

ESCORREGAMENTOS NO ESTADO DE PERNAMBUCO

<https://doi.org/10.4215/rm2022.e21003>

Joaquim Pedro de Santana Xavier ^{a*} - Fabrizio de Luis Rosito Listo ^b - Tullius Dias Nery ^c

(a) Mestre em Geografia. Universidade Federal de Pernambuco, Recife (PE), Brasil.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9232-148X>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/6104125870943008>.

(b) Doutor em Geografia. Universidade Federal de Pernambuco, Recife (PE), Brasil.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2664-1442>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/3819813007615396>.

(c) Doutor em Geografia. Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), Brasil.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8940-9042>. **LATTES:** <http://lattes.cnpq.br/2775245336551586>.

Article history:

Received 01 September, 2021

Accepted 12 October, 2021

Published 15 March, 2022

(*) CORRESPONDING AUTHOR

Address: UFPE, Cidade Universitária. CEP: 50670901. Recife (PE), Brazil. Phone: (+55 81) 21268000

E-mail: xavier.joaquimps@gmail.com

Resumo

Embora sejam recorrentes as ocorrências de perdas sociais, econômicas e vítimas fatais causadas por escorregamentos em Pernambuco, há de se considerar que existe uma lacuna quanto à sistematização de informações relativas a estes processos em uma base espacial georreferenciada na escala estadual, principalmente, quanto à localização e aos tipos de fatores condicionantes deflagradores. O objetivo do presente trabalho consiste em avaliar a ocorrência de escorregamentos no estado de Pernambuco, seus fatores condicionantes e áreas mais atingidas. Para tanto, foi elaborado um Banco de Dados Geográfico (BDG) e mapa de inventário a partir da captura de escorregamentos no estado, entre 1988 e 2019, tanto por meio de fontes secundárias quanto primárias. Por fim, todas as ocorrências foram catalogadas em planos de informação, vetorizadas em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) e correlacionadas com variáveis temáticas dos principais fatores condicionantes. Foram inventariados 3.138 escorregamentos em Pernambuco, que permitiram a verificação de padrões de comportamento quanto à ocorrência destes processos no estado. A formação dessa base espacial georreferenciada poderá contribuir no melhor conhecimento sobre a incidência destes processos e, assim, subsidiar o estabelecimento de metodologias e estratégias investigativas relacionadas a esta temática.

Palavras-chave: Inventário; Banco de Dados; Movimentos de Massa; Nordeste do Brasil.

Abstract / Resumen

LANDSLIDES IN THE STATE OF PERNAMBUCO

Even though the occurrences of social and economic losses and fatal victims caused by landslides in Pernambuco are recurrent, one must consider that there is a gap in the systematization of information pertaining to such processes in a georeferenced spatial database at a state level, especially with regard to the location and types of triggering conditioning factors. This work is intended to evaluate the occurrence of landslides in the state of Pernambuco, the conditioning factors thereof, and the most affected areas. For such, a Geographic Database (Banco de Dados Geográfico - BDG) and an inventory map were created, based on the capture of landslides in the state between 1988 and 2019, both through secondary and primary sources. Lastly, all of the occurrences were catalogued in information plans, vectorized in a GIS (Geographic Information System) environment and correlated with thematic variables of the main conditioning factors. 3,138 landslides in Pernambuco were inventoried, which enabled the verification of behavior patterns regarding the occurrence of said processes in the state. The formation of this georeferenced spatial database may contribute to better understand the incidence of these processes, and thus subsidize the establishment of investigative methodologies and strategies related to the subject.

Keywords: Inventory; Database; Mass Movements; Northeastern Brazil.

DESIZAMIENTOS EN EL ESTADO DE PERNAMBUCO

Aunque son recurrentes las ocurrencias de pérdidas sociales, económicas y víctimas fatales por deslizamientos de tierra en Pernambuco, se debe considerar que existe un vacío en la sistematización de la información relacionada con estos procesos en una base espacial georreferenciada a escala estatal, principalmente en lo que se refiere a la ubicación y los tipos de factores condicionantes desencadenantes. El objetivo de este trabajo es evaluar la ocurrencia de deslizamientos de tierra en el estado de Pernambuco, sus condicionantes y las áreas más afectadas. Para eso, se creó una Base de Datos Geográfica (BDG) y un mapa de inventario a partir de la captura de deslizamientos de tierra en el estado entre 1988 y 2019, tanto a través de fuentes secundarias como primarias. Finalmente, todas las ocurrencias fueron catalogadas en planes de información, vectorizadas en un ambiente SIG (Sistema de Información Geográfica) y correlacionadas con variables temáticas de los principales condicionantes. En Pernambuco se inventariaron un total de 3,138 deslizamientos de tierra, lo que permitió verificar patrones de comportamiento ante la ocurrencia de estos procesos en el estado. La formación de esta base espacial georreferenciada puede contribuir a una mejor comprensión de la incidencia de estos procesos y, así, subsidiar el establecimiento de metodologías y estrategias de investigación relacionadas con esta temática.

Palabras-clave: Inventario; Banco de datos; Movimientos de Masas; Nordeste de Brasil.

INTRODUÇÃO

A ligeira urbanização dos países em desenvolvimento contribuiu para a proliferação de moradias em encostas íngremes, mormente de forma indevida, intensificando a ocorrência de escorregamentos, resultando na expansão de áreas de risco e causando a destruição de moradias com muitos danos econômicos e vítimas fatais (AYALA, 2002; NATENZON e RÍOS, 2015, LISTO et al., 2021). Somente para o Brasil, estima-se uma população de aproximadamente 8.266.000 habitantes em áreas de risco a escorregamentos e a inundações em 825 municípios no país (IBGE, 2018a; ALVALÁ et al., 2019).

No Nordeste do Brasil, em linhas gerais, os estados de Pernambuco e da Bahia sobressaem-se quando à deflagração de movimentos de massa. Juntos, ambos concentraram 89,5% destes processos desde 1991 (CEPED/UFSC, 2013; SANTOS et al., 2018). Nesse contexto, Pernambuco apresenta uma variedade longitudinal de usos e ocupações de terra muito influenciadas pelas questões geomorfológicas e climáticas. O estado apresenta uma diversidade de paisagens e de contrastes ambientais cujos processos morfodinâmicos, especialmente as erosões e os escorregamentos, atuam amplamente em todo o território, tanto em áreas úmidas quanto semiáridas. Somente na Região Metropolitana do Recife (RMR), por exemplo, os municípios de Recife, de Jaboatão dos Guararapes, de Ipojuca e de Igarassu localizam-se entre os 10 com maior população residente em áreas de risco a escorregamentos no Brasil onde há muitos núcleos habitacionais precariamente instalados em terrenos suscetíveis (IBGE, 2018a).

Embora sejam recorrentes as ocorrências de perdas sociais, econômicas e vítimas fatais causadas por escorregamentos em Pernambuco, há de se considerar que existe uma lacuna quanto à sistematização de informações relativas a estes processos em uma base espacial georreferenciada na escala estadual, principalmente, quanto à localização e aos tipos de fatores condicionantes deflagradores. No entanto, este tipo de base permite que análises possam ser realizadas para melhor compreensão do problema, oportunizando a elaboração de modelos preditivos. Além disso, facilita o ordenamento e o planejamento territorial e a minimização de perdas em função de processos catastróficos, entre outros benefícios, tais como, a padronização de informações e de sistemas de monitoramento, de previsão e de alerta.

A construção de um banco de dados para movimentos de massa, entre eles, os escorregamentos, deve considerar a sua finalidade e a extensão da área de interesse, que por sua vez, define as técnicas de obtenção e a qualidade geral do dado (GUZZETTI et al., 2000; GUZZETTI et al., 2012). Bancos de dados em âmbitos globais e continentais costumam ter como objetivo a avaliação do impacto de escorregamentos, priorizando informações como tipo e magnitude do evento, número de vítimas, danos à sociedade, entre outros, geralmente com menor precisão temporal e espacial.

Aproximações de inventários globais integrados a bancos de dados puderam ser vistos nos trabalhos de Kirschbaum et al. (2010) e de Kirschbaum, Stanley e Zhou (2015). O primeiro buscou descrever uma metodologia para catalogar escorregamentos de forma sistemática (escala global) utilizando informações midiáticas, assim como, relatórios em tempo real dos anos de 2003, de 2007 e de 2008 com processos registrados em 44, 60 e 67 países, respectivamente (KIRSCHBAUM et al., 2010). Por sua vez, Kirschbaum, Stanley e Zhou (2015) elaboraram um catálogo global de escorregamentos on-line (Global Landslide Catalog) deflagrados por chuvas intensas entre 2007 e 2013, com dados provenientes de relatos midiáticos, bancos de dados secundários, produções científicas, entre outros. Tal catálogo reuniu 5.741 ocorrências de escorregamentos, divididos em eventos com e sem fatalidades, em 124 países e territórios (KIRSCHBAUM, STANLEY e ZHOU, 2015).

Na escala nacional, ressaltam-se os trabalhos de Pereira et al. (2014) na região norte de Portugal (banco de dados de escorregamentos do norte de Portugal) com registros desde 1900 a 2010; de Pennington et al. (2015) a partir da criação da base de dados nacional de escorregamentos (National Landslide Database) da Grã-Bretanha, contendo mais de 17.000 registros de escorregamentos em encostas naturais e artificiais e o trabalho de Calvello e Pecoraro (2018), intitulado *FraneItalia* (deslizamentos na Itália), que utilizaram informações midiáticas entre 2010 e 2017. Estes trabalhos reuniram, em linhas gerais, uma maior quantidade de informações derivadas de fontes midiáticas e acadêmicas, tais como, início e duração dos escorregamentos, características do processo, consequências, entre outros. Geralmente, apresentam melhor precisão temporal, mas são mais imprecisos quanto à localização e à geometria dos eventos em nível de detalhe.

No Brasil, o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), criou o Sistema

Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD) em 2012, objetivando melhorar o gerenciamento de ações estratégicas, de preparação e de resposta a desastres em território nacional. O sistema concentra, em nível federal, informações sobre desastres, do qual, em Pernambuco foram registrados 36 escorregamentos. Ainda nesse tocante, o Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) produziu o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais de 1991 a 2012 (CEPED/UFSC, 2013). O mesmo registrou 24 escorregamentos em todo o estado de Pernambuco no período avaliado. Iniciativas locais também devem ser mencionadas, sobretudo àquelas derivadas dos bancos de dados das Defesas Civas Municipais, tais como, das cidades de Recife e de Jaboatão dos Guararapes (RMR/PE), que, anualmente, registram escorregamentos (data de ocorrência, endereço, descrição do evento e ações de monitoramento, remoção e/ou interdição de moradias).

Galli et al. (2008), Kirschbaum et al. (2010), Parise (2001), Guzzetti et al. (2012), Pereira et al. (2014) e Calvello e Pecoraro (2018) ressaltam que bancos de dados podem ser preparados para múltiplos escopos: (i) documentar a extensão dos processos; (ii) investigar sua distribuição, tipos e padrões em relação às características morfológicas e geológicas; (iii) permitir a melhor compreensão da evolução das paisagens dominadas por processos e (iv) constituir-se como uma etapa preliminar em relação às avaliações de suscetibilidade, de perigo e de risco, essenciais para uma melhor tomada de decisão e para o ordenamento e o planejamento de ações humanas no território. Na maioria das vezes são, geralmente, associados a SIGs (Sistema de Informações Geográficas), constituindo um Banco de Dados Georreferenciado (BDG), unindo informações geoambientais, tais como, elevação, declividade, geologia, cobertura pedológica e uso da terra (agentes deflagradores dos escorregamentos). Este tipo de coleta proporciona a avaliação espacial do fenômeno em diferentes contextos ambientais, auxiliando na identificação de ocorrências e, conseqüentemente, na localização de áreas cujo monitoramento é prioritário. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho consiste em avaliar a ocorrência de escorregamentos no estado de Pernambuco, seus fatores condicionantes e áreas mais atingidas.

ÁREA DE ESTUDO: ESTADO DE PERNAMBUCO

Pernambuco localiza-se inteiramente na região intertropical e possui altitudes máximas de 1200 m (Figura 1). Apresenta uma área de 98.068 km² e uma população de 8.796.000 habitantes, com maior densidade populacional nas áreas mais próximas ao litoral (principalmente na RMR) em função de sua formação histórica e econômica (ARAÚJO FILHO et al., 2000; ANDRADE, 2007; CEPED/UFSC, 2013; IBGE, 2018b).

Situa-se, predominantemente, sobre rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas, pertencentes ao Cráton do São Francisco e à Província Borborema (ex. Granito e Granodiorito) que ocupam 90% do território. Os demais setores são compostos por rochas sedimentares paleomesozóicas interiores (ex. Arenito, Folhelho e Siltito) e bacias sedimentares litorâneas mesocenozoicas (CPRM, 2001; ANDRADE, 2007; FERREIRA; DANTAS e SHINZATO, 2014).

O relevo é resultado da evolução de eventos geológicos e geomorfológicos, associados à abertura do oceano Atlântico durante o Cretáceo. Ferreira, Dantas e Shinzato (2014) apontam nove grandes domínios geomorfológicos em Pernambuco: Planície Costeira, Tabuleiros Costeiros (Planalto Sedimentar Litorâneo), Piemonte da Borborema, Planalto da Borborema, Depressão Sertaneja, Chapada do Araripe, Bacia do Jatobá, Planície do Rio São Francisco e grupos de Bacias Sedimentares do Interior.

Ocorrem pelo menos três tipos mesoclimáticos associados aos ambientes úmidos (totais pluviométricos anuais entre 800 mm e 2.000 mm), semiúmidos (entre 600 mm e 800 mm) e semiáridos (totais pluviométricos inferiores a 600 mm em média) (FERREIRA e MELLO, 2005). Os setores úmidos de Pernambuco estendem-se entre a Planície Costeira ao setor oriental do Planalto da Borborema, enquanto os setores subúmidos situam-se sobre o Planalto da Borborema e, finalmente, os setores semiáridos localizam-se, em maior parte, na Depressão Sertaneja, embora ocorram desde as terras altas do Planalto da Borborema.

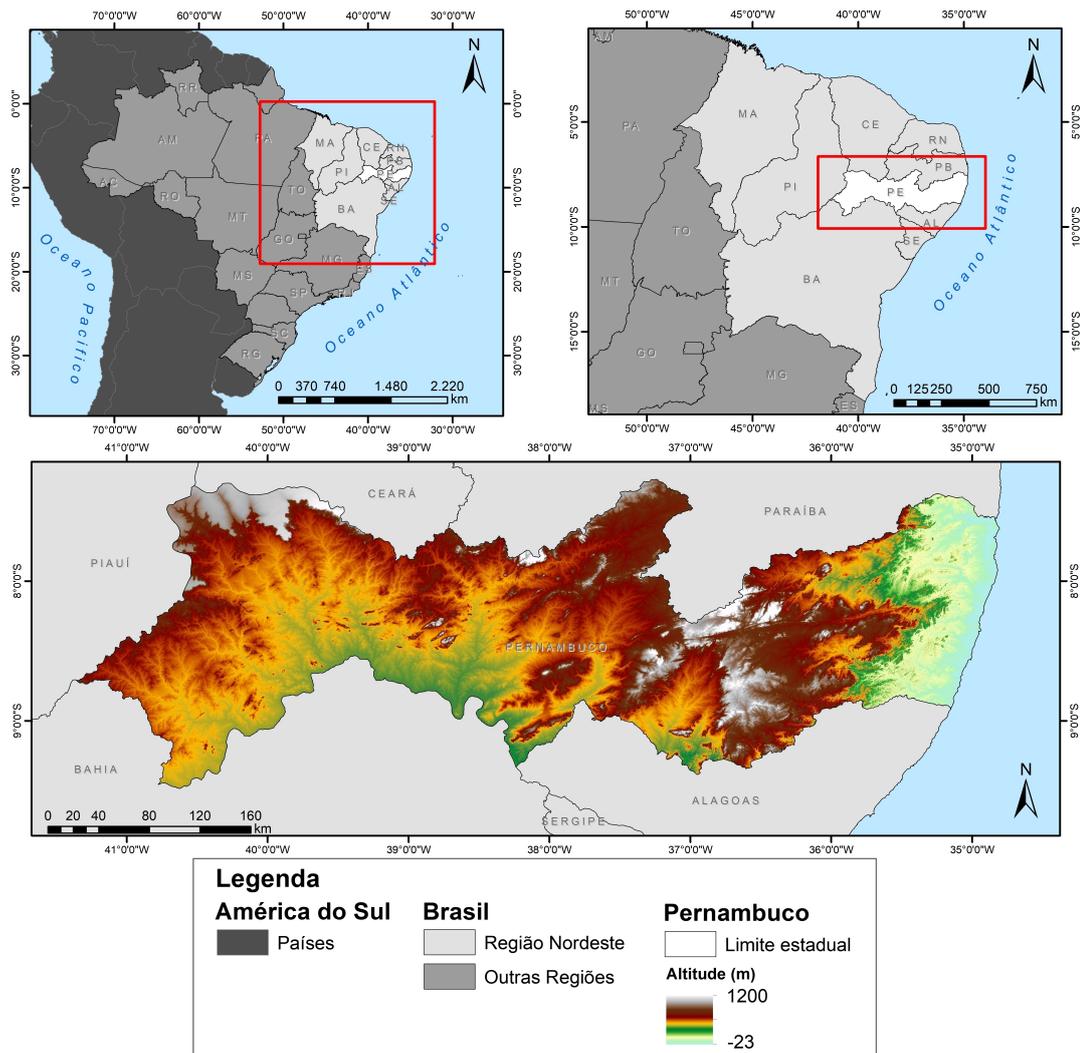


Figura1 - Mapa de localização e hipsometria da área de estudo (estado de Pernambuco). Fonte: Autores. Base de dados: Nasa Earth Data.

Estudos apontam uma correlação positiva na diferenciação climática em relação a geomorfologia de Pernambuco, principalmente, a interface entre a precipitação e a altitude no sertão do estado (ALBUQUERQUE et al., 2019). Molion e Bernardo (2002) e Ferreira e Melo (2005) apotam mecanismos de precipitação em macro, meso e microescala. Dos mecanismos em macroescala, destacam-se os sistemas frontais e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Em mesoescala, destacam-se as perturbações ondulatórias nos ventos alísios (Distúrbios Ondulatórios de Leste/DOLs) responsáveis por chuvas torrenciais deflagradoras de movimentos de massa, os complexos convectivos e as brisas marítimas e terrestres. Em microescala, ocorrem as circulações orográficas e pequenas células convectivas (MOLION e BERNARDO, 2002; FERREIRA e MELLO, 2005).

Girão et al. (2006) já haviam verificado que para a Região Metropolitana do Recife (RMR), por exemplo, os totais pluviométricos mais intensos derivam de sistemas sinóticos suplementares, destacando-se os sistemas ondulatórios de leste (cavados barométricos). Estes acometem prontamente as encostas urbanas da RMR e funcionam como gatilhos que induzem a ativação (ou reativação) de escorregamentos nas formas esculpidas sobre a Formação Barreiras (GIRÃO et al., 2006). Assim, as encostas da RMR apresentam elevada instabilidade potencial, dada pela sucessão de processos erosivos e por escorregamentos sobre as coberturas miocênicas da referida formação, potencializadas pelas áreas antropizadas (ALHEIROS e AUGUSTO FILHO, 1997; SANTANA e LISTO, 2018).

No domínio da Planície e dos Tabuleiros Costeiros, adentrando, em parte, ao Piemonte da Borborema, concentra-se o maior contingente populacional de Pernambuco (cerca de quatro milhões de

peçoas), na qual, a RMR é uma das maiores áreas metropolitanas do Brasil. Neste setor, localiza-se o principal polo econômico do estado, o Complexo Industrial Portuário de Suape (FERREIRA; DANTAS e SHINZATO, 2014). Contudo, historicamente, os processos de escorregamentos ocorrem com maior frequência no domínio dos Tabuleiros, principalmente, devido a interface entre a pluviometria mais intensa com a estrutura de rochas sedimentares e formas tabulares ou colinas dissecadas precariamente ocupadas da RMR (ALHEIROS e AUGUSTO FILHO, 1997). Ressaltam-se também injustiças sociais derivadas dos padrões de uso, ocupação e planejamento de seus sítios urbanos, que induziram a ocupação de áreas impróprias por populações de maior vulnerabilidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

BASES TEÓRICAS E ELABORAÇÃO DO MAPA DE INVENTÁRIO

As bases teóricas para a elaboração do inventário seguiram procedimentos internacionais em sua confecção, conforme Guzzetti et al. (2000). Tais autores dividem estes tipos de mapeamentos em duas categorias: (i) de arquivo e (ii) geomorfológicos. O primeiro refere-se a métodos de levantamento de dados por arquivos e registros de outras fontes, como bases de dados em âmbito nacional ou global, jornais e revistas, relatórios técnicos e produções acadêmicas. O segundo está associado ao levantamento de dados primários e podem ser produzidos para um único evento desencadeador (ex. tempestade) ou mostrar os efeitos acumulados de muitos eventos durante um período definido (PARISE, 2001; MALAMUD et al., 2004; OLIVEIRA, 2012; PEREIRA et al., 2014; KIRSCHBAUM; STANLEY e ZHOU, 2015; CALVELLO e PECORARO, 2018).

Conforme Guzzetti et al. (2000; 2012), cada técnica associa-se a finalidade e a extensão da área de estudo (escala), a resolução, as características dos dados disponíveis, aos recursos e a experiência do investigador. Galli et al. (2008) relatam que a utilização de mais de uma técnica é frequentemente utilizada, como a associação entre levantamentos de arquivos, fotointerpretação de imagens de satélites e trabalhos de campo. Nesse sentido, o trabalho seguiu os pressupostos relacionados ao do tipo arquivo, considerando-se a escala da área de estudo (menor detalhe), associados também a fontes primárias (ex. obtenção de dados de campo e interpretação de imagens de satélite). Dessa forma, foi realizado o levantamento e a captura de ocorrências dos escorregamentos disponíveis para o território continental de Pernambuco na série temporal 1988-2019.

Quanto aos dados primários, dez trabalhos de campo exploratórios para o georreferenciamento das cicatrizes de escorregamentos foram realizados entre 2017 e 2019. Estes abrangeram municípios da Região Metropolitana do Recife (ex. Recife, Ipojuca e Camaragibe), Zona da Mata (ex. Quipapá, Palmares e Aliança), Agreste (ex. Guaranhuns e Gravatá) e Sertão Pernambucano (ex. Triunfo, Santa Cruz da Baixa Verde, Exu, entre outros).

As imagens de satélite utilizadas para interpretação e localização dos escorregamentos foram retiradas das bases de dados do Software Google Earth Pro (LANDSAT 90° ou vertical). As cicatrizes foram identificadas conforme os critérios indicados por Guzzetti et al. (2000; 2012), tais como, geometria dos processos, aspecto alongado, diferença de cores e de texturas, ausência de vegetação e sua posição na encosta (Figura 2).



Figura 2 - Exemplo de imagem de satélite utilizada para localização de cicatriz de escorregamento na escarpa sul da Chapada do Araripe (município de Exú, semiárido de PE). Fonte: Base de dados do software Google Earth Pro (2018).

Muitas ocorrências foram catalogadas também a partir de fontes secundárias, tais como: (i) trabalhos acadêmicos (anais de congressos, artigos de periódicos, livros, dissertações e teses) pesquisados on-line nas plataformas Google Scholar e Periódicos CAPES; (ii) relatórios técnicos de instituições públicas, tais como, Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), entre outros; (iii) banco de dados cedidos pelas Coordenadorias Municipais de Defesa Civil (COMDEC) e (iv) notícias jornalísticas. As informações midiáticas (jornalísticas) foram obtidas a partir da consulta e da varredura nas bases de dados on-line e do Arquivo Público de Pernambuco, entre 1988 e 2019, dos principais veículos jornalísticos do estado (e alguns de veiculação nacional), tais como, Portal de Notícias G1, Jornal O Globo, Diário de Pernambuco e Jornal do Commercio (Recife/Grupo JCPM) visando a captura de notícias a respeito de escorregamentos no estado.

Para o registro de todas as ocorrências, os dados capturados, sejam por fontes primárias ou secundárias, precisavam conter ao menos a localização em um par de coordenadas ou informações de localização que fossem passíveis de serem georreferenciadas em ambiente SIG (ex. endereço ou localização aproximada).

ELABORAÇÃO DO BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADO (DATABASE)

Conforme a etapa anterior, as ocorrências de escorregamentos foram geocodificadas e representadas por vetores do tipo ponto, considerando a escala do Banco de Dados (estadual), que impossibilitou a representação por vetores do tipo polígono. O uso do ambiente SIG permitiu a elaboração dos mapas de ocorrências para Pernambuco com legenda compatível aos planos de informação do BDG.

Nesta etapa, além das informações relativas aos códigos dos processos e suas coordenadas (Tabela 1), demais dados de caráter temático/planos de informação foram adicionados (ex. geologia, declividade, solos, entre outros), que possuíam relevância quando relacionadas aos mapas de ocorrências/inventários (Tabela 1). Tais informações foram armazenadas em formato vetorial no BDG, permitindo a sobreposição com os inventários e análise dos principais fatores condicionantes e danos causados.

Categoria	Dado obrigatório	Fonte	Exemplo	Importância/Significado
Código do processo	Sim	Resultado da pesquisa	Escorregamento (ES0273)	O código atribuído a cada ocorrência possui a seguinte estrutura: as duas primeiras letras são as iniciais do processo (ex: Escorregamento, ES) e a numeração representa a sequência da catalogação (ex: primeiro escorregamento catalogado como ES0001; milésimo escorregamento catalogado como ES1000) e assim sucessivamente.
Processo	Sim	Campo, imagens de satélite e bibliografias secundárias	Escorregamento	Inventário dos escorregamentos por ocorrências.
Coordenadas	Sim	Levantamentos com GPS e Geocodificação em SIG	08° 03' 14" S 34° 52' 51" W	Georreferenciamento das ocorrências.
Município	Sim	IBGE (2018b)	Recife	Delimitação oficial do limite do estado de Pernambuco e seus municípios.
Classificação do processo	Não	Campo e bibliografias secundárias	Escorregamento Translacional Raso	A classificação não foi um parâmetro obrigatório para este inventário, quanto às tipologias dos escorregamentos (translacional, rotacional ou em cunha). Os processos foram classificados apenas em sua tipologia principal (escorregamentos).
Data de ocorrência	Sim*	Campo e bibliografias secundárias	13/06/2019	A catalogação do mês de ocorrência, quando possível, foi relevante para a relação com parâmetros pluviométricos.
Elevação	Sim	SRTM e PE3d	80 metros	Extração de informações de altitude, declividade e demais parâmetros topográficos.
Declividade	Sim	SRTM e PE3d	11,8°	Aumento da velocidade do escoamento superficial e movimentação de materiais superficiais.
Geologia	Sim	CPRM (2001)	Formação Barreiras	Diferentes mineralogias, graus de intemperismo com susceptibilidades distintas.
Solos	Sim	Silva <i>et al.</i> (2001)	Argissolos	Relação morfogênese/pedogênese e suas condições de estabilidade.
Uso e ocupação da terra	Sim	IBGE (2018c)	Residencial	Pressões antropogênicas responsáveis por potencializar e deflagrar os processos.
Danos	Não	Campo e bibliografias secundárias	Óbito	Número de vítimas e perdas sociais e econômicas.

Tabela 1 - Resumo das variáveis (banco de dados) e suas descrições. O dado “Data de Ocorrência” foi concebido para ser o mais completo possível (hora/dia/mês/ano), no entanto, como a maior parte das ocorrências não apresentaram esse detalhamento, a ocorrência devia conter, no mínimo, o ano para sua inserção no banco de dados. Fonte: Autores.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram inventariados 3.138 escorregamentos entre 1988 e 2019 para o estado de Pernambuco (Figura 3). Os processos catalogados situaram-se, majoritariamente, na Região Metropolitana do Recife e na Zona da Mata Sul de Pernambuco (com cerca de 98% dos escorregamentos) (Figura 4). Pontualmente, ocorreram no Agreste e no Sertão Pernambucano (Figura 5).

Destes, 74% concentraram-se sobre o Piemonte da Borborema coberto com Floresta Ombrófila Aberta e clima tropical úmido quente (3 meses secos), sobretudo, no município de Jaboatão dos Guararapes (RMR). Tais áreas caracterizam-se por geologia cristalina com formas, predominantemente, colinosas e íngremes com topos convexos, favorecendo o desprendimento do material das encostas.

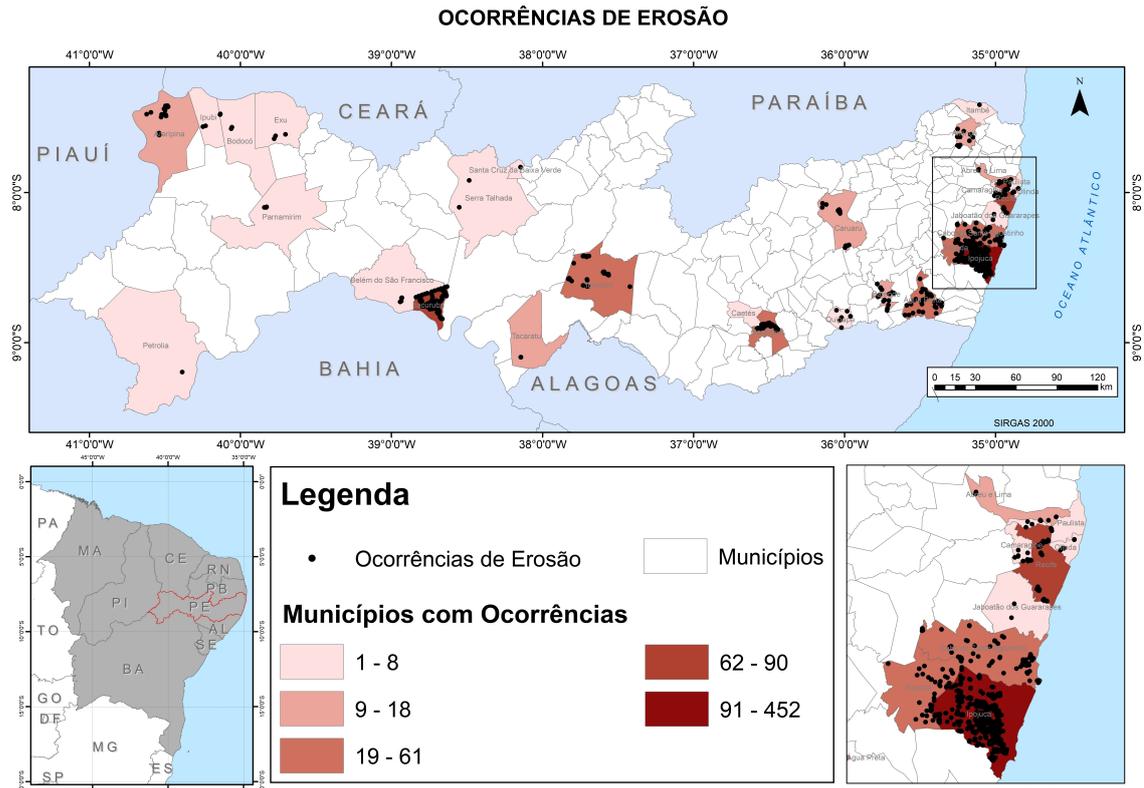


Figura 3 - Mapa de ocorrências de escorregamentos (inventário) para o estado de Pernambuco. Fonte: Autores.



Figura 4 - Exemplos de escorregamentos ocorridos na Região Metropolitana do Recife (RMR): (A) Escorregamento ES0223 no município de Camaragibe, (B) Escorregamento ES0369 também no município de Camaragibe e (C) Escorregamento ES3125 na zona norte do município de Recife, dos quais, em todos observa-se a ocorrência dos processos em áreas precariamente instaladas com muitas perdas sociais e econômicas. Fontes: (A) Diário de Pernambuco (2015), (B) Portal G1 PE (2019) e (C) Diário de Pernambuco (2015).



Figura 5 - Escorregamento ES0409 na escarpa sul da Chapada do Araripe (município de Exu), semiárido pernambucano. Fonte: Autores (2018).

Ademais, 14% dos processos localizaram-se nos Tabuleiros Costeiros com Floresta Ombrófila Aberta e clima tropical úmido quente (3 meses secos), tal como, no município de Paudalho (zona da Mata Sul) e Recife (RMR). Trata-se de unidade com geologia sedimentar (Formação Barreiras) mais suscetível ao cisalhamento, principalmente, quando há grandes volumes pluviométricos pela ação de brisas marinhas e continentais e dos Distúrbios Ondulatórios de Leste. Além disso, são áreas precariamente ocupadas (áreas de risco a escorregamentos) com demasiadas condições de vulnerabilidade física e social (ex. cortes e aterros tecnicamente incorretos; lançamento de água servida diretamente na encosta; excesso de lixo e de detritos; moradias muito próximas à base e ao topo das encostas), além da supressão da cobertura vegetal.

Na relação entre escorregamentos e meses do ano (Figura 6), é perceptível uma maior concentração entre abril e julho, períodos com maior taxa de precipitação no litoral pernambucano, cujo volume de chuva é maior entre o outono e o inverno. As chuvas de verão, apesar de sua curta duração, também costumam causar escorregamentos, uma vez que apresentam energia suficiente para desprender massas suscetíveis, principalmente, nos ambientes mais antropizados (potencialmente instáveis).

Quanto à série temporal (anos), os escorregamentos aumentaram, principalmente a partir de 2009 (Figura 6), quando foram iniciados os registros das Defesas Civis. Este aumento gradativo relaciona-se não só à maior densidade populacional e, portanto, interferência antrópica com a instalação de núcleos habitacionais precariamente instalados, mas também pela maior frequência de registros oficiais, sobretudo, pelas Defesas Civis Municipais.

No que diz respeito às fontes utilizadas, 3003 escorregamentos (95%) foram adquiridos por relatórios técnicos (ex. bancos de dados fornecidos pelas Defesas Civis Municipais de Camaragibe, de Jaboatão dos Guararapes e de Recife e pelo CEMADEN), além da CPRM (BITAR, 2014) e SINPDEC (2019) (Figura 6). Setenta e uma ocorrências foram capturadas do trabalho acadêmico de Torres (2014), que mapeou escorregamentos no município de Ipojuca, litoral sul do estado (RMR) (Figura 6).

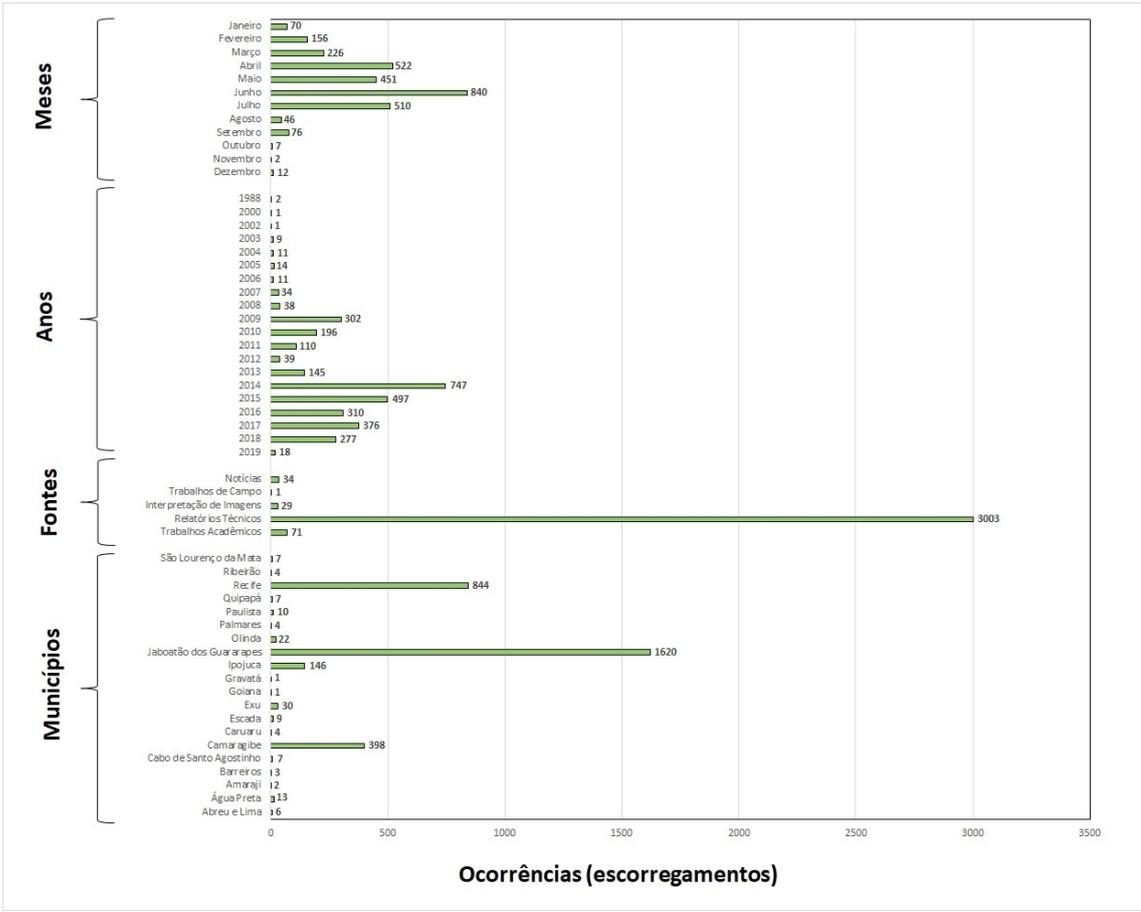


Figura 6 - Banco de dados evidenciando o número de escorregamentos por plano de informação (parte um). Fonte: Autores.

Vinte e nove escorregamentos foram catalogados pela interpretação de imagens de satélite, restritos a escarpa do flanco sul da Chapada do Araripe (nitidez do processo em ambiente semiárido com poucas nuvens, vegetação e ausência de interferência antrópica significativa), além da validação em trabalhos de campo (Figura 6). Das fontes jornalísticas, 16 ocorrências foram capturadas do Jornal Diário de Pernambuco, 12 do Portal G1, 5 do Jornal do Commercio e 1 ocorrência do Jornal O Globo, totalizando 34 escorregamentos obtidos neste tipo de fonte (Figura 6). As notícias jornalísticas foram importantes fontes de consulta, sobretudo, devido à riqueza de detalhes, referentes aos prejuízos e aos danos econômicos e sociais nas áreas urbanas (Figura 4).

Os municípios mais atingidos foram aqueles da RMR, tais como, Jaboatão dos Guararapes (1620 escorregamentos), Recife (844), Camaragibe (398), Ipojuca (146), Olinda (22) e Paulista (10 escorregamentos) (Figura 6). A área de influência da RMR caracteriza-se por uma acelerada expansão urbana em terrenos de sedimentação Cenozóica, mais suscetíveis a processos morfodinâmicos (FERREIRA; DANTAS e SHINZATO, 2014). Uma grande parte das colinas de Recife foi ocupada por populações de menor classe social, devido à apropriação do mercado imobiliário em áreas mais favoráveis à construção, aumentando o número de áreas de risco (ALHEIROS, 1998; PFALTZGRAFF, 2007; XAVIER et al., 2019). Muitas vezes este tipo de ocupação ocorre com infraestrutura precária aumentando a instabilidade de encostas declivosas caracterizadas pelos glaciais de acumulação da Formação Barreiras (ALHEIROS, 1998; PFALTZGRAFF, 2007; SANTANA e LISTO, 2018; XAVIER et al., 2019).

Nesse sentido, a interferência antrópica na RMR vem alterando a topografia e a dinâmica hidrológica das encostas por meio da criação de patamares e de rupturas por cortes, além da incosolidação de materiais indiscriminados em aterros, executados pela população local, comuns nas áreas de risco. Tais interferências assumem um papel relevante na deflagração de escorregamentos devido ao aumento da instabilidade e da ausência de obras geotécnicas de proteção. Além disso, a

ocupação criou knickpoints artificiais, que alteraram o perfil de equilíbrio das encostas e geraram taludes artificiais com declividades incompatíveis com o ângulo de repouso dos materiais que estruturam esse relevo (sedimentos incoesos da Formação Barreiras) (SANTANA e LISTO, 2018).

Para além dos limites da RMR, destaca-se o município de Exu (30 escorregamentos), inserido no flanco sul da chapada do Araripe (semiárido pernambucano) (Figura 5 e Figura 6). Tais ocorrências localizam-se em escarpas declivosas da referida chapada, de estrutura sedimentar, mais suscetível aos escorregamentos, cujos eventos pluviométricos (mais restritos) ocorrem pela atuação da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis.

Quanto à geologia (Figura 7), as litologias da Formação Barreiras (arenitos finos e grossos) concentraram o maior número de escorregamentos com 1323 ocorrências, sobretudo, no Planalto Sedimentar Litorâneo (Tabuleiros) da RMR. Destacam-se também as litologias cristalinas (ex. anfibólito) do Piemonte da Borborema com 1114 ocorrências (Figura 7).

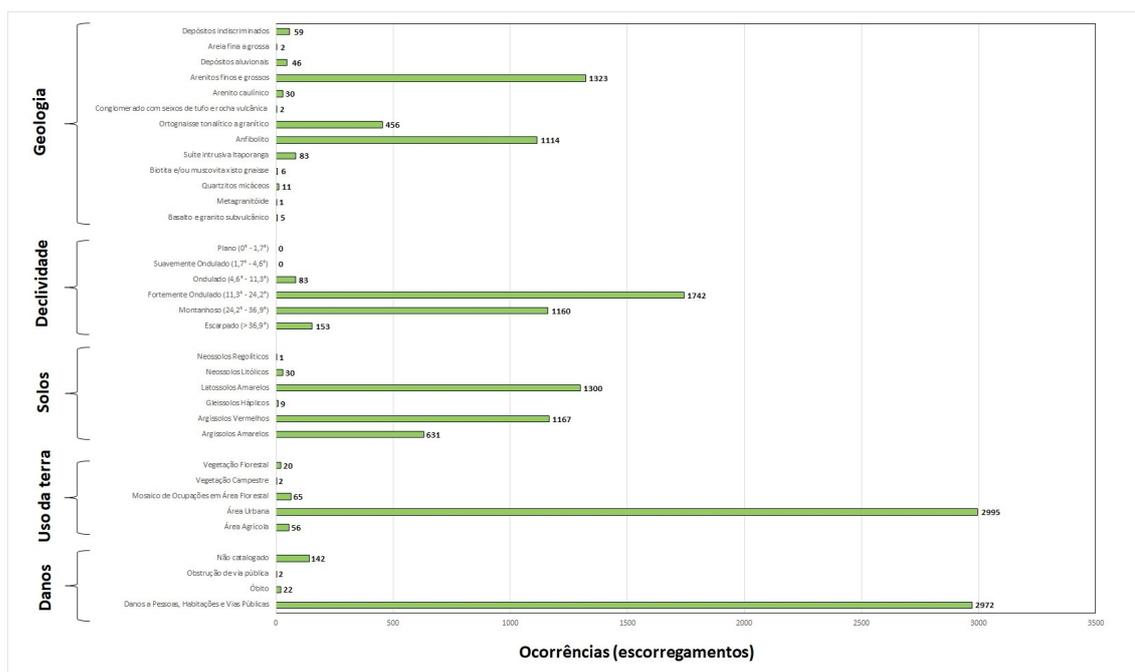


Figura 7 - Banco de dados evidenciando o número de escorregamentos por plano de informação (parte dois). Fonte: Autores.

No parâmetro declividade, os escorregamentos localizaram-se, conforme esperado, nas áreas mais íngremes, especialmente, nas classes fortemente onduladas (11,3° e 24,2°) e montanhosas (24,2° e 36,9°), respectivamente, com 1742 e 1160 ocorrências (Figura 7) indo ao encontro dos resultados encontrados em Gao (1993), Montgomery e Dietrich (1994), Alheiros e Augusto Filho (1997), D’Amato Avanzi et al. (2004), Fernandes et al. (2004), Listo e Vieira (2012) e Santana e Listo (2018). Tais áreas coincidem com as encostas do Piemonte da Borborema e dos Tabuleiros Costeiros, que no passado eram, originalmente, cobertas por Florestas Estacional Semidecidual e Ombrófila típicas da Mata Atlântica.

Todavia, tais coberturas foram praticamente devastadas pela colonização iniciada no século XVI, durante o ciclo da cana-de-açúcar. Assim, as florestas remanescentes restringem-se a pequenas áreas dos topos de colinas e, raramente, nos fundos de vales. Estas localidades foram apropriadas para a monocultura da cana, que não costuma apresentar manejo conservacionista (ANDRADE, 2007; FERREIRA; DANTAS e SHINZATO, 2014). Assim, trata-se de ambientes altamente antropizados com declividades que variam entre fortemente ondulado e escarpado (na borda dos tabuleiros). Apresentam, portanto, uma maior probabilidade a escorregamentos deflagrados por chuvas torrenciais em eventos que derivam de perturbações ondulatórias nos ventos alísios, complexos convectivos e brisas marítimas e terrestres.

Em relação aos solos, destacam-se os latossolos amarelos (1300 ocorrências), os argissolos

vermelhos (1167) e os argissolos amarelos (631), todos muito suscetíveis (Figura 7). O incremento de argila no horizonte B textural dos argissolos dificulta a infiltração da água, contudo satura as camadas superiores que se desprendem e escorregam para o nível de base. Os latossolos, por sua vez, apresentam estruturas que favorecem a infiltração e, uma vez saturados, rompem-se (SIDLE; PEARCE e O'LOUGHLIN, 1985; DIAS e HERRMANN, 2002).

Aproximadamente 95% dos escorregamentos localizam-se em áreas urbanas (2995 ocorrências) (Figura 7), reforçando a maior incidência de processos condicionados por parâmetros antrópicos em Pernambuco. Consequentemente, causam danos a pessoas, habitações e vias públicas (2972 danos) e óbitos (22 catalogados) (Figura 7).

Muitos autores (ex. ALHEIROS, 1998; PFALTZGRAFF, 2007; BERLIM; OLIVEIRA e CARVALHO, 2015) atribuem a gênese dos escorregamentos de Pernambuco a uma suscetibilidade natural associada a forma de ocupação deficitária, sobretudo, sobre a Formação Barreiras presente na RMR. Berlim, Oliveira e Carvalho (2015) ainda ressaltam as intervenções antrópicas incompatíveis com a dinâmica de encostas, tais como, cortes, drenagem difusa de efluentes sem esgotamento sanitário, cultura de bananeiras e demais espécies vegetais que acumulam água, deposição de resíduos sólidos e ausência de canais para escoamento pluvial, isto é, diversas condições que aumentam as situações de perigo aos escorregamentos.

CONCLUSÃO

No estado de Pernambuco, existe uma quantidade relevante de trabalhos técnicos e acadêmicos que tratam de escorregamentos, no entanto, não foi observado até o momento uma tentativa de reunir ocorrências em um único banco de dados de forma interinstitucional. Nesse cenário, o presente trabalho utilizou uma metodologia de inventário de processos do tipo arquivo com o levantamento de dados primários e secundários para a composição do BDG. Dessa forma, foram catalogados 3.138 escorregamentos, que ultrapassa em precisão, informação e quantidade em relação a bancos pretéritos.

Os resultados apontaram padrões de comportamento quanto à ocorrência dos escorregamentos em Pernambuco. Estes concentraram-se em encostas íngremes (acima de 11,3°) do Piemonte da Borborema, embasadas sob litologias cristalinas, e nos Tabuleiros Costeiros, sob rochas sedimentares, sobretudo da Formação Barreiras, constituídas de latossolos e argissolos, nos sítios urbanos da Região Metropolitana de Recife com severos danos sociais e econômicos.

Escorregamentos presentes no município de Exu (semiárido) divergem do contexto ambiental das demais ocorrências do estado pois, apesar de localizarem-se em áreas declivosas e sedimentares (fatores bastante influentes para a gênese do processo), apresentam pouca incidência pluviométrica, uma vez que se situam a sotavento da Chapada do Araripe (escarpas meridionais) com baixa interferência antrópica. Mais estudos são necessários para definir os eventos desencadeadores dessas ocorrências, no entanto, algumas hipóteses podem ser levantadas, tais como, a deflagração por simples ação da energia potencial gravitacional ou ainda eventos de precipitação extrema ou atividade neotectônica.

Bases espaciais georreferenciadas na escala estadual podem orientar a tomada de decisões estratégicas para a gestão pública quanto a preservação e a ocupação de novas áreas, bem como, a aplicação de medidas mitigadoras. Permitem, ainda, relevante base para demais metodologias de previsão (cartas de suscetibilidade, de vulnerabilidade e de risco), além de favorecerem a padronização de dados, tanto para a sociedade quanto para instituições públicas. Em outras palavras, permitem uma análise qualitativa e quantitativa (estatística) das localidades mais atingidas e auxiliam à responder quais são os principais fatores condicionantes, favorecendo o planejamento urbano e rural. Espera-se, assim, que os resultados desta pesquisa configurem-se como passo inicial para a padronização de escorregamentos em Pernambuco.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento desta pesquisa; às Defesas Cíveis Municipais, especialmente, da Região

Metropolitana de Recife (RMR) e ao Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) pelo acesso a discussões e conteúdos importantes para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, L.S., NÓBREGA, R.S., MOREIRA, W.A.B., MENEZES, R.S.C.A. (2019). Relação entre o Relevo e o Clima como Proposição de Caracterização da Fisiologia da Paisagem em Pernambuco, Brasil. *Geo UERJ*, 34, p. 1-24.
- ALHEIROS, M.M. (1998). Riscos de Escorregamentos na Região Metropolitana do Recife. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 129p.
- ALHEIROS, M.M., AUGUSTO FILHO, O. (1997). Landslides and coastal erosion hazards in Brazil. *International Geology Review*, 398, p. 756-763.
- ALVALÁ, R.C.S., DE ASSIS DIAS, M.C., SAITO, S.M., STENNER, C., FRANCO, C., AMADEU, P., RIBEIRO, J., SOUZA DE MORAES SANTANA, R.A., NOBRE, C.A. (2019). Mapping characteristics of at-risk population to disasters in the context of Brazilian early warning system. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 41, p. 101326.
- ANDRADE, M.C.O. (2007). Pernambuco e o Trópico. *Revista do Instituto de Estudos Brasileiros*, 45, p. 11.
- ARAÚJO FILHO, J.C., BURGOS, N., LOPES, O.F., SILVA, F.H.B.B., MEDEIROS, L.A.R., MELO FILHO, H.F.R., PARAHYBA, R.B.V., CAVALCANTI, A.C., OLIVEIRA NETO, M. B., SILVA, F.B.R., LEITE, A.P., SANTOS, J.C.P., SOUZA NETO, N.C., SILVA, A.B., LUZ, L.R.Q.P., LIMA, P.C., REIS, R.M.G., BARROS, A.H.C. (2000). Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco. Recife: Embrapa Solos, 382 p.
- AYALA, I.A. (2002). Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47, p. 107-124.
- BERLIM, A., BARBOSA, A.G., OLIVEIRA, N.M.G.A., CARVALHO, J.A.R. (2015). Ocupação Irregular e Vulnerabilidade de Riscos Geológicos no Bairro do Curado: Jaboatão dos Guararapes-PE. In: *TERRA - Saúde Ambiental e Soberania Alimentar*. Ituiutaba: Barlavento, p. 68-78.
- BITAR, O.Y. (2014). *Cartas de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Inundação: 1:25.000*. Brasília: IPT, 50 p.
- CALVELLO, M., PECORARO, G. (2018). FraneItalia: a catalog of recent Italian landslides. *Geoenvironmental Disasters*, 5, p.1-16.
- CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ENGENHARIA E DEFESA CIVIL - CEPED/UFSC (2013). *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012*. 2. ed. Florianópolis: CEPED-UFSC, 130 p.
- CPRM-Serviço Geológico do Brasil (2001). *Geologia e Recursos Minerais do Estado de Pernambuco*. Recife: 215 p.
- D'AMATO AVANZI, G., GIANNECCHINI, R., PUCCINELLI, A. (2004). The influence of the geological and geomorphological settings on shallow landslides. An example in a temperate climate environment: the june 1996 event in northwestern Tuscany (Italy). *Engineering Geology*, 73, p. 215-228.
- DIÁRIO DE PERNAMBUCO. Dois mortos em deslizamento de barreira na Bomba do Hemetério. Disponível: www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2015/06/dois-mortos-em-deslizamento-de-barreira-na-bomba-do-hemeterio. Acesso em 18/07/2020.
- DIAS, F.P., HERRMANN, M.L.P. (2002). Suscetibilidade a Deslizamentos: Estudo de Caso no Bairro Saco Grande, Florianópolis-SC. *Caminhos de Geografia*, 3, p. 57-73.

- FERNANDES, N.F., GUIMARAES, R.F., GOMES, R.A.T., VIEIRA, B.C., MONTGOMERY, D.R., GREENBERG, H. (2004). Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling. *Catena*, 55, p. 163-181.
- FERREIRA, A.G., MELLO, N.G.S. (2005). Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a Influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia*, 1, p. 15-28.
- FERREIRA, R.V., DANTAS, M.E., SHINZATO, E. (2014). Origens das Paisagens. In: TORRES, F.S. DE M., PFALTZGRAFF, P.A. DOS S. (Eds.). *Geodiversidade do Estado de Pernambuco*. Recife: CPRM, p. 51-71.
- GALLI, M., ARDIZZONE, F., CARDINALI, M., GUZZETTI, F., REICHENBACH, P. (2008). Comparing landslide inventory maps. *Geomorphology*, 94, p. 268-289.
- GAO, J. (1993). Identification of Topographic Settings Conductive to Landsliding from Nelson County, Virginia, U.S.A. *Earth Surface Processes and Landforms*, 18, p. 579-591.
- GIRÃO, O., CORRÊA, A.C.B., GUERRA, A.J.T. (2006). Influência da climatologia rítmica sobre áreas de risco: o caso da Região Metropolitana do Recife para os anos de 2000 e 2001. *Revista de Geografia (UFPE)*, 23, p. 3-41.
- GUZZETTI, F., CARDINALI, M., REICHENBACH, P., CARRARA, A. (2000). Comparing landslide maps: A case study in the upper Tiber River basin, central Italy. *Environmental Management*, 25, p. 247-263.
- GUZZETTI, F., MONDINI, A.C., CARDINALI, M., FIORUCCI, F., SANTANGELO, M., CHANG, K.T. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, 112, p. 42-66.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE (2018a). *População em áreas de risco no Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 91 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE (2018b). *Malhas Municipais Digitais*. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm. Acesso em 10 jul. 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE (2018c). *Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil 2014-2016*. Rio de Janeiro: IBGE, 32 p.
- KIRSCHBAUM, D., STANLEY, T., ZHOU, Y. (2015). Spatial and temporal analysis of a global landslide catalog. *Geomorphology*, 249, p. 4-15.
- KIRSCHBAUM, D.B., ADLER, R., HONG, Y., HILL, S., LERNER-LAM, A. (2010). A global landslide catalog for hazard applications: Method, results, and limitations. *Natural Hazards*, 52, p. 561-575.
- LISTO, F.L.R., VIEIRA, B.C. (2012). Mapping of risk and susceptibility of shallow-landslide in the city of São Paulo, Brazil. *Geomorphology*, 169-170, p. 30-44.
- LISTO, F.L.R., GOMES, M.C.V., FERREIRA, F.S. (2021). Evaluation of shallow landslide susceptibility and Factor of Safety variation using the TRIGRS model, Serra do Mar Mountain Range, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 107, p. 01-13.
- MALAMUD, B.D., TURCOTTE, D.L., GUZZETTI, F., REICHENBACH, P. (2004). Landslide inventories and their statistical properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29, p. 687-711.
- MOLION, L.C.B., BERNARDO, S.O. (2002). Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 17, p. 1-10.
- MONTGOMERY, D.R., DIETRICH, W.E. (1994). A physically-based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water Resources Research*, 30, p. 1153-1171.

