

CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DA RECORRÊNCIA DE DESASTRES HIDROMETEOROLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS NO LITORAL DO PARANÁ

Clara Kim Pinheiro

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR
Curitiba, PR, Brasil
clarakimpi@gmail.com

Ricardo Michael Pinheiro Silveira

Universidade Federal de Rondonópolis – UFR
Rondonópolis, MT, Brasil
ricardomichaelps@gmail.com

Gislaine Garcia de Faria

Instituto Federal do Paraná – IFPR
Paranaguá, PR, Brasil
gisa.garcia@ifpr.edu.br

RESUMO

A pesquisa objetivou caracterizar os desastres meteorológicos, hidrológicos e geomorfológicos registrados nos municípios do litoral paranaense num período de trinta anos (1990-2020) e calcular o tempo de retorno e probabilidade de recorrência (de 1 a 100 anos) dos eventos a partir das chuvas deflagradoras, a fim de analisar os limiares pluviométricos em 24h e 96h, sazonalmente e por categorias de desastres. Os resultados apontaram, em suma, que: os desastres meteorológicos representaram metade (50%) das ocorrências; a média de chuvas deflagradoras de desastres na região litorânea paranaense foi de 80,9 mm/24h e 153 mm/96h, sendo de 87,9 mm/24h para os desastres hidrológicos e de 44,3 mm/24h para aqueles de prevalência geomorfológica; os eventos intensos foram desencadeados com volumes de 104,6 mm/24h e 178,4 mm/96h; 56% dos desastres ocorreram no verão; o megadesastre de 11/03/2011 tem tempo de retorno de 21,2 anos e probabilidade de recorrência anual de 4,59%, de 37,5% em 10 anos e 90,9% em 100 anos.

Palavras-chave: Inundações. Alagamentos. Deslizamentos. Chuvas deflagradoras. Suscetibilidade a movimentos de massa.

CHARACTERIZATION AND ANALYSIS OF THE RECURRENCE PROBABILITY OF HIDROMETEOROLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL DISASTERS ON THE PARANÁ COAST

ABSTRACT

The research aimed to characterize meteorological, hydrological, and geomorphological disasters registered on the coast of Paraná's cities in a period of thirty years (1990-2020) and calculate the return time and probability of recurrence (from 1 to 100 years) of events from the triggering rains, in order to analyze the rainfall thresholds in 24h and 96h, seasonally and by disaster categories. The results indicated, in conclusion, that: meteorological disasters accounted for half (50%) of the occurrences; the average rainfall triggering disasters in the coastal region of Paraná was 80.9 mm/24h and 153 mm/96h, being 87.9 mm/24h for hydrological disasters and 44.3 mm/24h for those with geomorphological prevalence; intense events were triggered with volumes of 104.6 mm/24h and 178.4 mm/96h; 56% of the disasters occurred in summer; the megadisaster of 03/11/2011 has a return time of 21.2 years and a probability of annual recurrence of 4.59%, 37.5% in 10 years and 90.9% in 100 years.

Keywords: Floods. Waterlogging. Landslides. Trigger rains. Susceptibility to mass movements.

INTRODUÇÃO

Os desastres naturais, conceituados como o resultado do impacto de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre um sistema social (TOMINAGA et al., 2015), emergem como um tema essencial ao planejamento, à gestão territorial e à educação (UNISDR, 2009) por envolverem as etapas de

prevenção, mitigação, preparo, alerta, resposta, reabilitação e reconstrução (KOBAYAMA, 2006). Ao considerar os aspectos ambientais, os estudos sobre a suscetibilidade e os condicionantes físicos de iniciação ganham destaque. Parte-se do pressuposto de que as medidas de prevenção demandam, inicialmente, o reconhecimento das características e da dinâmica dos processos naturais que podem trazer danos diretos ou indiretos à população. A análise individualizada e, de modo concomitante, integrada dos aspectos relacionados à deflagração, distribuição têmporo-espacial e impactos resultantes das ocorrências, viabiliza o estabelecimento de diagnósticos e prognósticos (SILVEIRA et al., 2013).

A região litorânea no estado do Paraná, que contempla conjuntos montanhosos, complexos estuarinos e extensa planície fluviomarina, possui alta predisposição a eventos hidrometeorológicos e geomorfológicos de grande magnitude. As inundações, que correspondem ao extravasamento periódico das águas de um curso de água para as áreas marginais quando a vazão é superior à capacidade de descarga da calha (OLIVEIRA, 1998), vinculam-se à própria morfogênese da planície costeira. A ocupação nas adjacências e várzeas de rios, somada aos alagamentos vinculados às áreas urbanizadas, confere papel central à dinâmica fluvial no âmbito do ordenamento territorial.

Em relação aos movimentos de massa, muitos fatores devem ser considerados na análise da suscetibilidade à corrida de detritos associadas a deslizamentos (característicos da região), tais como as características geomórficas, geológicas, hidrológicas, uso e cobertura do solo, influência da vegetação e dos aspectos climatológicos (LEE, 2005). As corridas de detritos são definidas como rápidos movimentos de massa orientados pela gravidade contendo uma mistura de sedimentos finos, rochas e água, que podem ter extensão de muitos quilômetros (IVERSON, 1997). Os fluxos são comumente desencadeados por uma combinação de três fatores: disponibilidade de materiais sólidos, escoamento hídrico provocado pelas chuvas e vertentes declivosas (CHENG et al., 2016; WEI et al., 2018). Para esse processo, as áreas nos sopés da Serra do Mar demandam atenção à gestão de áreas de risco e populações expostas em regiões montanhosas.

Destacam-se as publicações prévias sobre a temática na área de estudo. O trabalho de Silva et al. (2022) constitui importante referencial sobre as inundações no município de Morretes, indicando que fenômenos como o El Niño e La Niña têm pouca interferência nas chuvas e que, numa projeção para o mês de março entre 2041-2060, a precipitação tende a ser superior à média histórica, resultando em mais inundações. Ferentz e Garcias (2021) realizaram uma discussão sobre o conjunto de desastres registrados no litoral paranaense desde a década de 1980 e o Instituto das Águas do Paraná (2018), com o relatório técnico do Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea, avaliou as frequências e séries históricas na região, cujos estudos denotaram a recorrência dos processos. Numa abordagem regional, para todo o estado do Paraná, constam o mapeamento da vulnerabilidade geoambiental (SANTOS et al., 2007), a classificação dos desastres com ênfase na vulnerabilidade (BESSA JUNIOR et al., 2011), as tendências têmporo-espaciais das precipitações e indicadores de extremos climáticos (SILVA et al., 2015; ELY e DUBREUIL, 2017) e o mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa, planícies de inundação e potencial erosivo (SILVEIRA, 2019).

Referente aos megadesastres, conforme contextualizado por Silveira et al. (2013; 2014) e Paz e Paula (2022a), no dia 11 de março de 2011 ocorreu um evento que é tratado pelo Poder Público como um dos maiores no estado do Paraná e que expôs a problemática de modo mais efetivo no litoral paranaense. O desastre foi caracterizado por um conjunto de deslizamentos simultâneos, predominantemente translacionais, associado a um elevado volume de chuva (241,8 mm/24h). O volume de material desprendido pelos deslizamentos, composto por rocha, solo e árvores, situados principalmente no terço superior das vertentes, foi transportado pelos vales com a remobilização dos depósitos colúviais. Todo o volume de material fluiu em direção às planícies, com o material mais grosseiro tendendo a ser depositado na saída dos canais, formando cones de dejeção de detritos, enquanto o material em suspensão atingiu grandes extensões da planície, levando à inundação e à formação de depósitos de sedimentos finos em expressiva área.

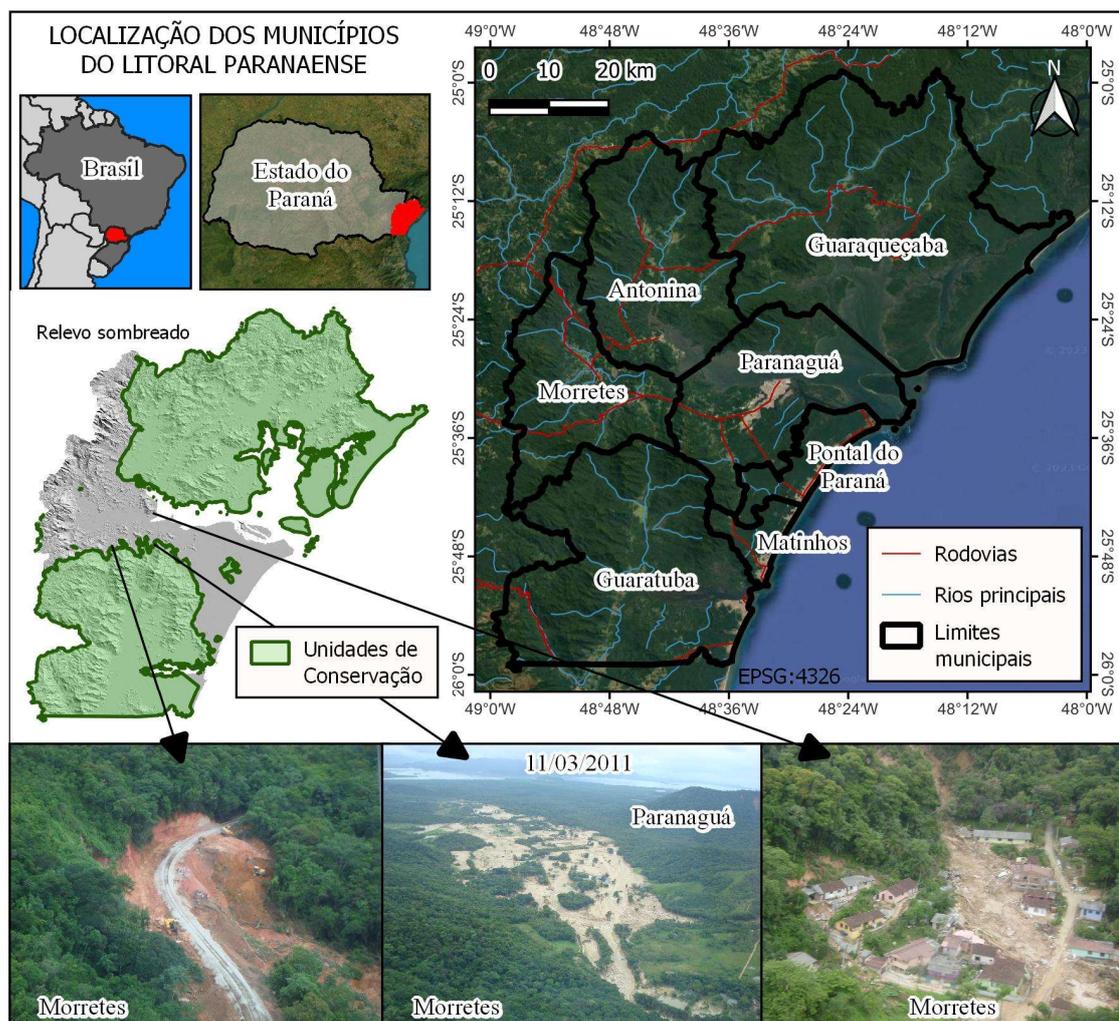
Para exemplificar a dimensão do desastre em aspectos morfodinâmicos, Paz e Paula (2022b) calcularam o volume total do depósito de sedimentos no rio Jacareí, que representa a divisa entre Morretes e Paranaguá, na Serra da Prata. O resultado foi de 1,7 milhão de toneladas, indicando que uma única bacia hidrográfica produziu, em menos de 24h, mais de 8,5 vezes a produção anual de sedimentos de todas as unidades hidrográficas que drenam para o Complexo Estuarino de Paranaguá.

Segundo Pinheiro e Pedroso (2016), as chuvas causaram grande destruição e impacto à infraestrutura privada e pública, além de grandes danos ambientais com a destruição de Parques Nacionais e áreas de preservação, com perdas de árvores de grande valor ecológico. Pinheiro e Garcias (2014) realizaram ampla discussão sobre o impacto econômico desse evento, enquanto Zai et al. (2017) discutiram sobre os impactos socioambientais nas principais áreas atingidas. A classificação dos movimentos de massa, com a respectiva categorização e descrição dos processos, foi realizada por Pinto et al. (2012), e Silveira et al. (2013; 2014) elaboraram mapeamentos de suscetibilidade a partir de modelagem digital do relevo e técnicas geomorfométricas.

Em dezembro de 2022 e janeiro de 2023, auge da temporada turística, deslizamentos causaram interdições em todas as rodovias que dão acesso ao litoral paranaense, resultando em prejuízo econômico bilionário. Nas estatísticas de 2022, o Centro Estadual de Gerenciamento de Riscos e Desastres, da Defesa Civil Estadual, registrou 581 ocorrências de desastres naturais (incluindo todas as categorias), com 635 mil pessoas afetadas em todo o estado e prejuízo estimado em R\$ 18,9 bilhões.

Assim, a pesquisa teve como objetivo caracterizar os desastres meteorológicos, hidrológicos e geomorfológicos registrados nos municípios com compõem o litoral do estado do Paraná (Figura 1) num período de trinta anos (1990-2020) e calcular o tempo de retorno e probabilidade de recorrência dos eventos a partir das chuvas deflagradoras, a fim de analisar os limiares pluviométricos em 24h e 96h, sazonalmente e por categorias de desastres. Considera-se que a caracterização de eventos pretéritos pode subsidiar estudos futuros que avancem na interpretação e modelagem de cenários preditivos.

Figura 1 - Litoral do Paraná: Localização da área de estudo, 2021.

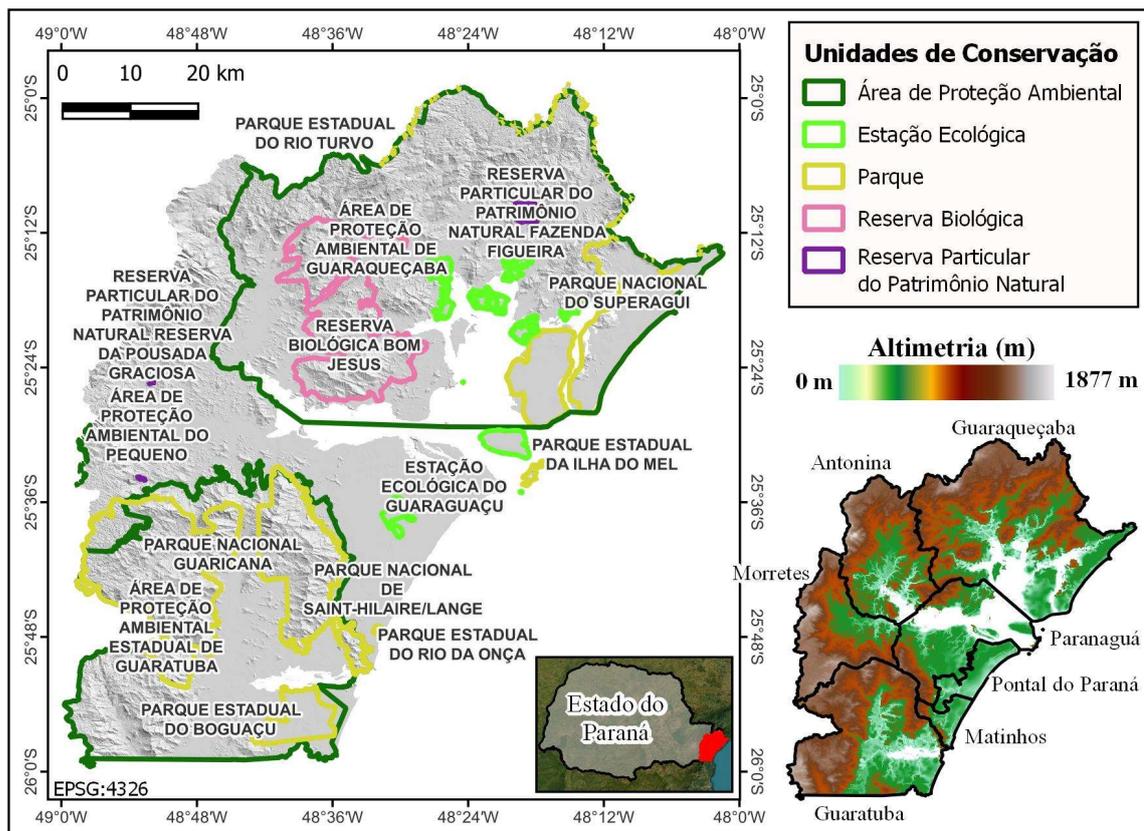


Fonte - Autores (2023).

Caracterização da área de estudo

A região litorânea do estado do Paraná (Figura 1) contempla sete municípios: Antonina, Guaraqueçaba, Guaratuba, Matinhos, Morretes, Paranaguá e Pontal do Paraná, com população estimada pelo IBGE (2020) em 300.438 habitantes e 20 unidades de conservação (Figura 2) em distintas categorias e esferas administrativas. No verão, no entanto, com a alta temporada turística, o fluxo de pessoas supera 1 milhão. O clima da planície costeira no Paraná, segundo a classificação de Köppen, é tipo Cfa (Clima Subtropical Úmido - Mesotérmico), enquanto, nas elevações a partir de 700 metros de altitude, passa a ser classificado como tipo Cfb (Subtropical Úmido-Mesotérmico com verão fresco), com precipitações mais abundantes devido ao efeito orográfico (VANHONI e MENDONÇA, 2008).

Figura 2 - Litoral do Paraná: Unidades de Conservação e altimetria.



Fonte - Autores (2023).

No contexto da Serra do Mar, que circunda os municípios litorâneos, o efeito orográfico confere uma das maiores médias pluviométricas anuais do estado do Paraná, com 3465,4 mm anuais na estação Vêu de Noiva (Morretes). Visto que a chuva é o principal agente deflagrador dos movimentos de massa na costa brasileira, as montanhas que retêm as massas de ar úmidas vindas do oceano também incrementam a suscetibilidade em função das características geopedológicas. As declividades que superam 30% (16,7°), comumente associadas a neossolos litólicos nos terços superiores das intrusões graníticas, favorecem os planos de ruptura no contato solo-rocha, em condição de saturação, que podem derivar os deslizamentos translacionais.

A Serra do Mar possui origem vinculada à tectônica do rift continental de idade paleocênica (ALMEIDA e CARNEIRO, 1988), enquanto a planície formou-se durante os dois últimos ciclos transgressivo/regressivos do Quaternário, relacionados aos ciclos glaciais (ANGULO, 2004), sendo uma região de morfodinâmica ativa e instável. Em aspectos geológicos, a variedade de tipos litológicos do embasamento exposto remete à complexa história registrada entre o Pré-cambriano e o

Eopaleozóico, que deu origem a diversas associações metamórficas e aos complexos ígneos que sustentam as maiores elevações e serras individualizadas.

O litoral paranaense tem aproximadamente 90 km de extensão, com uma planície costeira caracterizada por praias arenosas expostas, recortada pelos complexos estuarinos e baías, cujas planícies de restinga foram formadas pela coalescência de feições lineares, chamados de cordões litorâneos (COMERLATO, 2022). Na Planície Litorânea há o predomínio de sedimentos inconsolidados aluvionares, oriundos da erosão e deposição das litologias mais antigas intemperizadas, e associados a solos hidromórficos (Gleissolos, Cambissolos Flúvicos e Neossolos Flúvicos). Para Silveira (2019), constam três tipos de planícies de inundação no litoral: com influência de marés, próximas à costa; rios continente adentro, em porções mais rebaixadas dos cursos fluviais; no sopé da Serra do Mar, destacadas pelo gradiente altimétrico e ruptura de declividade.

METODOLOGIA

A pesquisa foi estruturada em duas etapas principais: i) caracterização dos desastres hidrometeorológicos e geomorfológicos a partir dos registros da Defesa Civil (COORDENADORIA ESTADUAL DA DEFESA CIVIL, 2021) e a análise das precipitações pluviométricas deflagradoras dos desastres, utilizando os registros diários do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021) e da Agência Nacional de Águas, pelo portal HidroWeb (ANA, 2021); ii) estatísticas e cálculos de tempo de retorno e probabilidade de recorrência de desastres, conforme a categoria, sazonalidade, intensidade e impactos decorrentes, além das discussões sobre a suscetibilidade com ênfase nos condicionantes hidrogeomorfológicos. Os procedimentos operacionais foram realizados pelo software QGIS 3.22.

Na primeira etapa, inicialmente foram sistematizadas as ocorrências de desastre hidrometeorológicos ou hidrogeomorfológicos dos sete municípios do litoral paranaense (Antonina, Guaraqueçaba, Guaratuba, Matinhos, Morretes, Paranaguá e Pontal do Paraná), no período entre 01/01/1990 a 31/12/2020, com auxílio dos relatórios do portal da Coordenadoria Estadual da Defesa Civil do Paraná. Os registros anteriores, da década de 1980, contêm muitas lacunas e não foram considerados nas análises. O quadro 1 evidencia a tipologia dos desastres analisados, cuja nomenclatura adotada pela Defesa Civil segue a padronização da Cobrade (Classificação e Codificação Brasileira de Desastres), e a categorização em três grandes agrupamentos estabelecidos pela pesquisa: desastres hidrológicos, geomorfológicos e meteorológicos, a fim de salientar a prevalência dos condicionantes deflagradores.

Quadro 1 - Categorização e tipologia dos desastres hidrológicos, meteorológicos e geomorfológicos analisados.

Categorização dos desastres definida para a pesquisa	Registros da Defesa Civil (PR) analisados entre 1990 e 2020
Hidrológico	Alagamentos; Inundações; Enxurradas.
Geomorfológico	Corridas de Massa - Rocha/Detrimento; Corridas de Massa - Solo/Lama; Deslizamentos; Quedas, Tombamentos e Rolamentos - Blocos; Quedas, Tombamentos e Rolamentos - Matacões.
Meteorológico	Ciclones - Marés de Tempestade (Ressacas); Ciclones - Ventos Costeiros (Mobilidade de Dunas); Erosão Costeira/Marinha; Frentes Frias/Zonas de Convergência; Tempestade Local/Convectiva - Chuvas Intensas; Tempestade Local/Convectiva - Granizo; Tempestade Local/Convectiva - Tempestade de Raio; Tempestade Local/Convectiva - Tornados; Tempestade Local/Convectiva - Vendaval.

Fonte - Autores (2023).

Após a sistematização dos registros foi atribuído o volume de chuva deflagradora para cada ocorrência considerando o volume diário (mm/24h) e o volume acumulado em quatro dias (mm/96h), a fim de analisar a intensidade pluviométrica de iniciação (24h) e as condições antecedentes de saturação hídrica (96h),

utilizando-se o banco de dados de estações pluviométricas do INMET e ANA. Além da atribuição dos limiares deflagradores, os desastres do terceiro quartil foram caracterizados como eventos intensos. Para todos os municípios foi utilizada como referência a estação 83844 do INMET de Paranaguá, por ser a mais antiga em operação (desde 1925) e estar numa posição centralizada na área de estudo. Além desta, empregou-se pelo menos mais uma estação integrada à Rede Hidrometeorológica Nacional no acervo da ANA (HIDROWEB) para cada município, conforme códigos a seguir: estações 2548003 e 2548068 para Antonina; 2548023 e 2548042 para Guaraqueçaba; 2548052 e 2548053 para Guaratuba; 2548053 para Matinhos; 2548038 e 2548047 para Morretes; 2548049 para Paranaguá; 2548053 para Pontal do Paraná. Salienta-se que a atribuição dos limiares pluviométricos deflagradores foi estabelecida apenas para os desastres hidrológicos e geomorfológicos, visto que o principal agente deflagrador de desastres meteorológicos na região é a ação do vento e, nesse caso, os dados das estações supracitadas são incipientes para uma análise histórica consistente.

As correções dos registros foram necessárias em função da discordância de datas e/ou conceituação dos processos naturais que desencadearam o desastre, pois as informações são repassadas pelas prefeituras à Defesa Civil e comumente contêm erros e lacunas. A conferência de cada ocorrência, indispensável para a posterior definição dos limiares de chuva e estatísticas derivadas, foi realizada a partir de notícias em portais online ou, para os desastres mais antigos, em acervos de jornais impressos em consulta ao acervo da Biblioteca Pública do Paraná (BPP). As ocorrências discrepantes, considerando data e volume pluviométrico, que constam nos relatórios oficiais, foram desconsideradas das análises.

Considera-se que as ocorrências são subestimadas, pois muitos desastres não são oficialmente registrados e indicam inventários incompletos. Ressalta-se, ainda, que muitos desastres no litoral desencadeiam múltiplos processos morfodinâmicos, sobretudo aqueles de grande magnitude. Assim, embora a categorização considere o principal agente deflagrador e de maior consequência danosa à população, isso não elimina a possibilidade de outros tipos de desastre, de menor intensidade e de modo concomitante, em cada registro individualizado.

A partir da definição dos valores de chuvas deflagradoras de desastres foi calculada a frequência (F), o tempo de retorno (Tr) e a probabilidade de recorrência (Pr) conforme equações 1, 2 e 3, respectivamente, adaptadas de Collischonn e Dornelles (2015).

$$F = \frac{m}{n + 1} \quad \text{(equação 1)}$$

$$Tr = \frac{n + 1}{m} \quad \text{(equação 2)}$$

$$Pr = 1 - (1 - F)^t \quad \text{(equação 3)}$$

Em que m é a ordem do registro pluviométrico, n é o número de dias com registros pluviométricos, t é o número de anos a ser calculada a probabilidade de recorrência.

O método Kimball (F) mensura a frequência a partir de uma série histórica, com valores resultantes que variam de 0 (baixa frequência) a 1 (alta frequência). O tempo de retorno (Tr) resulta, a partir da série pluviométrica histórica, o tempo estimado para determinado volume pluviométrico – especificado, no presente trabalho, como chuva deflagradora de desastre. Para as probabilidades de recorrência (Pr), cuja equação mensura a probabilidade de ocorrência de determinado desastre num intervalo de tempo predeterminado (t), foram considerados os intervalos de 100, 75, 50, 25, 10, 5, 2 e 1 ano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização dos desastres hidrometeorológicos e geomorfológicos no litoral do Paraná entre 1990 e 2010

Foram analisadas e categorizadas 276 ocorrências no período de 30 anos (1990 e 2010) nos sete municípios que compõem a região litorânea paranaense. Deve-se considerar que o município de Pontal do

Paraná foi emancipado de Paranaguá em 1995 e, portanto, tem cinco anos a menos de registros contemplados pela pesquisa em relação às demais municipalidades. Na divisão de ocorrências por categorias de desastres (Figura 3), a maior porcentagem foi calculada para os eventos causados pelos fenômenos meteorológicos, com 50% do total, contabilizando 139 desastres, cujos danos são amplos em função da abrangência espacial do fenômeno e da exposição aos destelhamentos e quedas de árvores.

Os desastres meteorológicos tiveram predomínio em todos os municípios, com exceção de Morretes, onde sobressaíram os desastres hidrológicos com 19 ocorrências registradas (45,5% do total), já que a porção central do município está localizada na extensa planície de inundação do rio Nhundiaquara. As enxurradas são recorrentes em Morretes, pois as chuvas orográficas a montante nos divisores da Serra do Mar originam as enxurradas a jusante (atribuídas localmente como cabeças d'água) que atingem o centro do município no intervalo de, em média, até 2 horas.

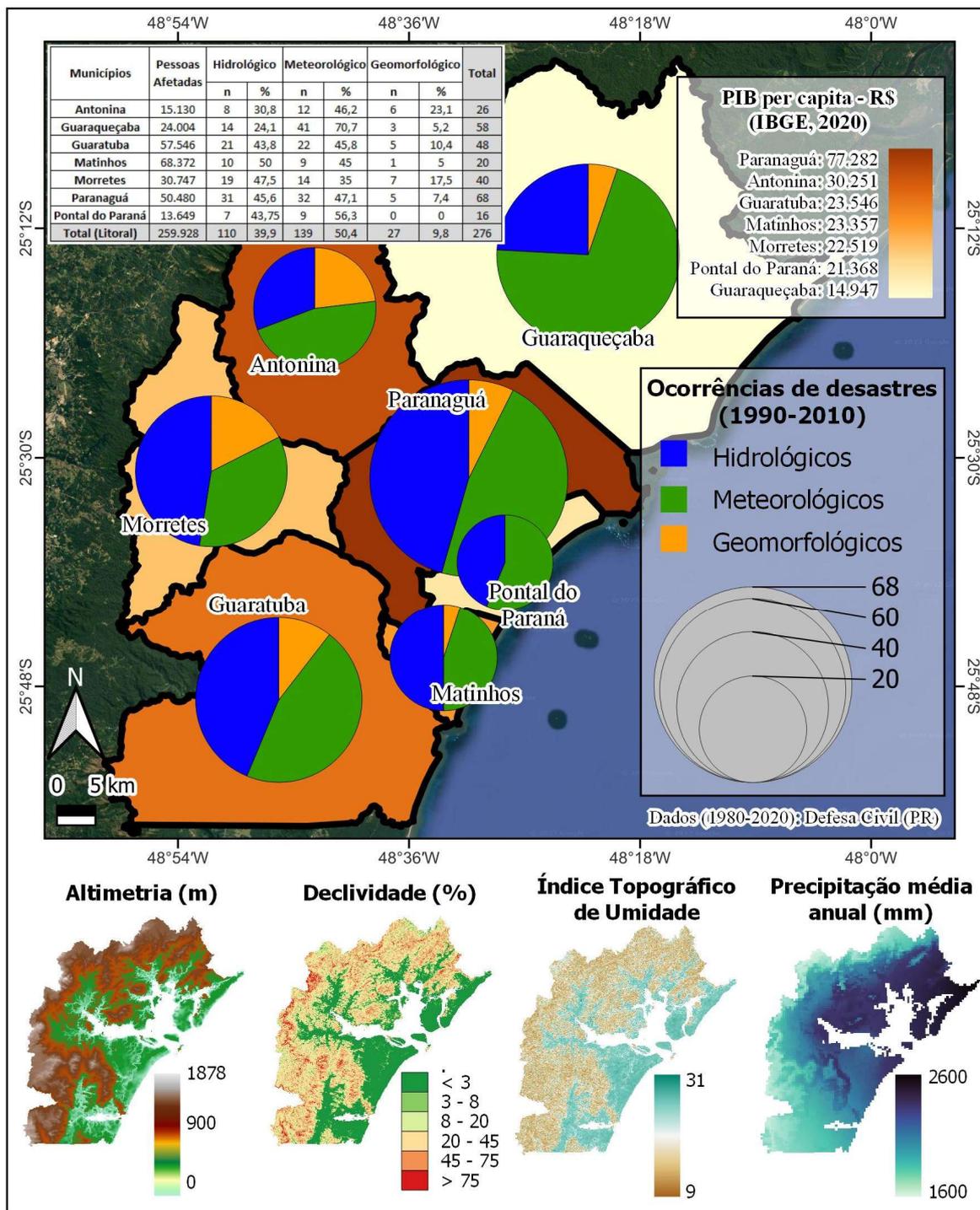
Os desastres hidrológicos tiveram 110 ocorrências (39,9%) e os geomorfológicos 27 (9,8%) na região litorânea. A Serra do Mar, que concentra as porções de maior suscetibilidade aos deslizamentos, corridas de detritos e processos morfodinâmicos afins, tem baixa densidade habitacional como consequência do aparato legal que limita a ocupação na região montanhosa. Além de ser tombada desde a década de 1980 (Lei Estadual nº 7.919/1984), a Serra do Mar contempla dois Parques Nacionais (Guaricana e Saint-Hilaire/Lange), quatro Parques Estaduais (Pico Paraná, Pico do Marumbi, Pau-Oco e Roberto Ribas Lange) e duas Áreas de Preservação Ambiental (Guaraqueçaba e Guaratuba).

Considerando que os desastres geomorfológicos têm elevado potencial destrutivo se comparado às demais categorias, destaca-se a importância da consideração da suscetibilidade a processos morfodinâmicos na Serra do Mar como instrumento ao ordenamento territorial e à prevenção de desastres, nas atualizações dos Planos Diretores Municipais. Pontal do Paraná foi o único a não registrar desastres geomorfológicos por estar integralmente no relevo de planície costeira com cotas altimétricas inferiores a 20 metros. Os cartogramas temáticos da Figura 3 evidenciam os principais condicionantes que atuam como agentes deflagradores dos desastres hidrogeomorfológicos.

Nos registros oficiais, a estatística de pessoas afetadas é bastante discrepante e suscita dúvidas. Paranaguá, com uma população estimada em 156.174 pessoas em 2020 (IBGE) e que teve o maior número de desastres durante o período analisado (1990-2020), com 68 ocorrências, consta pelos relatórios com 50.480 pessoas afetadas. Os municípios de Guaratuba e Matinhos, por sua vez, com populações estimadas em 37.527 e 35.219 pessoas e 48 e 20 desastres, respectivamente, tiveram, nas estatísticas oficiais, 57.546 e 68.372 pessoas afetadas. Da mesma forma que a baixa densificação da rede hidrometeorológica dificulta a caracterização dos desastres, as falhas, descuidos e a ausência de padronização metodológica pelas prefeituras nos registros podem induzir à propagação de erros em estudos direcionados. A Figura 3 traz o PIB per capita municipal para evidenciar que a predisposição natural (suscetibilidade) a um processo potencialmente danoso à população exposta (vulnerabilidade) resulta em níveis distintos de risco a desastres hidrometeorológicos ou geomorfológicos, vinculando a dinâmica físico-ambiental à capacidade de recuperação e resiliências dos grupos sociais atingidos.

Em relação à sazonalidade (Figura 4), os resultados apontaram que 56% dos desastres ocorreram no verão (alta temporada turística), 13% no outono, 10% no inverno e 19% na primavera. Embora esse resultado seja amplamente atestado pela literatura, a pesquisa realizada viabiliza quantificar e caracterizar a deflagração dos processos, cujos limiares são parâmetros fundamentais à prevenção de desastres e à modelagem de cenários preditivos. Tominaga et al. (2009) atribuem que as chuvas intensas e prolongadas no sul e sudeste do Brasil correspondem aos períodos chuvosos do verão. No litoral do Paraná, a média é de 350 mm no mês de janeiro, que é o mais chuvoso, enquanto no inverno a média varia de 80 mm a 150 mm (VANHONI; MENDONÇA, 2008). Verificou-se que diversos desastres são deflagrados por conta das chamadas "chuvas de verão", características dessa estação, geralmente causadas pela formação de nuvens cumulonimbus, consequentes pela saturação da temperatura aquecida durante o dia que geram intensas precipitações e muitas aguaceiros tropicais de fim de tarde (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). Os cartogramas da Figura 4 ilustram essa variação pluviométrica anual.

Figura 3 - Litoral do Paraná: Caracterização das ocorrências de desastres por categorias (1990-2020).

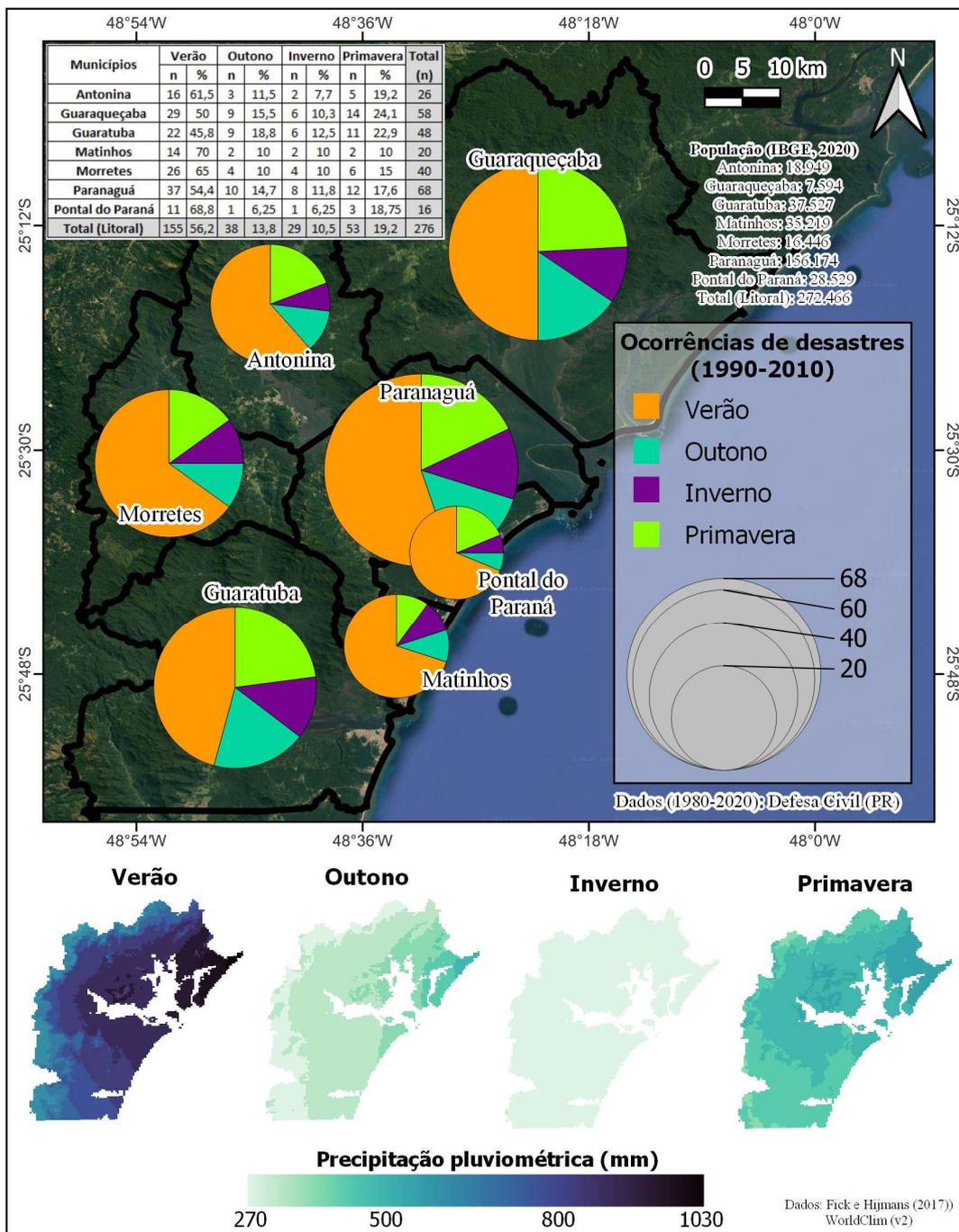


Fonte - Autores (2023).

Outro resultado foi a proporção semelhante de ocorrências no inverno, com valores baixos em todos os municípios e média de 10% do total das ocorrências no litoral. Os desastres do inverno, em sua maioria, foram registrados como tempestades locais/convectivas de vendaval ou granizo, ainda que constem registros de alagamentos nos municípios de Antonina, Morretes e Paranaguá. Isso se deve principalmente à passagem das frentes frias, com as rajadas de vento derivadas pelo gradiente barométrico (principal agente deflagrador de desastres meteorológicos), com as chuvas de grande intensidade e curta duração que excedem a capacidade de infiltração e ocasionam a extrapolação do leito vazante dos rios ou problemas

de drenagem urbana (desastres hidrológicos) ou com os sistemas frontais estacionários na costa que dispõem condição de saturação do solo pelo acumulado pluviométrico (desastres geomorfológicos).

Figura 4 - Litoral do Paraná: Sazonalidade das ocorrências de desastres (1990-2020).



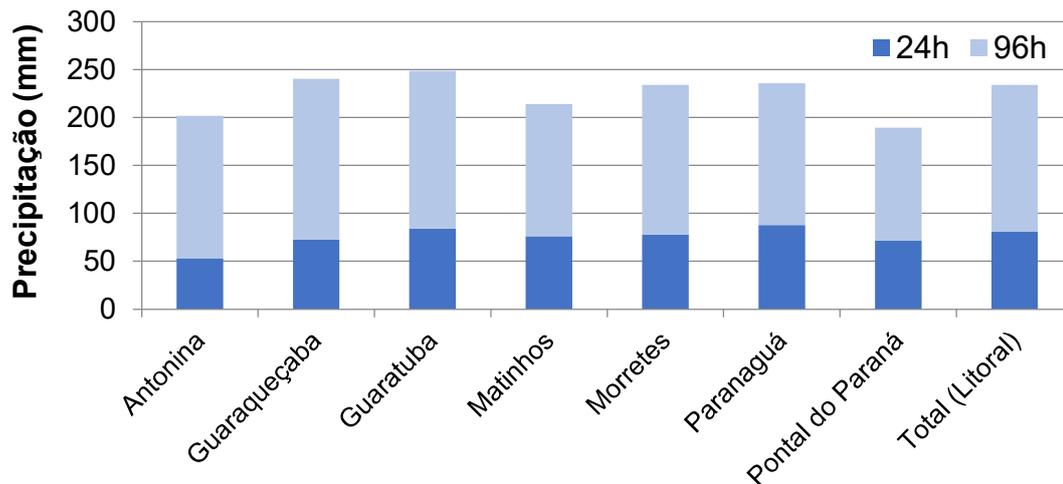
Fonte - Autores (2023).

Análise das chuvas deflagradoras de desastres hidrometeorológicos e geomorfológicos no litoral paranaense

Os resultados dos cálculos dos limiares pluviométricos para o período selecionado de 30 anos evidenciaram que a média de chuvas deflagradoras de desastres na região litorânea paranaense foi de 80,9 mm/24h e 153 mm/96h (Figura 5). O município com maior média no volume de chuva deflagradora em 24h foi Paranaguá, com 87,5 mm, e a menor média foi de Antonina, com 52,9 mm/24h. Isso se deve à proporção

superior de desastres geomorfológicos em relação aos demais municípios, os quais podem ser deflagrados com volumes inferiores aos desastres hidrológicos em função, sobretudo, das altas declividades dos morros de pré-serra que circundam a área urbana. Isso também justifica o fato de Antonina registrar a maior amplitude proporcional entre os valores pluviométricos de deflagração em 24h e 96h, já que o acumulado desponta como principal condicionante da saturação do solo que favorece os movimentos de massa. Pontal do Paraná, com predomínio de desastres hidrológicos, teve a menor amplitude proporcional entre as deflagrações em 24h e 96h, o que corrobora a observação.

Figura 5 - Média dos limiares pluviométricos deflagradores de desastres entre 1990 e 2010 nos municípios do litoral paranaense.

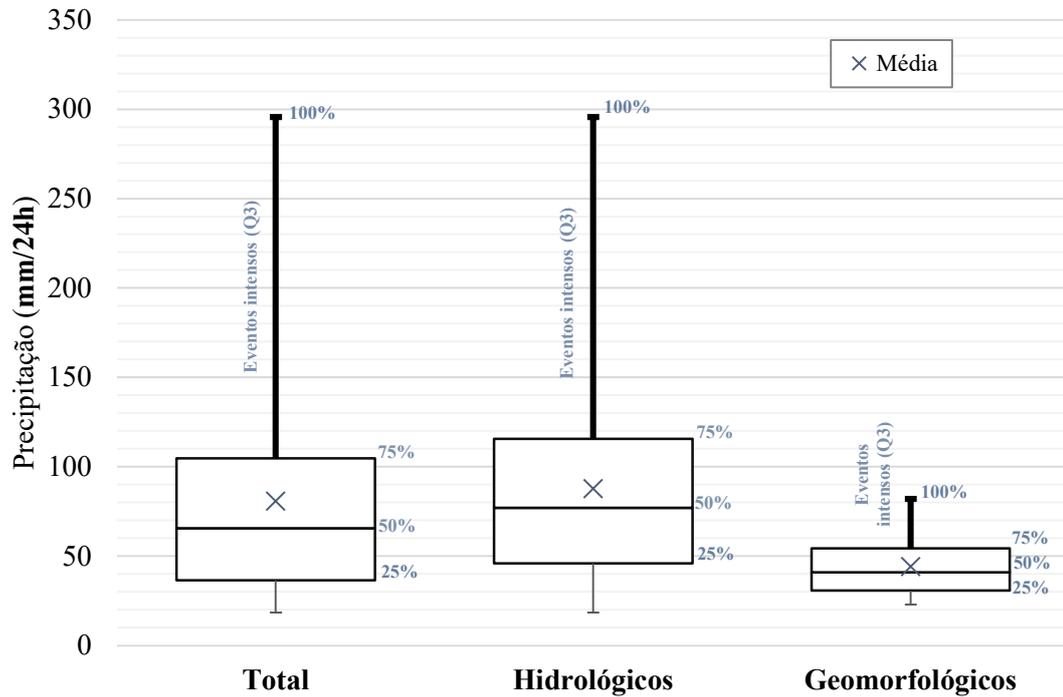


Fonte - Autores (2023).

Essa condição reforça a importância de avaliar as ocorrências a partir das características intrínsecas à iniciação e, como exemplo, a Figura 6 contém os resultados da pesquisa com a individualização categórica os desastres e os respectivos limiares pluviométricos em quartis. A média de chuva deflagradora em 24h foi de 87,9 mm para os desastres hidrológicos e de 44,3 mm para aqueles de prevalência geomorfológica, praticamente a metade do valor. A análise da intensidade pluviométrica (mm/15min ou mm/1h) como condicionante dos processos morfodinâmicos, tais como as quedas de blocos ou movimentos de massa em áreas de solo exposto, configura um desdobramento para estudos futuros. Além disso, conforme já mencionado, reforça-se novamente que muitos registros atribuídos nos relatórios oficiais como inundações e enxurradas, principalmente os severos e extremos, podem ocorrer em concomitância a processos geomorfológicos que não constam nas estatísticas inventariadas. Decorre daí o baixo valor máximo de deflagração dos desastres geomorfológicos na Figura 6, com 82,1 mm, que se atém a um deslizamento ocorrido em Guaratuba na data de 06/12/2020.

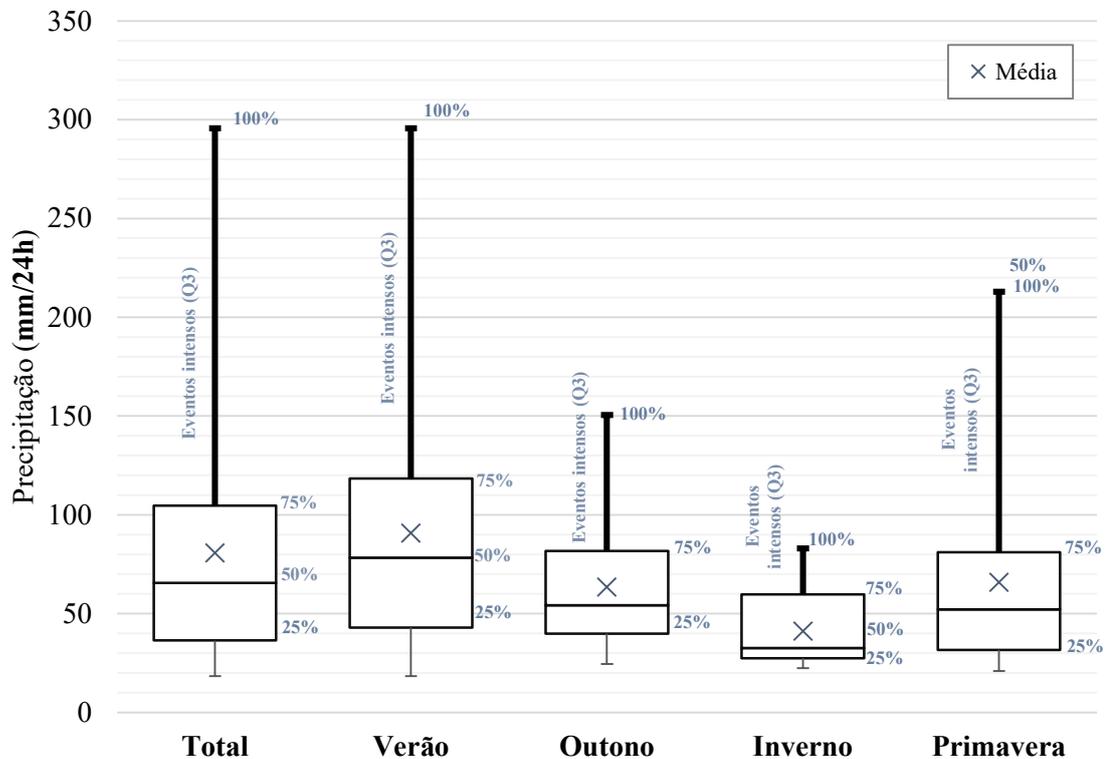
Nas análises de deflagração dos desastres por estação do ano em relação às precipitações pluviométricas diária (Figura 7), os resultados apontaram que o verão contabilizou as maiores chuvas em 24h, com média de 90,8 mm/24h e máxima de 295,5mm/24h. Já no inverno, período com os valores de iniciação reduzidos, a média foi de 41,3 mm/24h e máxima de 83,1 mm/24h. Observou-se a tendência sazonal nas outras estações do ano, pois o outono e primavera tiveram limiares médios calculados em 63,6 e 66,1, respectivamente. No acumulado em 96h, no entanto, há uma sutil mudança no padrão de deflagração, conforme ilustrado pela Figura 8. O verão continua como a estação de registros mais intensos, com média de 168,3 mm/96h e máxima de 407 mm/96h, mas a primavera (média de 104,6 mm/96h) e o outono (média de 130,9 mm/96h) tiveram valores inferiores ao acumulado deflagratório de desastres no inverno (média de 132,6 mm/96h). No inverno, portanto, o volume de chuva acumulado é mais relevante do que a intensidade pluviométrica e os sistemas meteorológicos de retenção da umidade têm grande influência nos processos decorrentes, onde a gradualidade prevalece.

Figura 6 - Chuvas (mm/24h) deflagradoras de desastres hidrológicos e geomorfológicos nos municípios do litoral do Paraná (1990-2020) por categoria.



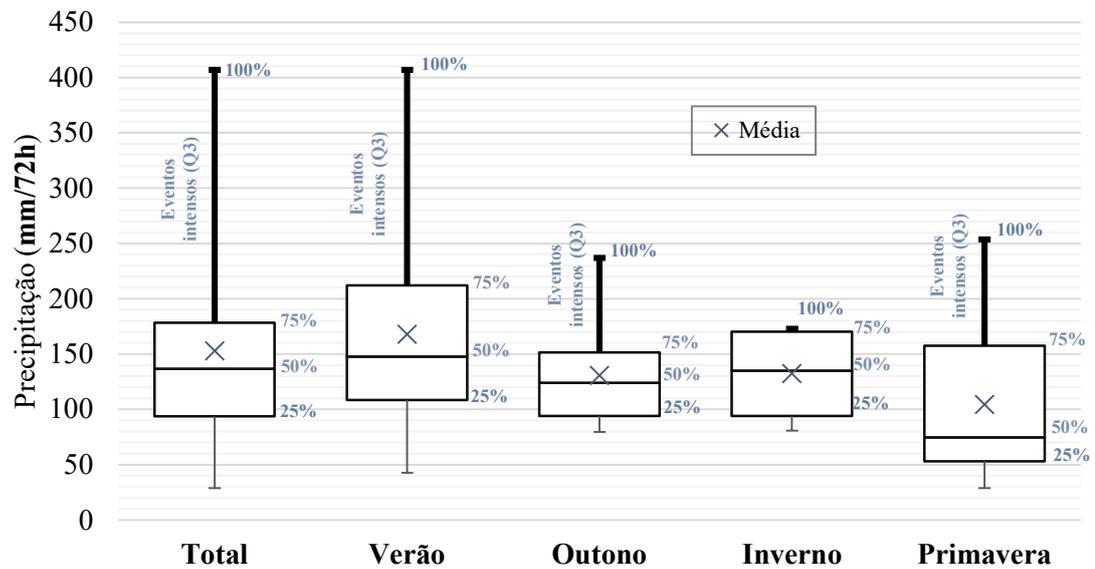
Fonte - Autores (2023).

Figura 7 - Chuvas (mm/24h) deflagradoras de desastres hidrológicos e geomorfológicos nos municípios do litoral do Paraná (1990-2020) por estação do ano.



Fonte - Autores (2023).

Figura 8 - Chuvas (mm/96h) deflagradoras de desastres hidrológicos e geomorfológicos nos municípios do litoral do Paraná (1990-2020) por estação do ano.



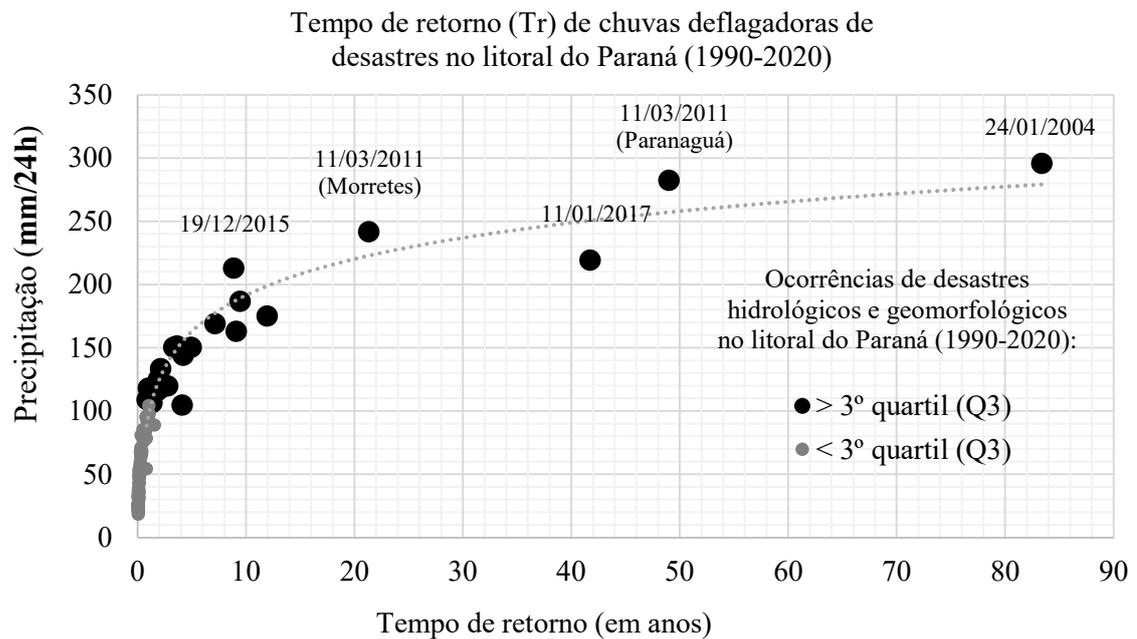
Fonte - Autores (2023).

Outro importante parâmetro contemplado pela pesquisa foi o cálculo de tempo de retorno (Figura 9), essencial para o diagnóstico preliminar da suscetibilidade atrelada ao fator temporal. Destacam-se as ocorrências de maiores volumes pluviométricos no período estudado (1990-2020), como o evento de 24/01/2004, registrado pelos relatórios da Defesa Civil como enxurradas. Segundo os dados pluviométricos do INMET, o volume atingido foi de 295,8 mm/24h e, de acordo com os cálculos estabelecidos, o tempo de retorno para essa precipitação foi de 83,3 anos. Os eventos intensos, definidos pelo 3º quartil das ocorrências analisadas, foram desencadeados com volumes de 104,6 mm/24h. O tempo de retorno para esse volume de chuva é de 1,2 anos (ou 440 dias) no centro de Paranaguá e de 1 ano nas estações próximas à porção serrana. Esse resultado evidencia que, mesmo com a subestimação dos registros, os desastres têm alta frequência com potencial de deflagração de eventos intensos anualmente. Os demais desastres, com chuvas deflagradoras abaixo do terceiro quartil, têm tempo de retorno médio de 104 dias. Ou seja, os desastres no litoral paranaense são notoriamente frequentes e não eventos episódicos e isolados.

Nas ocorrências do megadesastre de 11/03/2011, denominado “Águas de Março” pelo Poder Público, tanto Morretes quanto Paranaguá marcaram expressivos acumulados pluviométricos. Em Morretes, conforme quantificado a partir de dados da estação 2548038, próxima à área urbana do município, a chuva atingiu 282,6mm/24h, cujo tempo de retorno calculado pela pesquisa foi de 48,9 anos. O desastre, em Paranaguá, atingiu o volume de 241,8 mm/24h, o que representa, na estação 2548049 localizada nos sopés da Serra da Prata, tempo de retorno de 21,2 anos (Figura 9). Na estação 83844 do INMET, localizada no centro de Paranaguá, o tempo de retorno calculado com 241,8 mm/24h seria maior: 52,1 anos, por estar a mais de 15 km do local de deflagração dos deslizamentos, afastada e no contexto de planície litorânea.

Verificou-se que no ambiente montanhoso da Serra do Mar, sustentada por elevações que superam 1000 metros de amplitude altimétrica, o tempo de retorno calculado foi gradualmente menor do que na Planície Litorânea. A topografia, assim, condiciona maior frequência à deflagração devido à retenção da umidade pelas massas de ar. A ausência de estações pluviométricas com séries históricas nas maiores elevações da Serra do Mar – local de maior suscetibilidade aos deslizamentos translacionais e iniciação de corridas de detritos – inviabiliza a compreensão do efeito orográfico e da consequente quantificação dos limiares deflagradores nas porções mais importantes sob a perspectiva da gênese dos processos, das áreas fontes do aporte sedimentar e dos fluxos que originam as enxurradas.

Figura 9 - Tempo de retorno (T_r) de chuvas deflagradoras de desastres no litoral do Paraná (1990-2020).



Fonte - Autores (2023).

A fim de detalhar a variável temporal vinculada à iniciação dos desastres hidrológicos e geomorfológicos na região, os cálculos de probabilidade de recorrência foram feitos com estimativas de 1 a 100 anos. A Figura 10 apresenta exemplos dos registros plotados e as respectivas porcentagens de que um desastre com acumulado pluviométrico equivalente ocorra novamente em pelo menos 1, 5 ou 10 anos. Os resultados desse gráfico contemplam o conjunto de estações, sendo representadas aquelas que estão instaladas nos municípios de deflagração ou, no caso de desastres abrangentes, aquelas que tiveram o maior valor de chuva. As linhas de tendência da correlação entre precipitação e probabilidade de recorrência, apresentadas nos gráficos, são lineares e expõem uma projeção para futuras ocorrências a partir de retroanálise, visto que os dados de entrada dos modelos correspondem aos limiares deflagradores de eventos pretéritos, conforme detalhado na metodologia. Tem-se, nessa abordagem, o passado como referência para o estabelecimento de prognósticos. A retroanálise utiliza parâmetros e valores de desastres já ocorridos, amparando-se “no resgate histórico das variáveis que influenciaram a sua ocorrência como tentativa de mitigá-los e preveni-los” (CORRÊA et al., 2017, p. 4164). Assim, as ocorrências dispostas na Figura 10 representam um panorama dos desastres entre 1990 e 2020 que, por sua vez, podem favorecer a compreensão das características de iniciação de eventos futuros.

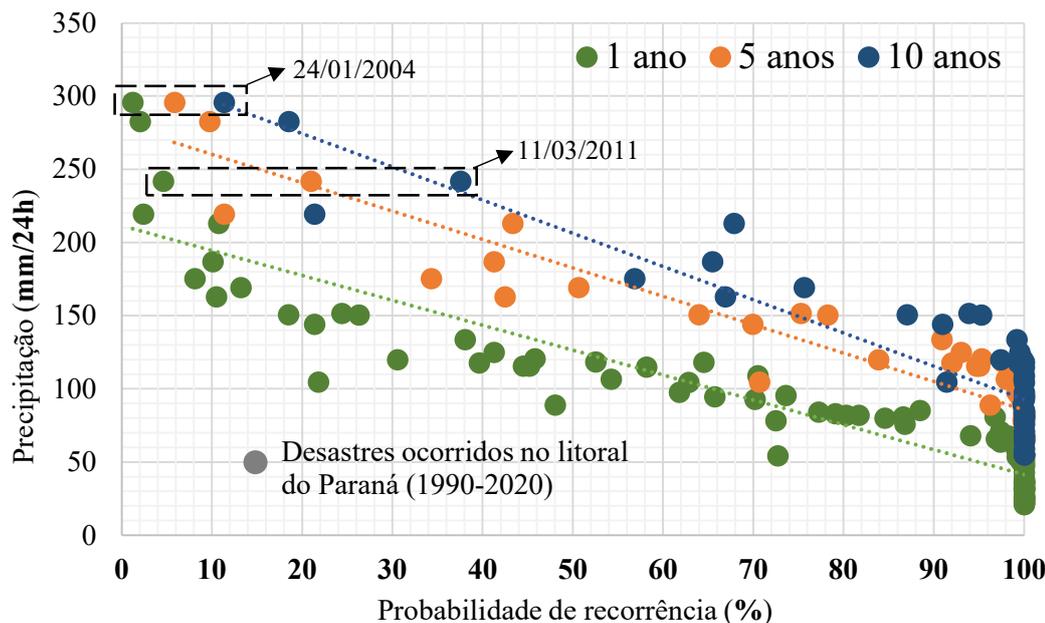
Considerando os desastres de maior magnitude, tem-se que o evento de 24/01/2004 tem 1,1% de ocorrer anualmente, 11,3% de se repetir a cada década e 69,88% de ser registrado ao menos uma vez por século. O desastre de 11/03/2011, considerando a estação mais próxima da Serra da Prata (estação 2548049), tem probabilidade de recorrência anual de 4,59%, de 20,9% em 5 anos, 37,5% em 10 anos, 83,4% em 50 anos e 90,9% em 100 anos. Tais estimativas viabilizam ações no campo da prevenção, preparo e alerta, além do reconhecimento da variabilidade têmporo-espacial dos desastres na região.

Ao listar os dez maiores desastres em volume pluviométrico de deflagração entre 1990 e 2020 (Quadro 2), os respectivos acumulados diários (mm/24h) mensurados pelas estações mais próximas à origem dos processos foram comparados ao tempo de retorno e à probabilidade de recorrência equivalentes na estação 83842 do INMET em Paranaguá. Essa é a estação mais antiga em operação do litoral paranaense, além de estar numa posição centralizada da região e servir como referência geral para as análises. Note-se que todos ocorreram, com exceção de poucos dias, no verão. Ressalta-se que os eventos intensos tratados na presente pesquisa, definidos pelo 3º quartil das ocorrências analisadas, foram desencadeados com volumes de 104,6 mm/24h e 178,4 mm/96h.

Com grandes acumulados de chuva, normalmente há uma complexa interação de processos que potencializam os eventos danosos. Em ambiente serrano, os materiais de deslizamentos translacionais dos terços superiores das vertentes são transportados pelas corridas de detritos, somados aos materiais de

deslizamentos rotacionais no terço médio das vertentes e margens de rios encaixados em vales declivosos e remobilização dos depósitos coluvionares. Ainda que as montanhas em si tenham baixa ocupação no Paraná, os terços inferiores das vertentes têm muitas comunidades estruturadas, concentram a maior hierarquia da rede viária, equipamentos turísticos e forte pressão da especulação imobiliária, além de ser muito utilizada para fins agrícolas. E são essas porções, na interseção entre as montanhas da Serra do Mar e a planície litorânea, que estão mais suscetíveis aos efeitos dos fluxos a montante e da abrupta variação de energia dos processos degradacionais e agradacionais, condizente à natureza geológica regional e aos efeitos da erosão diferencial na configuração do relevo local.

Figura 10 - Probabilidade de recorrência de desastres hidrológicos e geomorfológicos em relação ao acumulado de chuva (mm/24h) nas estações mais próximas à deflagração dos desastres.



Fonte - Autores (2023).

Quadro 2 - Resultados da quantificação para os dez maiores desastres registrados em volume pluviométrico.

Data do desastre	Precipitação*		Tempo de retorno (em anos)	Probabilidade de recorrência** (%)							
	mm/24h	mm/96h		Em 1 ano	Em 2 anos	Em 5 anos	Em 10 anos	Em 25 anos	Em 50 anos	Em 75 anos	Em 100 anos
24/01/2004	295,8	350,2	83,3	1,2	2,4	5,8	11,3	25,9	45,1	59,3	69,9
11/03/2011	241,8	387	52,1	1,8	3,5	8,6	16,3	35,5	57,5	71,4	80,4
11/01/2017	219,4	287,4	41,7	2,4	4,7	11,3	21,3	45,1	69,9	83,5	90,9
19/12/2015	213	213	27,8	3,5	6,9	16,5	30,2	59,3	83,5	93,3	97,3
23/02/2008	186,9	200,1	13,9	6,9	13,4	30,2	51,3	83,5	97,3	99,5	99,9
08/02/1995	175,3	237,3	11,9	8,1	15,5	34,3	56,8	87,8	98,5	99,8	100,0
24/02/2010	169,2	169,5	10,4	9,2	17,5	38,1	61,7	90,9	99,2	99,9	100,0
11/03/2017	151,6	297,5	5,6	16,5	30,2	59,3	83,5	98,9	100,0	100	100
22/03/2005	150,6	202,6	5,2	17,5	31,9	61,7	85,3	99,2	100,0	100	100
05/01/2019	150,4	241,2	4,9	18,5	33,5	63,9	87,0	99,4	100,0	100	100

* Valor registrado na estação pluviométrica mais próxima da deflagração do processo.

** Calculada com base na estação 83844/INMET (Paranaguá).

Fonte - Autores (2023).

Em ambiente costeiro, que concentra a maior densidade demográfica dos municípios, sobretudo na temporada de verão, os alagamentos (associados à impermeabilização do solo e problemas de drenagem urbana) e as inundações representam as principais ocorrências hidrológicas. Tais desastres são potencializados em combinação, por exemplo, às marés astronômicas ou meteorológicas que dificultam o escoamento das águas em preamar e incrementam a contenção de água no pós-praia, nas planícies de inundação e nas planícies estuarinas. Devido à exposição das edificações e dos sistemas atmosféricos associados, comumente os desastres hidrológicos são antecedidos por desastres meteorológicos que, como apresentado na pesquisa, são predominantes nas estatísticas do litoral paranaense.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização dos desastres hidrometeorológicos e geomorfológicos ocorridos no litoral paranaense evidenciou a relação entre a compartimentação do relevo, o regime pluviométrico, o comportamento sazonal e a recorrência de processos hidrogeomorfológicos. Ressalta-se a importância de associar os condicionantes deflagratórios de desastres à dinâmica dos fenômenos naturais, como proposto pela pesquisa, visto que a simplificação teórico-metodológica dificulta o avanço e propaga inconsistências que chegam nos mapeamentos e ações pragmáticas de gestão. Tratar todos os desastres como consequência direta de mudanças climáticas sem, no entanto, testar a hipótese com ferramental estatístico ou conceitual condizente, por exemplo, expõe um erro corriqueiro em análises recentes. No litoral brasileiro, a especulação imobiliária avança em proporção superior a quaisquer taxas de retrogradação marinha. Assim, no âmbito dos desastres naturais, a compreensão sobre a dinâmica do transporte e balanço sedimentar oriundos da corrente de deriva litorânea tem tanta importância quanto as análises sobre agentes do capital atuantes na instalação de empreendimentos em áreas suscetíveis. O risco, definido pela probabilidade de consequências danosas como resultado da interação entre perigos naturais (susceptibilidade) e a exposição de grupos sociais (vulnerabilidade), pode encontrar nos fenômenos climatológicos e geomorfológicos uma explicação para a origem e, também, uma terceirização das responsabilidades.

Os valores pluviométricos de deflagração apresentados pela pesquisa podem derivar assinaturas de iniciação de processos morfodinâmicos que, por sua vez, podem complementar sistemas mais abrangentes em consonância a variáveis e parâmetros de outros fatores envolvidos na gênese de fenômenos com potencial danoso. Tais limiares quantitativos auxiliam na compreensão dos agentes desencadeadores no âmbito local, além de serem importantes referenciais para subsidiar modelos de prevenção e alerta. Decorre daí a importância da sistematização de inventários de desastres com amplitude temporal e correta caracterização dos parâmetros de iniciação e dos impactos derivados. A proposta metodológica apresentada é aberta e, portanto, oportuniza complementação em estudos futuros.

REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional das Águas. **HIDROWEB v3.2.7**. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 31/01/2021.
- ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, n.28, v.2, p.135-155, 1998. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.1998135150>
- ANGULO, J. A. mapa do cenozóico do litoral do estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 55, p. 25-42, 2004. <https://doi.org/10.5380/geo.v55i0.4281>
- BESSA JUNIOR, O.; DOUSTDAR, N. M.; CORTESI, L. A. Vulnerabilidade de municípios do Paraná aos riscos de desastres naturais. **Caderno IPARDES**, v.1, n.1, p. 82-100, 2011.
- CHENG, W.; WANG, N.; ZHAO, M.; ZHAO, S. Relative tectonics and debris flow hazards in the Beijing mountain area from DEM-derived geomorphic indices and drainage analysis. **Geomorphology**, v. 257, p. 134–142, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.01.003>
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: ABRH, 2015.
- COMERLATO, T. **Proposta metodológica para mapeamento geomorfológico da porção central da planície costeira do Paraná**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2022.

COORDENADORIA ESTADUAL DA DEFESA CIVIL. **Relatório de ocorrências de desastres naturais (SISDC)**. Disponível em:

http://www.sisdc.pr.gov.br/sdc/publico/relatorios/ocorrencias_geral.jsp. Acesso em: 31/01/2021.

CORRÊA, C. V. S.; REIS, F. A. G. V.; GIORDANO, L. C.; GABELINI, B. M.; CERRI, R. I.; CHAVES, C. J. **Cicatrizes de escorregamento como subsídio a estudos de retroanálise: aplicação em Caraguatatuba e São Sebastião (SP)**. In: Anais do II Congresso de Redução de Riscos e Desastres (II CBRRD), Rio de Janeiro, p. 4162-4173, 2017. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2599>

DIAS, M. C. A.; SAITO, S. M.; ALVALA, R. C. S.; STENNER, C.; PINHO, G.; NOBRE, C. A.; LIMA, C. O.; FONSECA, M. R. S.; SANTOS, C.; AMADEU, P.; SILVA, D.; LIMA, C. O.; RIBEIRO, J.; NASCIMENTO, F.; CORRÊA, C. O. Estimation of exposed population to landslides and floods risk areas in Brazil, on an intra-urban scale. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, n. 3, p. 449–459, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.06.002>

ELY, D. F.; DUBREUIL, V. Análise das tendências espaço-temporais das precipitações anuais para o estado do Paraná - Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 553-569, 2017. <https://doi.org/10.5380/abclima.v21i0.48643>

FERENTZ, L. M. S.; GARCIAS, C. M. Panorama estadual de eventos extremos no litoral do Paraná: 40 anos do registro de desastres nas cidades. **Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental**, v. 26, p. 728-750, 2021.

FICK, S.E; HIJMANS R. J. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology** 37 (12): 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da população: 2020**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em: 20/01/2021.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **BDMEP: Banco de dados meteorológicos**. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>; Acesso em: 31/01/2021.

KOBIYAMA, M. (Org.). **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Florianópolis: Ed. Organic Trading, 2006.

LEE, S., Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26 (7), p. 1477–1491, 2005. <https://doi.org/10.1080/01431160412331331012>

OLIVEIRA, L. M. Guia de prevenção de acidentes geológicos urbanos. Curitiba: Mineropar, 1998.

PAZ, O. L. S.; PAULA, E. V. Alluvial plain morphostratigraphy affected by recent mud and debris flows: a study in the Jacaré River basin (southern coast of Brazil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, p. 1978-1999, 2022a. <https://doi.org/10.20502/rbg.v23i4.2206>

PAZ, O. L. S.; PAULA, E. V. Sedimentologia e reconstituição volumétrica de depósitos de corridas de lama em planície aluvial: estudo na bacia do rio Jacaré, Paraná. **Sociedade & Natureza**, v. 34, p. 1, 2022b. <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-64381>

PINHEIRO, E. G.; GARCIAS, C. M. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, v.35, n.126, p.207-222, 2014.

SILVA, E. L. P.; SILVA, M. H. C. R.; MENDONÇA, F. A. Histórico e projeção de inundações repentinas em Morretes-Paraná-Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 31, p. 362-383, 2022. <https://doi.org/10.55761/abclima.v31i18.15780>

SILVEIRA, C. T.; FIORI, A. P.; FERREIRA, A. M.; GÓIS, J. R.; MIO, G.; SILVEIRA, R. M. P.; MASSULINI, N. E. B.; LEONARDI, T. M. H. Emprego de atributos topográficos no mapeamento da susceptibilidade a processos geoambientais na bacia do rio Jacaré/Paraná. **Sociedade & Natureza**, v. 24, p. 623-639, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000300014>

SILVEIRA, C. T.; FIORI, A. P.; SCHILIPACK, P.; DIAS, S. M. Mapeamento preliminar da susceptibilidade natural a movimentos de massa da Serra do Mar Paranaense apoiado na análise digital do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, p. 3-22, 2014. <https://doi.org/10.20502/rbg.v15i1.366>

SILVEIRA, R. M. P. **Proposta metodológica para mapeamento geomorfológico com uso da análise digital do relevo no estado do Paraná**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

SILVEIRA, R. M. P.; HORNIG, M. J.; SOUZA, A. L. **Projeto Desastres Naturais no Paraná**. Curitiba: Editora IFPR, 2022.

TAKAHASHI, T. Estimation of potential debris flows and their hazardous zones: soft countermeasures for a disaster. **Journal of Natural Disaster Science** 3 (1), p. 57-89, 1981.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 3ª ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2015.

UNISDR. **Reducción del Riesgo de Desastres**. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas. Ginebra, Suiza, 2009.

VANHONI, F. MENDONÇA, F. O clima do litoral do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, p.49-63, 2008. <https://doi.org/10.5380/abclima.v3i0.25423>

WEI, Z. L.; XU, Y. P.; SUN, H. Y.; XIE, W.; WU, G. Predicting the occurrence of channelized debris flow by an integrated cascading model: A case study of a small debris flow-prone catchment in Zhejiang Province, China. **Geomorphology**, v. 308, p. 78-90. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.01.027>

ZAI, C.; GRASSO, L.; SILVEIRA, C. T.; GUARNIERI, D. P. Impactos socioambientais por movimentos de massa na comunidade de Floresta, região da Serra do Mar paranaense. **Caminhos da Geografia**, v. 18, p. 19-32, 2017. <https://doi.org/10.14393/RCG186102>

Recebido em: 11/03/2023

Aceito para publicação em: 31/05/2023