelada, devido à dependência de simulações e parâmetros que podem não capturar

adequadamente a realidade; e o risco de liquidez é mais elevado no gatilho indenizatório, em razão do tempo prolongado necessário para auditorias e validação das perdas. A escolha do mecanismo de gatilho, portanto, deve considerar esses fatores em conjunto com o perfil do risco transferido e os objetivos da operação.

Com base nessa dinâmica de risco e acionamento, os prêmios de seguro e os recursos obtidos com a emissão dos títulos são aplicados pelo *SPRV* em ativos líquidos, geralmente títulos públicos de alta liquidez, permanecendo investidos até o vencimento do *Cat bond* ou até que ocorra um evento que acione seu gatilho.

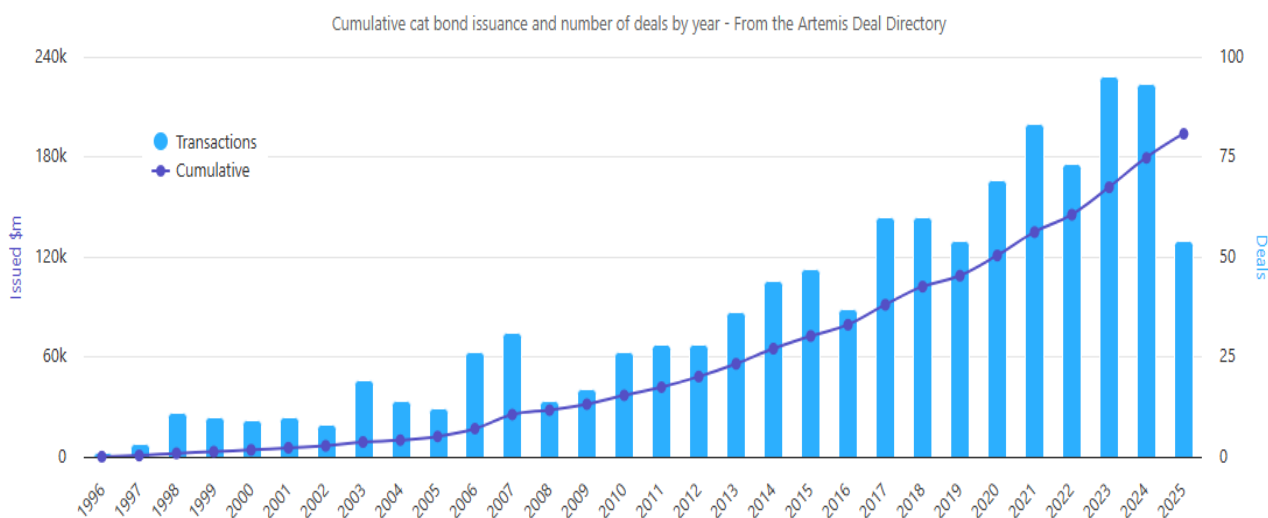
Com isso, o artigo de *Flores e Hernández-Pacheco (2023)* propõe um modelo de precificação para *Cat bonds* voltado ao risco de inundações em Orleans Parish, utilizando simulações de Monte Carlo em um cenário multiperíodo com taxas de juros estocásticas, modelo de *Vasicek*. As perdas extremas são modeladas pela abordagem *Peaks Over Threshold (POT)*, sendo testadas diferentes distribuições. Após análises, a Exponentiated Weibull foi adotada como base para as simulações, por apresentar melhor ajuste às caudas das perdas. O modelo também considera um prêmio de risco fixo e estima o valor presente dos fluxos de caixa, condicionado à ativação do gatilho catastrófico.

Já por outra perspectiva, o artigo de *Mildenhall (2023)* propõe um modelo para a precificação de *Cat bonds* associados a riscos sazonais, como furacões, utilizando fundamentos da matemática atuarial. A proposta baseia-se no princípio da equivalência, em que o valor presente esperado dos prêmios pagos pelo *sponsor* deve ser igual ao valor presente esperado dos pagamentos aos investidores, considerando as perdas esperadas. Para incorporar a sazonalidade, o modelo utiliza um processo de Poisson não homogêneo, ajustado com uma função de densidade periódica que representa a distribuição temporal do risco. O autor demonstra que o valor do *Cat bond* varia ao longo do ano, sendo mais elevado quando emitido próximo ao pico da temporada de desastres. Como alternativa, sugere o uso de cupons variáveis proporcionais à densidade de risco ao longo do tempo, o que permitiria estabilizar o valor do título independentemente da data de emissão.

### 3 EXPERIÊNCIAS PRÁTICAS NO CENÁRIO INTERNACIONAL

A Figura 2 evidencia o crescimento das emissões de *Cat bonds* desde 1996, refletindo a consolidação desses instrumentos como ferramenta eficaz na gestão de riscos catastróficos e destacando o potencial da LRS para inserir o Brasil de forma estratégica neste mercado internacional.

Figura 2 – Crescimento das emissões de *Cat bond* desde 1996



**Fonte:** Artemis, Artemis Deal Directory, 2025.

O gráfico destaca um crescimento consistente nas emissões de *Cat Bonds* e *ILS* desde a década de 2000, com destaque para os saltos observados a partir de 2013. Entre 2013 e 2020, o mercado demonstrou incrementos anuais progressivos, com aumentos médios no volume de emissão próximos a US\$10 bilhões por ano. O maior delta é observado entre 2022 e 2023, quando o volume emitido ultrapassou a marca dos US\$180 bilhões, refletindo um aumento significativo na demanda por instrumentos financeiros ligados à cobertura de riscos extremos.

A tendência se manteve em 2024, com novo recorde de emissões, consolidando o período 2022 a 2024. Essa aceleração revela tanto a confiança dos investidores nesse tipo de ativo quanto a intensificação da busca por soluções estruturadas diante da crise climática que o mundo enfrenta. A seguir, apresentam-se experiências reais que demonstram como os países têm estruturado esses títulos para proteger suas economias diante de riscos extremos.

#### 3.1 EMISSÃO DO *CAT BOND* DA JAMAICA

Em julho de 2021, a Jamaica emitiu *Cat Bond*, no valor de US\$185 milhões, com apoio do Banco Mundial. O título foi concebido para oferecer proteção financeira frente a eventos extremos de ciclones tropicais, com cobertura para as temporadas de furacões entre 24 de julho de 2021 e 21 de dezembro de 2023.

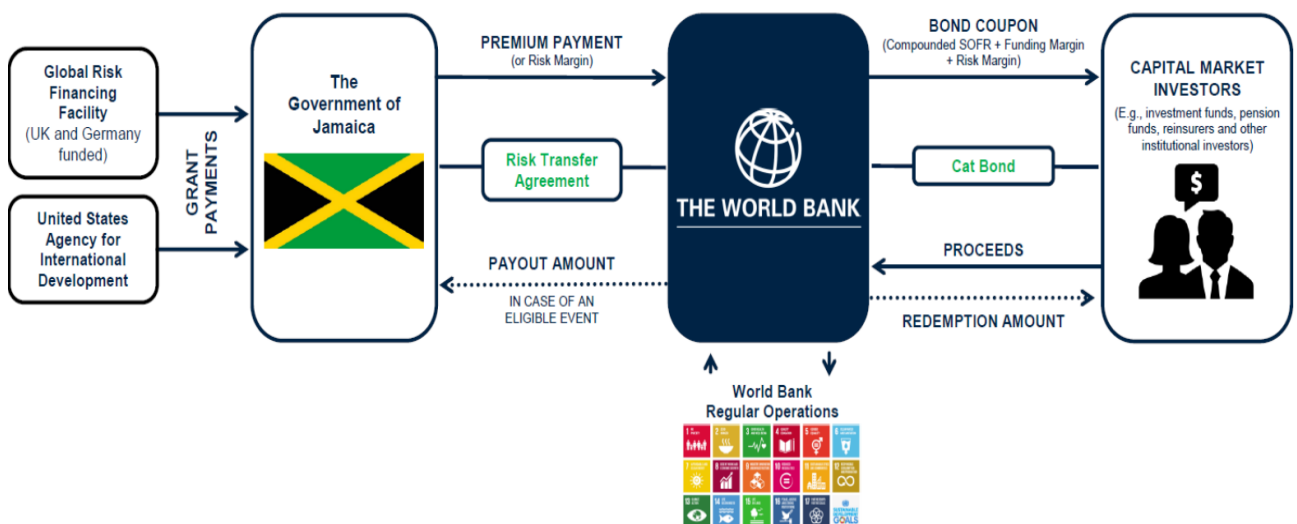
O gatilho adotado foi o modelo paramétrico denominado *cat-in-a-grid*, uma inovação que consiste em posicionar uma malha geográfica sobre a Jamaica e regiões oceânicas próximas. Cada segmento da malha possui um limiar específico de pressão atmosférica central. E o pagamento é acionado se um furacão identificado e oficialmente registrado atravessar uma dessas áreas e apresentar pressão central igual ou inferior ao limite estabelecido, uma vez que, quanto menor a pressão central, maior a intensidade do furacão.

A estrutura de pagamento do *Cat Bond* da Jamaica foi baseada em uma escala móvel proporcional à severidade da tempestade, estabelecendo um pagamento mínimo de 30% e máximo de 100% do valor principal, conforme a intensidade do evento. A perda esperada foi estimada em 1,52% ao ano, representando a média ponderada das perdas projetadas com base na probabilidade e severidade dos eventos cobertos ao longo da vigência do título. Esse indicador é essencial tanto para a precificação atuarial quanto para a avaliação da atratividade do investimento no mercado de risco.

Já a probabilidade de ativação do gatilho foi calculada em 2,37% ao ano, indicando a chance de ocorrência de um evento que atinja o limiar mínimo necessário para acionar a cobertura. Em contrapartida ao risco assumido, os investidores receberam uma remuneração anual de 4,4%, conhecida como *risk margin*, paga durante todo o período de cobertura.

A emissão do *Cat Bond* da Jamaica em 2021 contou com uma estrutura inovadora que envolveu diversos agentes internacionais e mecanismos específicos de transferência de risco. A Figura 3, apresenta a estrutura operacional do título, evidenciando o fluxo de recursos e obrigações entre os participantes envolvidos.

Figura 3- Estrutura do *Cat Bond* Jamaica 2021



Fonte: World Bank, 2021.

A estrutura foi patrocinada pelo governo jamaicano e contou com apoio técnico do Banco Mundial, que também atuou como emissor dos títulos. Parte dos custos de transação e do prêmio de risco foi subsidiada pelo *Global Risk Financing Facility (GRiF)*, fundo administrado pelo Banco Mundial com recursos de parceiros internacionais e pela *United States Agency for International Development (USAID)*, agência de cooperação dos Estados Unidos. Investidores adquiriram os títulos e, em troca, receberam cupons com uma margem adicional de risco. Em caso de evento climático extremo que atendesse aos critérios paramétricos, os recursos seriam pagos ao governo; caso contrário, o capital seria devolvido ao investidor no vencimento. A estrutura destaca a capacidade dos *Cat Bonds* de fortalecer a resiliência financeira de países vulneráveis, ao unir soluções de mercado com cooperação financeira internacional.

### 3.2 EMISSÃO DO *CAT BOND* NO MÉXICO

O México é um dos países pioneiros no uso de títulos de catástrofe como ferramenta de gestão financeira de riscos climáticos e geofísicos. Através do *FONDEN (Fideicomiso Fondo de Desastres Naturales)*, o país vem utilizando *Cat Bonds* desde 2006 para ampliar sua resiliência fiscal diante de desastres naturais, como terremotos e furacões. Em 2024, o México renovou essa estratégia com a emissão de quatro títulos de catástrofe, totalizando US\$595 milhões em cobertura, com vigência de 4 anos.

A figura 4 destaca as principais características técnicas dos quatro *Cat Bonds* emitidos pelo México em 2024, no âmbito do programa de fortalecimento da resiliência fiscal frente a eventos extremos. Cada classe representa um tipo específico de risco: terremotos de baixa e alta severidade, além de furacões no Atlântico e no Pacífico. Estão detalhados parâmetros essenciais. Esses dados são fundamentais para compreender o perfil de risco de cada título, sua atratividade para o mercado e a eficácia do instrumento como ferramenta de gestão de risco soberano.

Figura 4- Parâmetros Atuariais e Financeiros dos Títulos de Catástrofe Mexicanos

Class	Class A	Class B	Class C	Class D
<b>Perils</b>	Low risk earthquake	High risk earthquake	Atlantic hurricane	Pacific hurricane
<b>Coverage amount</b>	\$225 million	\$70 million	\$125 million	\$175 million
<b>Risk period</b>	4 years	4 years	4 years	4 years
<b>Trigger type</b>	Cat-in-a-grid	Cat-in-a-grid	Cat-in-a-gate	Cat-in-a-gate
<b>Payout structure</b>	Stepped linear payout function: 30% to 70% and 70% to 100% of principal			
<b>Risk statistics (annual):</b>				
<b>Expected loss</b>	0.90%	5.84%	5.69%	4.09%
<b>Attachment prob.</b>	1.17%	8.30%	7.96%	6.26%
<b>Exhaustion prob.</b>	0.48%	3.76%	4.01%	2.54%
<b>Risk margin</b>	4.0%	11.0%	13.5%	12.0%

**Fonte:** World Bank, 2024.

O governo mexicano atua como patrocinador e beneficiário dos pagamentos em caso de eventos extremos, enquanto o Banco Mundial desempenha o papel de emissor dos títulos, conectando o país aos investidores no mercado internacional. A estrutura é financiada parcialmente por entidades parceiras, como o *GRI* e a *USAID*, que contribuem com subsídios para viabilizar a operação.

Os recursos captados são divididos em quatro classes de risco, conforme o tipo de catástrofe natural e a intensidade do risco associado. A Classe A cobre terremotos de baixo risco, oferecendo a maior cobertura igual a US\$ 225 milhões, mas com os menores índices de perda esperada igual a 0,90% e uma remuneração de 4,0% a cada ano durante o período de vigência do título, refletindo seu caráter conservador. Já a Classe B é voltada a terremotos de alta severidade, com menor cobertura de US\$70 milhões, mas com os maiores indicadores de risco: perda esperada de 5,84%, alta probabilidade de ativação, 8,30%, e remuneração de 11,0%. Essas classes utilizam o gatilho do tipo *cat-in-a-grid*, no qual o pagamento é acionado com base em parâmetros geográficos e de intensidade sísmica.

As classes C e D cobrem furacões no Atlântico e no Pacífico, respectivamente. A Classe C possui perda esperada de 5,69%, margem de risco de 13,5% e cobertura de US\$125 milhões, enquanto a Classe D apresenta perda esperada de 4,09%, remuneração de 12,0% e cobertura de US\$175 milhões. Ambas utilizam gatilhos do tipo *cat-in-a-gate*, que consideram a localização e intensidade do evento para determinar o pagamento. Essas classes representam uma estratégia de diversificação do risco climático por meio de instrumentos financeiros parametrizados, com retorno proporcional ao grau de exposição assumido pelos investidores.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 MODELO DE PRECIFICAÇÃO NÃO SAZONAL

Essa modelagem é inspirada no estudo de caso de *New Orleans* apresentado por Flores e Hernández-Pacheco (2023), no qual é estruturado um *Cat Bond* voltado para enchentes, utilizando simulação de Monte Carlo combinada com a teoria dos valores extremos. No modelo, o título é emitido com valor de principal de US\$100, ou seja, o montante que o investidor deve receber no vencimento do título. A partir disso, os cupons trimestrais são calculados da seguinte forma:

$$c_t = 100 \times (s + r_t) \quad (1)$$

em que  $s$  é o *spread* e  $r_t$  é a taxa de juros modelada pelo processo de *Vasicek*:

$$dr_t = \kappa(\theta - r_t) dt + \sigma dW \quad (2)$$

A devolução do principal é contingente à magnitude das perdas máximas  $max(L_t)$ , definidas por faixas que reduzem o valor resgatado conforme a severidade do evento. Então a devolução do principal é expressa por:

$$\hat{C} = \begin{cases} 100 + c_{12}, & \text{se } (L_t) \in [0, 0.5M] \\ \frac{2}{3}100 + c_{12}, & \text{se } (L_t) \in [0.5M, 0.75M] \\ \frac{1}{3}100 + c_{12}, & \text{se } (L_t) \in [0.75M, M] \\ c_{12}, & \text{se } (L_t) \in [M, \infty) \end{cases} \quad (3)$$

As perdas seguem uma distribuição *Weibull*, apropriada para eventos extremos com caudas pesadas. O preço justo do título é obtido pelo valor presente esperado dos fluxos descontados:

$$v_t = e^{-(j+r_t)t} \quad (4)$$

em que  $j$  é um prêmio de risco fixo. A aplicação dessa metodologia em cenários brasileiros permitirá testar diferentes parâmetros de *spread*, frequência de eventos e níveis de exposição, contribuindo para o desenvolvimento de diretrizes regulatórias e estruturas operacionais para *Cat Bonds* no país.

### 4.2 MODELAGEM DE PRECIFICAÇÃO COM SAZONALIDADE

A precificação de um *Cat bond*, conforme proposto por Mildenhall (2023), baseia-se na aplicação direta do princípio da equivalência atuarial, amplamente utilizado na modelagem de seguros de vida. De acordo com esse princípio, o valor presente esperado dos prêmios deve ser

igual ao valor presente esperado dos benefícios futuros, acrescido das despesas associadas (JEWELL, 1980).

A adoção desse referencial teórico se justifica pela semelhança estrutural entre os *Cat Bonds* e os contratos de seguros de vida contínuos. Em ambos os casos, há incerteza tanto sobre o momento de ocorrência do evento segurado quanto ao montante total de prêmio que será efetivamente arrecadado ao longo do tempo.

Para fins de modelagem atuarial, a aplicação do princípio da equivalência requer a representação explícita dos fluxos de caixa associados à estrutura de um *Cat Bond*, observados sob a ótica do investidor. Tais fluxos correspondem às movimentações financeiras ao longo da vigência do título, incluindo o aporte inicial de recursos, o recebimento periódico de juros e cupons, o eventual pagamento de sinistro ao patrocinador e a devolução do principal em diferentes condições de ocorrência do evento segurado.

Tabela 2 – Fluxos de caixa associados a um *Cat Bond*

Fluxo	Descrição	Sinal	Fórmula do Valor Presente
1	Depósito do principal	-	$L$
2	Transferência dos juros	+	$\delta L \bar{a}_{T_x \wedge n} = L(1 - e^{-\delta(T_x \wedge n)})$
3	Spread (cupom adicional)	+	$cL \bar{a}_{T_x \wedge n}$
4	Devolução parcial do principal se $T_x < n$	+	$Le^{-\delta T_x} \cdot 1_{T_x < n}$
5	Pagamento da indenização se $T_x < n$	-	$YLe^{-\delta(T_x \wedge n)} \cdot 1_{T_x < n}$
6	Devolução do principal se $T_x \geq n$	+	$Le^{-\delta n} \cdot 1_{T_x \geq n}$

**Fonte:** Adaptado de MILDENHALL 2023.

Cada fluxo, na tabela 2, está vinculado a uma condição específica e ocorre em diferentes momentos da vigência do título. Observa-se que os fluxos 4, 5 e 6 são fluxos contingentes, isto é, sua ocorrência depende da ocorrência, ou não, do evento catastrófico ao longo do prazo contratual. Caso o evento ocorra antes do vencimento, são ativados os fluxos 4 e 5, referentes à devolução parcial do principal e ao pagamento da indenização, respectivamente. Na ausência de evento até o vencimento do título, observa-se o fluxo 6, correspondente à devolução integral do principal ao investidor.

Os fluxos 2 e 3 são calculados por meio de anuidades atuariais descontadas até o tempo  $T_x \wedge n$ , permitindo uma analogia direta com apólices de seguro de vida de prazo contínuo. Essa aproximação é relevante, pois viabiliza a utilização de ferramentas clássicas da matemática atuarial na precificação de instrumentos financeiros ligados a riscos catastróficos.

Por fim, vale ressaltar que, conforme demonstrado por *Mildenhall* (2023), os fluxos 1, 2, 4 e 6 se anulam no valor presente líquido. A partir dessa simplificação, aplica o princípio da equivalência atuarial considerando apenas os fluxos economicamente relevantes: o *spread* recebido pelo investidor e a perda esperada em caso de sinistro. A equação destacada abaixo expressa essa equivalência sob forma de valor presente esperado na data da emissão:

$$\text{VPE na emissão} = \left( c \bar{a}_{\overline{T_x \wedge n}|} - Y e^{-\delta(T_x \wedge n)} \cdot 1_{T_x < n} \right) L \quad (5)$$

Nesta equação,  $C$  representa o *spread* pago pelo patrocinador ao investidor,  $\bar{a}_{\overline{T_x \wedge n}|}$  é a anuidade descontada até o tempo do evento ou vencimento, e  $E[Y e^{-\delta(T_x \wedge n)} \cdot 1_{T_x < n}]$  é o valor presente esperado da perda, ponderado pelo tempo de ocorrência e pela severidade. Assumindo independência entre a severidade  $Y$  e o tempo de ocorrência  $T_x$  então:

$$E[Y e^{-\delta(T_x \wedge n)} \cdot 1_{T_x < n}] = E[Y] \bar{A}_{T_x, \bar{n}|} \quad (6)$$

Simplificando a VPE na emissão

$$c = E[Y] \frac{\bar{A}_{T_x, \bar{n}|}}{\bar{a}_{T_x, \bar{n}|}} \quad (7)$$

Se  $Y$  e  $T_x$  não forem independentes o cupom pode ser expresso por:

$$c = \frac{E[Y] \bar{A}_{T_x, \bar{n}|} + \text{Cov}(Y, e^{-\delta T_x} \cdot 1_{T_x < n})}{\bar{a}_{T_x, \bar{n}|}} \quad (8)$$

Investidores que alocam recursos em *Cat Bonds* por meio de *SPVs* podem incorrer em custos friccionais e custos de transação, associados a tributações, restrições regulatórias e despesas operacionais. Embora essas taxas sejam minimizadas pelo uso de *SPVs*, ainda podem ser modeladas como um imposto contínuo  $\tau$  e um carregamento fixo  $E$ . Ambos são facilmente incorporados à fórmula do prêmio puro, resultando na expressão ajustada:

$$c = \frac{E[Y] \bar{A}_{x: \bar{n}|}^{-1} + E}{\bar{a}_{x: \bar{n}|}} \quad (9)$$

O modelo assume, que  $E = 0$ , dada a facilidade de incorporar tais elementos ao cálculo final.

Para que seja possível calcular a taxa de prêmio  $c$ , conforme apresentada na equação, é necessário especificar uma modelagem para a variável aleatória  $T_x$ , que representa o tempo até a ocorrência de um evento catastrófico. Considera-se que o título foi emitido em uma data fracionária  $x$ , com  $0 \leq x \leq 1$ , correspondente a uma fração do ano a partir de 1º de janeiro.

O artigo adota, para isso, um modelo baseado em um processo de Poisson não homogêneo, cuja intensidade de ocorrência dos eventos é descrita por uma função  $\lambda_{x+t}$ , que corresponde à taxa de intensidade, conceito análogo à força de mortalidade na matemática atuarial. Nesse contexto, a probabilidade de sobrevivência ao risco catastrófico até o instante  $t$ , ou seja, a probabilidade de o evento não ocorrer até o tempo  $t$  é expressa por:

$$\Pr(T_x > t) = {}_t p_x = \exp\left(-\int_0^t \lambda_{x+s} ds\right) \quad (10).$$

Com base nessa formulação, estima-se a função  $\lambda_{x+t}$  a partir de dados históricos, medida P, ajustando-se posteriormente para refletir riscos de mercado quando necessário, medida Q.

A taxa de ocorrência efetiva considerada na modelagem de *Cat Bonds* pode ser obtida a partir da taxa anual bruta de eventos  $\lambda_t$  e da probabilidade de que a severidade do evento exceda o ponto de adjunção ( $\alpha$ ). Essa relação é expressa por meio da função de cauda da distribuição de perdas  $S(x) = \Pr(X > x)$ , também conhecida como função de probabilidade excedente (*Mitchell-Wallace et al., 2017*). Assim, a taxa ajustada de ocorrência de eventos segurados para um título com ponto de adjunção  $\alpha$  é dada por:

$$\lambda_t S(\alpha). \quad (11)$$

Para riscos sazonais, como as inundações, cuja incidência é concentrada em determinados períodos do ano, a taxa de ocorrência instantânea pode ser representada como uma função periódica no tempo:

$$\lambda_t = \lambda \cdot \mu_t. \quad (12)$$

Nessa formulação,  $\lambda$  corresponde à taxa média anual de eventos, estimada com base em dados históricos, e  $\mu_t$  é uma função periódica, que descreve a distribuição temporal dos eventos

ao longo do ano. Com essa especificação, os eventos seguem um processo de Poisson não homogêneo no tempo, o que permite calcular, por exemplo, a probabilidade de não ocorrência de eventos no intervalo de  $t$  até  $t + dt$ , dada por:

$$e^{(-\lambda\mu_t dt)}. \quad (13)$$

Como a intensidade dos eventos varia com o tempo, os valores presentes esperados dos fluxos de caixa do título, tanto os pagamentos de prêmio quanto às perdas esperadas, também se alteram conforme o momento da emissão. Por essa razão, a equação

$$c_x = \frac{E[Y]\bar{A}_{x:\bar{1}}^{-1}}{\bar{a}_{x:\bar{1}}}. \quad (14)$$

é utilizada para refletir essas variações sazonais. Nela,  $\bar{A}_{x:\bar{1}}^{-1}$  e  $\bar{a}_{x:\bar{1}}$  são calculados levando em conta a função  $\lambda_t$ , o que permite ajustar o valor do cupom  $c_x$  de forma precisa ao perfil temporal de risco associado à data efetiva  $x$ . Dessa forma, constata-se que o valor do cupom vai se alterar significativamente em função da data de emissão do título.

### 4.3 SIMULAÇÃO DE PREÇOS E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Com o propósito de estimar o preço justo do *Cat Bond* de inundações para o Brasil, foram elaborados três modelos de precificação. Os dois primeiros seguiram a metodologia de *Flores & Hernández-Pacheco (2024)*, sem considerar efeitos sazonais, enquanto o terceiro incorporou a sazonalidade por meio do método proposto por *Mildenhall (2023)*.

Nos dois primeiros modelos o valor do principal (F) adotado foi de R\$100.000,00, representando o montante garantido ao investidor. A perda máxima (M) foi estabelecida como 10% do valor total das perdas ocorridas no Rio Grande do Sul em 2024, equivalente a R\$1,22 bilhão, considerando o balanço divulgado pela Confederação Nacional de Municípios (CNM), que estimou os prejuízos totais em R\$ 12,2 bilhões (CNM, 2024).

A taxa flutuante de referência ( $r_t$ ) foi definida com base no CDI de 2024, considerando as variações mensais observadas ao longo do período, segundo dados do Banco Central do Brasil, sistematizados pelo portal Brasil Indicadores. Já o prêmio de risco ( $j$ ) foi definido a partir da margem de risco utilizada no *Cat Bond* da Jamaica, de 4,4% ao ano, mas foi convertido para a taxa mensal equivalente de aproximadamente 0,36%, visto que o título desenhado neste

estudo adota horizonte de 12 meses. Para trazer o valor do principal e dos cupons a valor presente, adotou-se a metodologia apresentada por Berger (2015, p. 113), amplamente utilizada no mercado financeiro brasileiro, o que garante maior aderência da modelagem às práticas nacionais de precificação de títulos.

No modelo 1, as perdas representativas ( $L_t$ ) foram definidas a partir de três eventos climáticos relevantes no Rio Grande do Sul. O primeiro evento considerado corresponde à cheia que atingiu o município de Itaqui em 2017, resultando em R\$255 milhões em prejuízos (FAMURS/CNM, 2017). A segunda refere-se aos temporais registrados entre abril e maio de 2023, que totalizaram R\$275.300.000,00 (CNM 2023). O terceiro valor adotado corresponde às enchentes de setembro de 2023 no Vale do Taquari, com prejuízos estimados em R\$1.300.000.000,00 (CNM, 2023). Devido ao valor elevado, considerou-se apenas 10% do montante, ou seja, R\$130 milhões, para fins de modelagem.

Tabela 3- Projeção do Fluxo de Caixa Mensal Descontado do *Cat Bond* (Modelo 1)

Mês	$L_t / M$	C	$rt$	VPt
1	0,00	R\$ 0,00	0,0097	R\$ 0,00
2	0,00	R\$ 0,00	0,0080	R\$ 0,00
3	0,00	R\$ 0,00	0,0083	R\$ 0,00
4	0,21	R\$ 0,00	0,0089	R\$ 0,00
5	0,23	R\$ 0,00	0,0083	R\$ 0,00
6	0,00	R\$ 0,00	0,0079	R\$ 0,00
7	0,00	R\$ 0,00	0,0091	R\$ 0,00
8	0,00	R\$ 0,00	0,0087	R\$ 0,00
9	0,11	R\$ 0,00	0,0084	R\$ 0,00
10	0,00	R\$ 0,00	0,0093	R\$ 0,00
11	0,00	R\$ 0,00	0,0079	R\$ 0,00
12	0,00	R\$ 66.666,67	0,0093	R\$ 57.152,85

**Fonte:** Adaptado de Flores & Hernández-Pacheco (2024), Berger (2015) e dados do CDI – Banco Central do Brasil (2024).

O resultado demonstra que o preço do *Cat bond* é fortemente influenciado pela relação entre as perdas mensais e a perda máxima estabelecida ( $L_t / M$ ), bem como pelas taxas de desconto aplicadas. A proporção das perdas traduz a intensidade dos desastres no período, o que reduziu o principal inicial de R\$100.000,00 para R\$66.666,67. Já as taxas utilizadas na

modelagem, definidas a partir de referências de *Cat Bonds* internacionais e ajustadas para maior aderência ao mercado brasileiro, contribuíram para reduzir ainda mais o valor presente. Com isso, o preço justo final do título foi estimado em R\$57.152,85, evidenciando a sensibilidade da precificação tanto à severidade dos eventos catastróficos quanto às condições do mercado financeiro.

No Modelo 2, as perdas representativas ( $L_t$ ) foram obtidas por meio de simulações estatísticas, substituindo dados históricos. Para a severidade, utilizou-se a distribuição Pareto, considerando 12 observações (meses), com parâmetros ajustados para gerar valores compatíveis com desastres de grande impacto. A frequência foi modelada pela distribuição Binomial, com probabilidade de ocorrência de 25% ao longo do ano, o que resultou em três meses com perdas. O produto desses dois componentes forneceu os valores simulados de  $L_t$ . Os valores simulados de  $L_t$  ocorreram em agosto (R\$4.900.645,00), outubro (R\$11.950.311,00) e novembro (R\$19.496.481,00), enquanto os demais meses não apresentaram perdas.

Essa abordagem busca refletir a incerteza inerente aos eventos climáticos extremos, permitindo que o modelo capture tanto a frequência quanto a severidade das ocorrências. Assim, cria-se uma base alternativa e mais flexível para a precificação do *Cat bond*, em contraste com o modelo anterior, que se apoiava exclusivamente em eventos históricos observados.

No Modelo 2, diferentemente do primeiro cenário em que não havia pagamento de cupons, o fluxo do título foi estruturado de forma a incluir cupons mensais. Para isso, além da taxa flutuante de referência ( $r_t$ ), foi incorporado um componente adicional ( $s$ ), correspondente ao *funding margin* de 0,19% a.a. observado em emissões internacionais, como a estrutura da Jamaica, convertido para base mensal que aproximadamente foi igual a 0,0158%, funcionando como uma taxa fixa somado à taxa flutuante, como é destacado na equação 1.

Tabela 4 - Projeção do Fluxo de Caixa Mensal Descontado do *Cat Bond* (Modelo 2)

Mês	Lt / M	ct	C	rt	VPt
1	0	R\$ 982,52	R\$ 0,00	0,0097	R\$ 969,66
2	0	R\$ 816,02	R\$ 0,00	0,008	R\$ 797,41
3	0	R\$ 847,52	R\$ 0,00	0,0083	R\$ 817,93
4	0	R\$ 903,22	R\$ 0,00	0,0089	R\$ 859,52
5	0	R\$ 848,22	R\$ 0,00	0,0083	R\$ 799,41
6	0	R\$ 804,12	R\$ 0,00	0,0079	R\$ 750,88
7	0	R\$ 922,92	R\$ 0,00	0,0091	R\$ 845,06
8	0,004	R\$ 883,32	R\$ 0,00	0,0087	R\$ 801,18
9	0,098	R\$ 851,02	R\$ 0,00	0,0084	R\$ 764,72
10	0	R\$ 943,82	R\$ 0,00	0,0093	R\$ 830,44
11	0,1598	R\$ 808,82	R\$ 0,00	0,0079	R\$ 712,99
12	0	R\$ 947,22	R\$ 100.000,00	0,0093	R\$ 86.541,31

**Fonte:** Adaptado de Flores & Hernández-Pacheco (2024), Berger (2015) e dados do CDI – Banco Central do Brasil (2024).

O preço justo do *Cat Bond* no Modelo 2 foi estimado em R\$95.490,50, obtido pela soma dos cupons periódicos e do valor do principal, ambos trazidos a valor presente. O cálculo seguiu a metodologia proposta por Berger (2015), que aplica o método de desconto utilizado para títulos de renda fixa no Brasil. Esse procedimento garante que o valor encontrado representa a equivalência atuarial entre os fluxos de caixa futuros esperados e o risco efetivamente transferido, fornecendo uma medida consistente para a precificação do título.

Para o modelo que incorpora a sazonalidade, foram utilizados dados mensais de sinistros por alagamentos e inundações no Brasil, disponibilizados pela Susep para o período de 2016 a 2021. As variáveis consideradas incluíram o mês de ocorrência, o montante total indenizado, a quantidade de sinistros registrados e a severidade, permitindo capturar a variação sazonal das perdas e analisar de forma mais realista a exposição ao risco climático. Todo o processamento e implementação do modelo foram realizados na plataforma *Google Colaboratory*, o que possibilitou o tratamento dos dados e execução das simulações.

Para identificar os eventos de maior impacto, foi adotado como critério o percentil 80 da distribuição das somas mensais de perdas, de modo que os meses em que os valores ultrapassaram esse limiar foram classificados como “maiores inundações”. A Tabela 5 apresenta a distribuição total de inundações registradas e a frequência relativa dos eventos

classificados como extremos, evidenciando a concentração sazonal desses episódios, com destaque para os meses de janeiro, fevereiro e março.

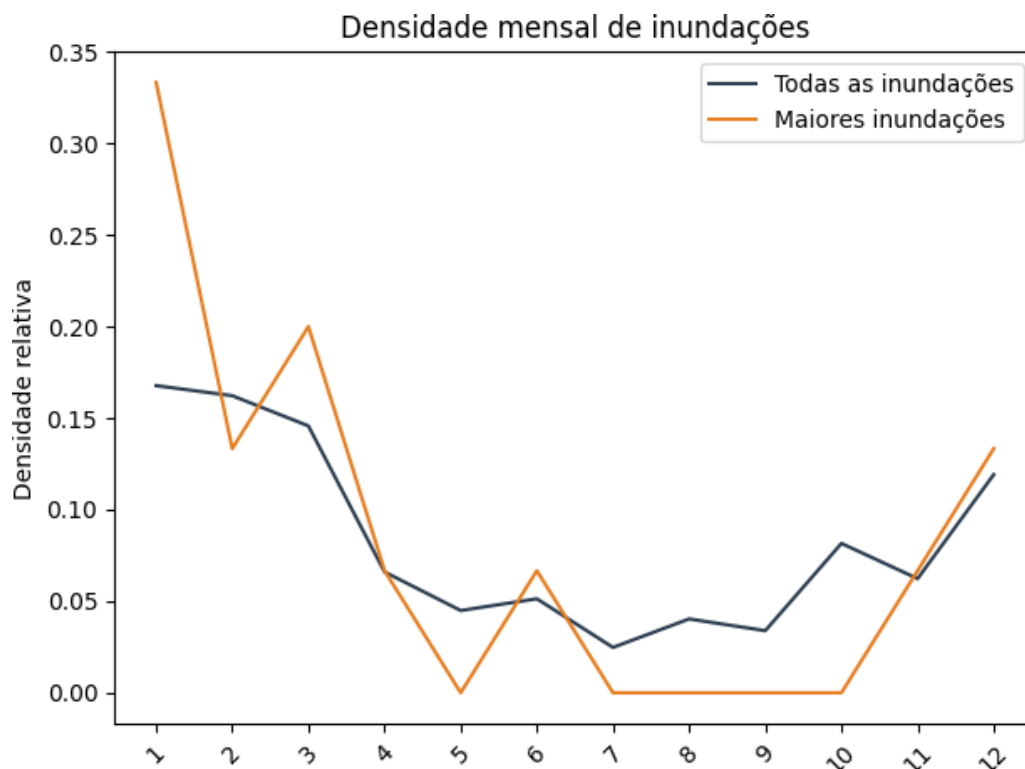
Tabela 5 – Distribuição mensal das inundações

<b>Mês</b>	<b>Inundações</b>	<b>Porcentagem</b>	<b>Maiores inundações</b>	<b>Porcentagem</b>
<b>Jan</b>	183	16,8	5	33,3
<b>Fev</b>	177	16,2	2	13,3
<b>Março</b>	159	14,6	3	20
<b>Abril</b>	72	6,6	1	6,7
<b>Mai</b>	49	4,5	0	0
<b>Junho</b>	56	5,1	1	6,7
<b>Julho</b>	27	2,5	0	0
<b>Ago</b>	44	4	0	0
<b>Set</b>	37	3,4	0	0
<b>Out</b>	89	8,2	0	0
<b>Nov</b>	68	6,2	1	6,7
<b>Dez.</b>	130	11,9	2	13,3
<b>Total</b>	1091	100	15	100

**Fonte:** Dados da Susep (2016–2021), elaboração própria.

A partir dessa classificação, foi possível comparar a distribuição de todas as ocorrências com a dos maiores eventos. A figura 5 ilustra essa diferença, mostrando a densidade relativa mensal das inundações totais em contraste com a dos eventos extremos, permitindo visualizar a maior concentração de perdas relevantes nos primeiros meses do ano.

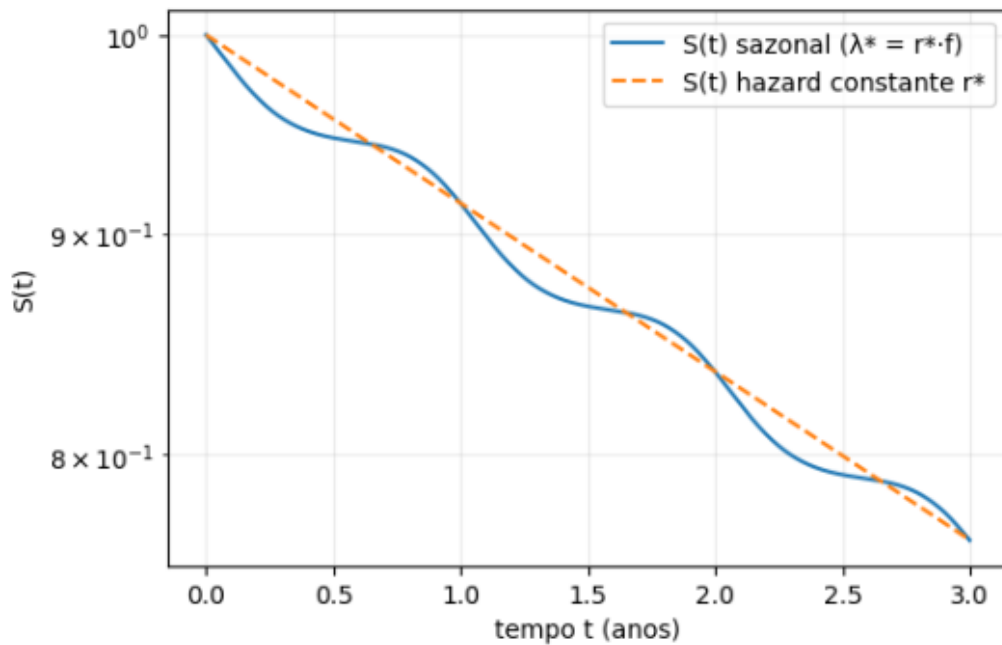
Figura 5 – Densidade mensal de inundações totais e dos maiores eventos



**Fonte:** Dados da Susep (2016–2021), elaboração própria.

A função de sobrevivência do título foi construída segundo a metodologia de *Mildenhall* (2023), que adapta conceitos da matemática atuarial do ramo vida ao mercado de *Cat bonds*. Nessa analogia, a sobrevivência de um indivíduo equivale à probabilidade do título permanecer válido ao longo do tempo, isto é, sem sofrer o disparo do gatilho por um evento catastrófico. Esse enquadramento permite aplicar a teoria atuarial de sobrevivência para mensurar o risco de perda do título, incorporando tanto a hipótese de uma taxa de falha constante quanto a sazonalidade das perdas, como ilustra a figura 6.

Figura 6 – Função de sobrevivência do *Cat Bond* com e sem sazonalidade



**Fonte:** Elaboração própria com base em Mildenhall (2023) e dados da Susep (2016–2021).

A curva azul representa a sobrevivência sazonal, definida por:

$$\Pr(T_x > t) = S(t) = \exp\left(-\int_0^t r * f(s) ds\right). \quad (15)$$

em que  $r^*$  é a intensidade média anual de eventos e  $f(s)$  é a função sazonal que distribui essa intensidade ao longo dos meses, refletindo a concentração observada dos desastres em determinados períodos do ano. Já a curva laranja tracejada ilustra o caso de hazard constante, em que a sobrevivência assume a forma:

$$S(t) = \exp(-r * t). \quad (16)$$

Supondo que os eventos ocorrem de maneira uniforme ao longo do tempo, sem variação sazonal. A diferença entre as curvas mostra que a sazonalidade altera a sobrevivência do título: o modelo constante suaviza o risco, enquanto o sazonal evidencia meses com maior ou menor probabilidade de eventos. No presente estudo, fixou-se  $r^*=0,089405$  eventos/ano, valor obtido via calibração pelo princípio da equivalência.

Dessa forma, para obter o valor de  $r^*$ , utilizou-se o princípio da equivalência proposto por Mildenhall (2023). Nesse contexto, o *spread* de mercado ( $s$ ) deve equilibrar o valor presente esperado dos cupons pagos com a probabilidade de perda do principal. Isso leva à equação:

$$s \int_0^t S * (u) du = 1 - S * (T). \quad (17)$$

Em que  $s = 9\%$  ao ano, já que estudos recentes mostram que os *Cat Bonds* apresentam *spreads* consistentemente mais elevados do que os títulos corporativos *high yield*, conforme

evidenciado pela *Swiss Re* (2024). Esse comportamento fundamenta a escolha desse valor como parâmetro de calibração no presente estudo, no qual  $S^*(t)$  representa a função de sobrevivência ajustada ao risco. Resolver essa equação permite, então, encontrar a intensidade  $r^*$ , que compatibiliza os fluxos esperados com o preço de mercado.

Cabe destacar que, diante da ausência de preços de *Cat Bonds* no Brasil, o parâmetro  $r^*$  foi modelado com base em um *spread* internacional de referência, enquanto a sazonalidade do risco foi incorporada a partir dos dados reais de inundações no país, assegurando que o modelo reflita simultaneamente padrões globais de precificação e especificidades do contexto nacional.

Para incorporar a incerteza da intensidade dos eventos, realizou-se uma simulação de mercado com base no parâmetro  $r^*$ , obtido a partir da calibração anterior. Essa simulação permitiu construir a distribuição empírica da intensidade anual de desastres, da qual foram extraídos percentis representativos (P20, P40, P60, P80 e P90). Os valores correspondentes de  $\lambda^*$  servem, assim, como cenários alternativos para a precificação, refletindo diferentes níveis de severidade esperada. A Tabela 6 apresenta os preços anuais do título e suas variações em função desses percentis, considerando duas taxas de desconto contínuas  $\delta = 4\%$  e  $\delta = 2\%$ . É importante destacar que, independentemente do mês de emissão, o título tem duração de 1 ano. Dessa forma, na equação 15, o parâmetro  $t$  varia no intervalo  $[0,1]$ , refletindo que todos os títulos analisados possuem maturidade de um ano, em que cada mês corresponde a uma fração desse período.

Tabela 6 – Preço anual do *Cat Bond* em função dos percentis de  $\lambda^*$  e da taxa de desconto  $\delta$ , considerando a sazonalidade das inundações no Brasil. O painel superior apresenta os preços anuais do título conforme o mês de emissão; o painel intermediário mostra a diferença em pontos-base em relação a setembro; e o painel inferior, a variação percentual correspondente.

Preço anual ou cupom (c) em ponto-base										
	$\delta = 4,00\%$					$\delta = 2,00\%$				
$\lambda^*$	0,06	0,08	0,1	0,11	0,13	0,06	0,08	0,1	0,11	0,13
<b>Jan</b>	604,02	806,39	1009,28	1110,93	1314,63	603,26	805,36	1007,98	1109,49	1312,91
<b>Feb</b>	607,57	812,06	1017,54	1120,66	1327,65	606,1	810,1	1.015,08	1117,94	1324,43
<b>Mar</b>	608,78	813,98	1020,31	1123,91	1331,97	607,08	811,71	1017,48	1120,79	1328,28
<b>Aug</b>	594,04	790,35	985,82	1083,22	1277,4	595,3	792,05	987,94	1085,57	1280,17
<b>Sep</b>	592,32	787,63	981,88	1078,61	1271,27	593,91	789,76	984,54	1081,54	1274,73
<b>Dec</b>	599,28	798,8	998,21	1097,88	1297,16	599,46	799,03	998,48	1098,17	1297,48

Diferença do preço em relação a setembro em pontos-base										
$\delta = 4,00\%$						$\delta = 2.00\%$				
$\lambda^*$	0,06	0,08	0,1	0,11	0,13	0,06	0,08	0,1	0,11	0,13
<b>Jan</b>	11,7	18,76	27,4	32,32	43,36	9,34	15,6	23,43	27,95	38,17
<b>Feb</b>	15,25	24,43	35,66	42,05	56,38	12,19	20,34	30,53	36,4	49,69
<b>Mar</b>	16,46	26,34	38,43	45,3	60,69	13,17	21,95	32,94	39,26	53,54
<b>Aug</b>	1,72	2,72	3,93	4,61	6,12	1,38	2,28	3,4	4,03	5,44
<b>Dec</b>	6,96	11,17	16,33	19,27	25,88	5,55	9,27	13,94	16,64	22,74

Aumento percentual do preço em relação a setembro										
$\delta = 4,00\%$						$\delta = 2.00\%$				
$\lambda^*$	0,06	0,08	0,1	0,11	0,13	0,06	0,08	0,1	0,11	0,13
<b>Jan</b>	1,98	2,38	2,79	3	3,41	1,57	1,97	2,38	2,58	2,99
<b>Feb</b>	2,57	3,1	3,63	3,9	4,43	2,05	2,57	3,1	3,37	3,9
<b>Mar</b>	2,78	3,34	3,91	4,2	4,77	2,22	2,78	3,35	3,63	4,2
<b>Aug</b>	0,29	0,35	0,4	0,43	0,48	0,23	0,29	0,34	0,37	0,43
<b>Dec</b>	1,18	1,42	1,66	1,79	2,04	0,93	1,17	1,42	1,54	1,78

**Fonte:** Elaboração própria com base em Mildenhall (2023) e dados da Susep (2016–2021).

No painel superior, observa-se que os preços variam de acordo com o mês de emissão do título, ainda que sua duração seja sempre de 12 meses. Esse resultado reflete a influência da sazonalidade do risco: meses associados a maior probabilidade de eventos extremos, como fevereiro e março, produzem preços mais elevados, enquanto meses de menor risco relativo, como agosto e setembro, resultam em preços mais baixos.

É importante destacar que, embora março apresente menor número de eventos severos do que janeiro e fevereiro, os preços das emissões nesse mês são superiores porque a cobertura de 12 meses inclui novamente o período crítico de dezembro a fevereiro do ano seguinte. Assim, o modelo precifica não apenas os eventos do mês inicial, mas todo o ciclo anual subsequente, o que justifica o valor mais elevado de março em relação a janeiro e fevereiro.

O painel intermediário, que expressa as diferenças em relação ao preço de setembro em pontos-base, evidencia com clareza essas variações sazonais. A maior diferença observada ocorre entre setembro e março, chegando a aproximadamente 60 pontos-base para  $\delta = 4\%$  e  $\lambda^* = 0,13$ . Esse resultado mostra como a sazonalidade pode gerar variações relevantes na precificação, mesmo mantendo a maturidade constante em 12 meses. Já o painel inferior confirma esse padrão em termos relativos: os aumentos percentuais do preço em relação a setembro oscilam entre 1% e 5%, a depender do mês de emissão e da intensidade considerada.

Além disso, a comparação entre as taxas de desconto  $\delta=4\%$  e  $\delta=2\%$  mostram que, embora os níveis absolutos de preço variem, a estrutura relativa das diferenças sazonais permanece robusta.

## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou uma revisão do desenvolvimento de mecanismos alternativos de resseguro pelo mundo, com destaque para os *ILS* e, em especial, os *Cat bonds*. A análise mostrou como esses instrumentos se consolidaram como soluções relevantes para a transferência de riscos de grande impacto econômico e social. Em seguida, foram analisadas experiências internacionais e eventos de grande magnitude no Brasil, como a tragédia climática no Rio Grande do Sul em 2024 e as enchentes no Litoral Norte de São Paulo em 2023, que serviram de referência para a modelagem de um *Cat Bond* de inundações voltado ao mercado brasileiro.

Os resultados obtidos reforçam que, para eventos sazonais como inundações, é fundamental adotar modelos que incorporem a sazonalidade. Ainda que essa escolha aumente a complexidade dos cálculos de precificação, ela garante maior aderência à realidade do risco, refletindo a concentração temporal observada nos meses de maior exposição. Por outro lado, para eventos essencialmente não sazonais, como terremotos, modelos que assumem intensidade constante ao longo do tempo se mostram suficientes e oferecem maior simplicidade operacional, sem perda significativa de consistência.

Apesar de trazer contribuições relevantes, o trabalho também apresenta limitações que abrem espaço para desenvolvimentos futuros. A primeira diz respeito à ausência de dados de mercado no contexto brasileiro, já que não há séries históricas de preços ou emissões locais de *Cat Bonds*. Isso obrigou a utilização de *spreads* internacionais como referência, o que pode reduzir a aderência da calibração às condições nacionais. A segunda limitação refere-se à base empírica utilizada: os dados da Susep se restringem a registros de sinistros, e não à frequência exata de eventos de inundação. De acordo com a FenSeg, apenas 17% das residências possuíam cobertura em 2021, o que significa que as estatísticas disponíveis refletem apenas os sinistros indenizados. Dessa forma, os dados não capturam a severidade total dos eventos de inundação, já que uma parcela expressiva da população afetada não possui seguro e, portanto, não aparece nos registros oficiais da Susep.

Outro ponto a ser considerado é que a modelagem pode ser aprimorada mediante a delimitação espacial mais restrita. Trabalhar com dados de um estado ou região específica permitiria maior precisão na estimação da frequência e severidade dos eventos, evitando a diluição de padrões sazonais locais e refletindo com mais realismo as condições de risco que impactam cada território. Essa abordagem regionalizada poderia facilitar tanto a modelagem de

*Cat Bonds* mais ajustados às necessidades locais quanto à avaliação e da propensão de investidores diante de diferentes perfis de risco climático.

Em síntese, conclui-se que a adaptação de modelos internacionais de precificação de *Cat Bonds* ao contexto brasileiro é viável e revela grande potencial para ampliar a resiliência financeira do país frente a desastres climáticos. A consideração da sazonalidade, o refinamento dos dados empíricos e o fortalecimento do mercado de *ILS* nacionais são passos essenciais para que o Brasil avance na construção de instrumentos robustos de transferência de risco climático via mercado de capitais.

## REFERÊNCIAS

ALVIM, Mariana. *Litoral de SP foi atingido por 'evento extremo', com recorde de chuvas e elevação do mar*. **BBC News Brasil**, 21 fev. 2023. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/c3gj49n6jwno>. Acesso em: 17 abr. 2025.

ARTAXO, Paulo. Mudanças climáticas. Entrevista concedida à revista **FCW Cultura Científica**. São Paulo: **Fundação Conrado Wessel**, 2024. Disponível em: <https://www.fcw.org.br/culturacientifica7/paulo-artaxo>. Acesso em: 17 abr. 2025.

ARTEMIS. *Cat bonds & ILS: cumulative issuance by year*. 2025. Disponível em: <https://www.artemis.bm/dashboard/cat-bonds-ils-cumulative-/>. Acesso em: 21 maio 2025.

**BANCO CENTRAL DO BRASIL**. Séries temporais – CDI (Certificado de Depósito Interbancário). Disponível em: <https://brasilindicadores.com.br/cdi/>. Acesso em: 26 ago. 2025.

BRAUN, Alexander; KOUSKY, Carolyn. **Catastrophe bonds**. Philadelphia: **Wharton Risk Management and Decision Processes Center**, 2021. (Wharton Risk Center Primer).

**BRASIL INDICADORES**. CDI – histórico mensal e anual acumulado. Disponível em: <https://brasilindicadores.com.br/cdi/>. Acesso em: 26 ago. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional de Seguros Privados. **Resolução CNSP nº 396, de 11 de dezembro de 2020**. Dispõe sobre as sociedades seguradoras de propósito específico e a emissão de letras de risco de seguro. Disponível em: <https://www2.susep.gov.br/safe/scripts/>. Acesso em: 7 maio 2025.

BRASIL. Conselho Nacional de Seguros Privados. **Resolução CNSP nº 453, de 19 de dezembro de 2022**. Dispõe sobre a constituição, autorização de funcionamento e regras operacionais das sociedades seguradoras de propósito específico. Disponível em: <https://www2.susep.gov.br/safe/scripts>. Acesso em: 7 maio 2025.

BRASIL. Superintendência de Seguros Privados. *Susep autoriza primeira Sociedade Seguradora de Propósito Específico a atuar no mercado*. **Governo Federal**, 6 dez. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/susep/pt-br/central-de-conteudos/noticias/2024/dezembro/>. Acesso em: 7 maio 2025.

**BERGER, Paulo Lamosa**. *Mercado de renda fixa no Brasil: ênfase em títulos públicos*. Rio de Janeiro: Alta Books, 2015.

**CEMADEN** – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. *Cientistas do Cemaden apontam aumento de risco de deslizamentos e inundações no Brasil em projeções de aquecimento global acima de 2 °C*. 2020. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/cientistas-do-cemaden-apontaamentos-e-inundacoes>. Acesso em: 10 abr. 2025.

**CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS (CNM)**. Balanço das chuvas no Rio Grande do Sul aponta para R\$ 12,2 bilhões em prejuízos financeiros. Brasília, 2024. Disponível em: <https://cnm.org.br/comunicacao/noticias/balanco>. Acesso em: 26 ago. 2025.

**CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS (CNM).** Situação dos temporais no Rio Grande do Sul – abril e maio de 2023. Brasília, 2023a. Disponível em: <https://cnm.org.br/storage/noticias/2023/Links/Situac%CC%A7a>. Acesso em: 26 ago. 2025.

**CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS (CNM).** Enchentes no Vale do Taquari em setembro de 2023 somam R\$ 1,3 bilhão em prejuízos. Brasília, 2023b. Disponível em: <https://cnm.org.br/comunicacao/noticias/sobe-para-r-1-3-bi-os-impactos>. Acesso em: 26 ago. 2025.

DIFIORE, Peter; DRUI, Cedric; WARE, Sophie. **Catastrophe bonds: natural diversification**. New York: **Neuberger Berman**, 2021. (White Paper).

EDESSESS, Michael. *Catastrophe bonds: an important new financial instrument*. **EDHEC-Risk Institute**, n. 1, p. 1–9, 2014.

**FAMURS; CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS (CNM).** Cheia atinge município de Itaqui em 2017, resultando em R\$ 255 milhões em prejuízos. Porto Alegre; Brasília, 2017. Disponível em: <https://www.famurs.com.br/>. Acesso em: 26 ago. 2025.

**FENSEG – FEDERAÇÃO NACIONAL DE SEGUROS GERAIS.** Contratação do seguro residencial no Brasil cresce 25% em quatro anos. 2021. Disponível em: <https://fenseg.org.br/noticias/contratacao-do-seguro-residencial-no-brasil-cresce-25-em-quatro-anos-1>. Acesso em: 11 set. 2025

FLORES, Roberto Carcache; HERNÁNDEZ-PACHECO, Abraham. *Mitigating flood risk with CAT bonds: a New Orleans case study*. In: **EUROPEAN ACTUARIAL JOURNAL CONFERENCE**, 2024, Lisboa. Anais [...]. Lisboa: **ISEG – Universidade de Lisboa**, 2024.

GIERTZ, Fredrik. **Analysis and Optimization of a Portfolio of Catastrophe Bonds**. 2014. 49 f. Tese (Mestrado em Estatística Matemática) – **KTH Royal Institute of Technology**, Estocolmo, 2014.

GROSSI, Patricia; KUNREUTHER, Howard; WINDELER, David. *An introduction to catastrophe models and insurance*. In: GROSSI, Patricia; KUNREUTHER, Howard (org.). **Catastrophe modeling: a new approach to managing risk**. Berlin: **Springer**, 2006. cap. 1, p. 24–42.

**IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2023: Synthesis Report. Summary for Policymakers**. Geneva: **IPCC**, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>. Acesso em: 17 abr. 2025.

**IRB(RE).** Andrina emite a primeira Letra de Risco de Seguro (LRS) do Brasil. Disponível em: <https://www.irbre.com/andrina-emite-primeira-letra-de-risco-de-seguro-lrs-do-brasil/>. Acesso em: 30 maio 2025.

JEWELL, William S. **Models in Insurance: Paradigms, Puzzles, Communications and Revolutions**. Berkeley: **University of California**, 1980.

**MAPBIOMAS.** *Dois terços dos municípios do Rio Grande do Sul foram afetados pelos eventos extremos deste ano*. 10 jun. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2024/06/10/dois-tercos-dos-municipios-do-rio-grande-do-sul-foram-afetados-pelos-eventos-extremos-deste-ano/>. Acesso em: 17 abr. 2025.

MILDENHALL, Stephen J. **Pricing seasonal peril catastrophe bonds: a simplified approach.** *SSRN Electronic Journal*, [s.l.], 2023. p. 1–23. Disponível em: <https://variancejournal.org/article/>. Acesso em: 26 maio 2025.

MITCHELL-WALLACE, Kirsten; JONES, Matthew; HILLIER, John; FOOTE, Matthew. **Natural catastrophe risk management and modeling: a practitioner's guide.** Chichester: **Wiley-Blackwell**, 2017.

NOBRE, Carlos A. et al. *Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo.* In: HOGAN, D. J. et al. **Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios.** Brasília: **IBEP**, 2010. p. 233–260.

SUPERINTENDÊNCIA DE SEGUROS PRIVADOS (SUSEP). **Glossário de termos do mercado de seguros, previdência complementar aberta, capitalização e resseguro.** Disponível em: <https://www.gov.br/susep/pt-br/central>. Acesso em: 21 maio 2025.

TABARI, H. *Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability.* **Scientific Reports**, London, v. 10, art. 13768, p. 1–10, 2020.

WORLD BANK. **Case study: Mexico 2024 cat bond.** Washington, DC: **World Bank**, 2024. Disponível em: <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/8f7222d60ec54d0b6571131b75431>. Acesso em: 21 maio 2025.

WORLD BANK. **Implementation completion and results report (Loan No. 5803-JM) on a grant in the amount of US\$16.365 million to Jamaica for Jamaica catastrophe bond for increased financial resilience to natural disasters and climate shocks.** Washington, DC: **World Bank**, 2024. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en>. Acesso em: 20 maio 2025.

XU, J.; KOLK, S.; WIECHECK, J. **Insurance-linked securities and catastrophe bonds.** A Public Policy Issue Paper, June 2022. p. 1–31.