CONSTRUÇÃO DE MAPAS DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS COM USO DE DADOS DE ACESSO LIVRE: REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE (PE)

Construction of maps of susceptibility to landslides with use of open access data: Metropolitan Region of Recife (PE)

Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff[a]; Fernanda Soares de Miranda Torres[a]

[a] Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Brasil.

RESUMO – A intensificação da ocorrência de eventos naturais, aliada ao aumento da ocupação inadequada de áreas suscetíveis a deslizamentos, inundações e outros fenômenos inerentes ao meio físico, tem causado a perda de vidas humanas e prejuízos econômicos. Com o objetivo de mitigar as consequências, apresenta-se uma proposta para a criação de um mapa de suscetibilidade a deslizamentos tecnicamente confiável e de baixo custo. A metodologia proposta prevê a utilização de dados e informações de domínio público, ferramentas de informática e sensoriamento remoto (com utilização de softwares livres), mapas de relevo 3D, declividade, perfis de encostas, direção de encostas, drenagem e hipsometria. O mapa ora apresentado recobre a Região Metropolitana do Recife (RMR), no estado de Pernambuco (nordeste do Brasil), devido à ocorrência de grande número de eventos naturais nessa área, que apresenta as seguintes classes de suscetibilidade a deslizamentos: muito baixa: 16,50%; baixa: 20,10%; média: 27,85%; alta: 24,15%; muito alta: 11,40%.

ABSTRACT – The intensification of the occurrence of natural events, together with the increase in the inadequate occupation of areas susceptible to landslides, floods, and other phenomena inherent to the physical environment, has caused the loss of human lives and economic losses. With the aim of mitigating this situation, a proposal is presented to generate a technically reliable and low-cost susceptibility map to landslides. The proposed methodology foresees the use of public domain data and information, computer tools and remote sensing (using free software), 3D relief maps, slope, slope profiles, direction of slopes, drainage, and hypsometry. The map presented here covers the Metropolitan Region of Recife (RMR), in the state of Pernambuco (NE of Brazil), due to the occurrence of a large number of landslides in the region, which presents the following classes of susceptibility to landslides: very low: 16,50%; low: 20,10%; average: 27,85%; high: 24,15%; very high: 11,40%.

Palavras Chave – Deslizamentos, região metropolitana do Recife, suscetibilidade.

Keywords – Landslides, Recife metropolitan region, susceptibility.

1 – INTRODUÇÃO

Os deslizamentos são responsáveis por grande número de mortes e perdas econômicas todos os anos. Dessa forma, ter a capacidade de identificar áreas ou pontos suscetíveis à ocorrência de tais fenômenos é fundamental tanto para evitar ocupações inadequadas como para auxiliar o

E-mails: pedro.augusto@cprm.gov.br (P. Pfaltzgraff), fernanda.miranda@sgb.gov.br (F. Miranda)

planejamento de ocupação de áreas em que serão instaladas moradias, prédios públicos ou quaisquer outros tipos de edificação, vias de transporte etc.

A metodologia a ser utilizada no reconhecimento de áreas suscetíveis a deslizamentos deve ser eficiente, de simples aplicação e de baixo custo financeiro (Guinau et al., 2005). Para sua escolha, deverão ser considerados vários parâmetros, tais como: tamanho da área, volume e qualidade dos elementos preexistentes, equipe técnica, recursos financeiros e tecnológicos disponíveis, bem como os prazos exigidos para conclusão dos trabalhos.

De modo geral, na maioria dos países em desenvolvimento evidencia-se uma escassez de funcionários com expertise nesse tema, como também a escassez de dados sobre o meio físico. Acresce-se também a dificuldade de avaliar a veracidade e a qualidade espacial e temporal das informações preexistentes. Nesses países ou naqueles com grandes diferenças regionais no grau de desenvolvimento, a disponibilidade de mapas de suscetibilidade a deslizamentos deve ser, prioritariamente, de baixo custo, fácil compreensão, aplicação imediata e com uso de metodologias simples e eficientes, como a proposta por Mora e Vahrson (1994).

Atendendo a essas prioridades, para o Mapa Suscetibilidade a Deslizamentos da Região Metropolitana do Recife (PE), elaborado com base no mapa de Pfaltzgraff (2007), utilizaram-se dados disponíveis em órgãos públicos de gestão e pesquisa, como também imagens de satélite e radar gratuitos, visando-se obter um produto de baixo custo, elevada precisão e útil para os gestores públicos. A escolha da Região Metropolitana do Recife (RMR) deve-se à ocorrência de inúmeros deslizamentos, com registros de perdas de vidas, em áreas originalmente de alta suscetibilidade a esse tipo de evento natural.

Para o referido mapa, também foram utilizadas novas informações, como um modelo digital de terreno (MDT) de maior precisão. Para validação do mapa final, foram adicionados os setores de risco de deslizamentos (disponibilizados nos mapas de risco elaborados por órgãos públicos) e o mapa atualizado dos deslizamentos ocorridos na área. Quanto à metodologia, aplicou-se a empregue por Pfaltzgraff (2007) ou seja, a álgebra de mapas. Para o novo mapa, utilizou-se o menor número de variáveis possível, para se reduzir a coleta de dados em campo, priorizando-se os dados obtidos a partir do modelo digital de terreno (MDT).

O produto final é um mapa tecnicamente fiável, de baixo custo e fácil entendimento pelo gestor público, com capacidade para auxiliar na aplicação de políticas públicas voltadas para uso, ocupação e gestão do solo, cuja metodologia pode ser facilmente replicada em outras áreas tropicais.

2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A ocupação urbana da Região Metropolitana do Recife (RMR) é um processo que se desenvolve desde o período colonial, tendo-se iniciado pelos morros de Olinda e Recife, em geral, por populações de baixa renda. Já as áreas com melhores condições, cujos custos construtivos e localização eram mais atraentes, foram ocupadas pela população de maior renda. Observa-se, assim, que as áreas que exigiam mais técnica e, portanto, altos investimentos, de forma a oferecerem condições de uso adequadas, foram ocupadas por populações mais pobres, que, inevitavelmente, padecem com inundações e deslizamentos, que se intensificaram a partir das primeiras décadas do século XX.

A RMR é formada por 14 municípios (Figura 1) e situa-se em uma faixa de, aproximadamente, 100 km de comprimento ao longo da costa do estado de Pernambuco, no extremo nordeste do Brasil. Abrange uma área de 2.761,93 km2, onde vivem 3.726.974 habitantes, o equivalente a 41,14% da população do estado (IBGE, 2022).

De acordo com Pfaltzgraff e Torres (2020), a geologia da RMR é composta por rochas do Embasamento Cristalino, de idade proterozoica, sedimentos das bacias sedimentares costeiras Pernambuco e Paraíba, do Fanerozoico, sobrepostos por sedimentos inconsolidados de idade neógena a recente.

ISSN 0379-9522; e-ISSN 2184-8394 – Geotecnia nº 160– março/marzo/march 2024 – pp. 25-36
https://doi.org/10.14195/2184-8394_160_2 – © 2024 Sociedade Portuguesa de Geotecnia

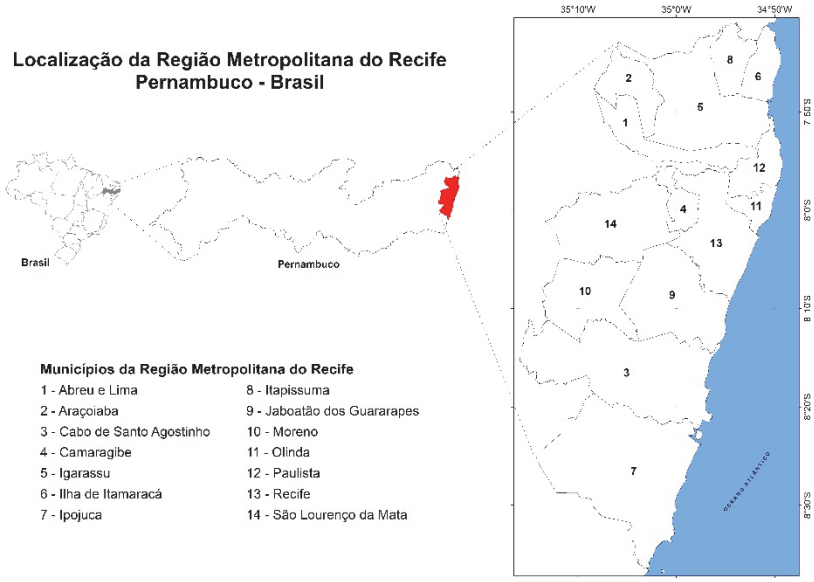


Fig. 1 – Localização da região metropolitana do Recife (elaborado pelos autores).

O Embasamento Cristalino é formado pelos complexos Salgadinho, composto por ortognaisses por vezes migmatizados e bastante intemperizados; Vertentes, constituído por uma sequência metavulcanossedimentar composta por quartzitos, metapelitos e metavulcânicas diversas; e Belém do São Francisco, que, na área em estudo, é formado por ortognaisses e migmatitos bastante intemperizados. Essas unidades são cortadas pela Suíte Intrusiva Leucocrática Peraluminosa (leucogranitoides granodioríticos a graníticos, foliados e deformados), Suíte Intrusiva Itaporanga e Granitoides Indiscriminados, formados por vários corpos ígneos de composição variada (granito, granitoides, granodiorito, metagranito, monzogranito, diorito, monzonito, sienogranito, tonalito).

Segundo Pfaltzgraff e Torres (2020), com base nos trabalhos de Neumann (1991) e Lima Filho (1998), a faixa costeira da RMR está geologicamente localizada nas bacias sedimentares de Pernambuco e Paraíba, que estão limitadas entre si por diferenças estruturais e geomorfológicas, sendo o Lineamento Pernambuco a principal demarcação entre elas.

A Bacia Paraíba é constituída, da base para o topo, pelas formações Beberibe (sequência arenosa com cimento carbonático), Gramame (espessa sequência carbonática) e Maria Farinha (calcários nodulares detríticos e calcilutitos com espessas intercalações de folhelhos escuros e margas).

Já a Bacia Pernambuco é caracterizada por uma sequência sedimentar de idade cretácea, composta pelas formações Cabo, Estivas e Algodoais, que são cortadas pela Formação Ipojuca, de origem vulcânica. Ressalta-se que, dessa última, faz parte a unidade Granito do Cabo, de grande expressão no litoral do município do Cabo de Santo Agostinho.

Sobrepostas a essas unidades, encontram-se as coberturas sedimentares recentes, dentre as quais destaca-se o Grupo Barreiras (de idade neógena/paleógena), que recobre o Embasamento Cristalino, e as unidades sedimentares de idade cretácea (Pfaltzgraff et al., 2018). Essa unidade se caracteriza por depósitos de areias grossas, intercaladas por estratos rítmicos de areia fina, silte e/ou argila, que, por suas características granulométricas e mineralógicas, são bastante friáveis e facilmente erodíveis. Alie-se a isso a elevada declividade das bordas dos tabuleiros, forma morfológica típica da ocorrência dessa unidade na RMR, e teremos uma localização onde se concentra grande parte de deslizamentos (fundamentalmente do tipo planar) e erosões, que evoluem para voçorocas. Sua área de ocorrência concentra-se, basicamente, ao norte do Lineamento Pernambuco, com ocorrências esporádicas no limite com a Planície do Recife.

A RMR foi compartimentada em quatro domínios geomorfológicos: Planície Costeira; Tabuleiros Costeiros; Patamares Orientais da Borborema; Planalto da Borborema (Ferreira e Dantas, 2022). Entre os domínios geomorfológicos, destacam-se os Tabuleiros Costeiros, onde estão localizadas as regiões mais atingidas por deslizamentos na cidade do Recife.

No que diz respeito ao clima, de acordo com Santos et al. (2003), a RMR possui um clima litorâneo úmido, com forte influência de massas tropicais úmidas. A temperatura média anual é de 25,5 °C, variando entre a máxima de 29,10 °C e a mínima de 21,9 °C. Nas áreas mais próximas ao litoral, a precipitação média anual varia entre 2.200 mm e 1.200 mm na parte mais a oeste do município de São Lourenço da Mata. As variações interanuais oscilam entre 1.200 a 3.500 mm no litoral e entre 500 e 2.000 mm nas áreas mais afastadas da costa. O trimestre mais chuvoso compreende o período maio-julho, em que se concentram 47% da precipitação, enquanto o trimestre mais seco é o de outubro a dezembro, que registra apenas 7% da precipitação.

A direção predominante dos ventos é leste, com pequena variação para sudeste no verão. São ventos vindos, predominantemente, do quadrante E-SE no inverno (abril a setembro) e do quadrantee E-NE durante o verão (outubro a março) (Gois et al., 2013).

3 – MÉTODOS

Há várias metodologias para geração de mapas de suscetibilidade a deslizamentos, as quais são desenvolvidas a partir dos métodos heurístico, estatístico e determinístico, a saber:

- Heurístico: possibilita a utilização de dois tipos de análise: geomorfológica (também conhecida como método de cartografia direta) e combinação qualitativa de mapas (atribui peso e grau de importância a cada mapa). Essa última é considerada menos subjetiva que a anterior.
- Estatístico: baseia-se na distribuição de deslizamentos ocorridos no passado, no presente e em cada um dos fatores predisponentes a esses eventos (Segura et al., 2011). Todavia, a confiabilidade desse método depende fundamentalmente da quantidade e da qualidade dos dados coletados.
- Determinístico: utiliza sofisticados meios estatísticos, como o método das redes neurais, que exige grande volume de dados oriundos de ensaios geotécnicos, sendo mais indicado para utilização em taludes individualizados (Van Westen et al., 2006).

Nos últimos anos, vem ganhando importância a metodologia que utiliza a geomorfometria, um método promissor e de baixo custo na construção de mapas de suscetibilidade para uso em áreas cujos gestores usufruem de poucos recursos técnicos e financeiros. Vale ressaltar que, no contexto latino-americano, há vários exemplos de aplicação de métodos geomorfométricos no estudo de deslizamentos de encostas, tais como os de Quesada Román e Feoli-Boraschi (2018).

De acordo com Fell et al. (2008), os mapas de suscetibilidade e de perigo de média escala são estágios preliminares para o desenvolvimento de mapas de perigo e risco com maior detalhe. O detalhamento de áreas específicas auxilia os municípios e o governo a direcionarem seus recursos financeiros para locais em que sejam mais necessários.

Em vários locais com clima similar ao da RMR, a coleta de dados de deslizamentos também é dificultada, pois o clima chuvoso propicia o rápido crescimento da vegetação. Dessa forma, áreas com deslizamentos ocorridos na estação chuvosa são rapidamente recobertas por uma camada vegetal, como citado nos trabalhos realizados na Ilha de Saint Vicent (Van Westen, 2016) e nas Filipinas (Javier e Kumar, 2019). Acrescenta-se que, na RMR a ação antrópica sobre o meio físico é muito intensa, com o objetivo de restaurar a área atingida para utilização na agricultura ou reconstrução de moradias e estradas. Esses fatores tornam difícil a obtenção de dados confiáveis para serem utilizados em metodologias que se baseiam em dados estatísticos.

A metodologia empregada na geração do mapa de suscetibilidade a deslizamentos ora apresentado fundamenta-se no método heurístico, utilizando-se a álgebra de mapas. A representação

ISSN 0379-9522; e-ISSN 2184-8394 – Geotecnia nº 160– março/marzo/march 2024 – pp. 25-36
https://doi.org/10.14195/2184-8394_160_2 – © 2024 Sociedade Portuguesa de Geotecnia

do mapa em escala 1:100.000 é compatível com a proposta de mapa de suscetibilidade de uso regional de média escala (Cascini, 2008). Na elaboração do mapa de suscetibilidade simplificado, optou-se por utilizar o menor número de variáveis possível, como preconizado por Guinau et al. (2005) e Torres et al. (2015).

4 – CONSTRUÇÃO DO MAPA

A RMR é detentora de boa quantidade de mapas temáticos e imagens de radar e satélite gratuitas de média resolução. Entretanto, nenhuma imagem pesquisada nos últimos 10 anos apresenta cobertura de nuvens inferior a 50%, seja para satélites CBERS 2, 4 e 4A, Landsat, IRS (portal do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE) ou Sentinel 2 (portal da European Space Agency – ESA). Outro fator é a grande umidade do ambiente, que favorece o crescimento e o rápido adensamento da vegetação, recobrindo, assim, as cicatrizes no terreno causadas por deslizamentos. Se, por um lado, as dimensões reduzidas da maioria dos deslizamentos, que são do tipo planar e com menos de 20 m de largura máxima no ponto mais baixo da encosta, facilitam tal recobrimento, por outro lado, dificultam o levantamento dessas cicatrizes por imagens de satélite com média resolução espacial, tais como as utilizadas no mapa ora apresentado. Ressalta-se que esses fatores são comuns a outros locais de clima tropical úmido, como observado em diversos países em desenvolvimento.

Mesmo com problemas devido à cobertura de nuvens e a mosaicos formados com imagens de satélites diferentes (Figura 2), foram utilizadas imagens do Google Earth (2021) para localizar as cicatrizes (metodologia comprovada por Constanzo et al., 2012). Embora não tenha sido possível obter todas as informações sobre a localização das cicatrizes de deslizamentos, foram identificados, nas imagens dos últimos cinco anos, 48 pontos de deslizamento. A partir de recorte e montagem de várias imagens óticas do satélite Sentinel, extraiu-se o tema "uso do solo".

Esclarece-se que não foram utilizadas fotografias aéreas, pois as preexistentes são originadas de sobrevoos executados na década de 1980 e por não serem obtidas gratuitamente, fogem do objetivo do trabalho.

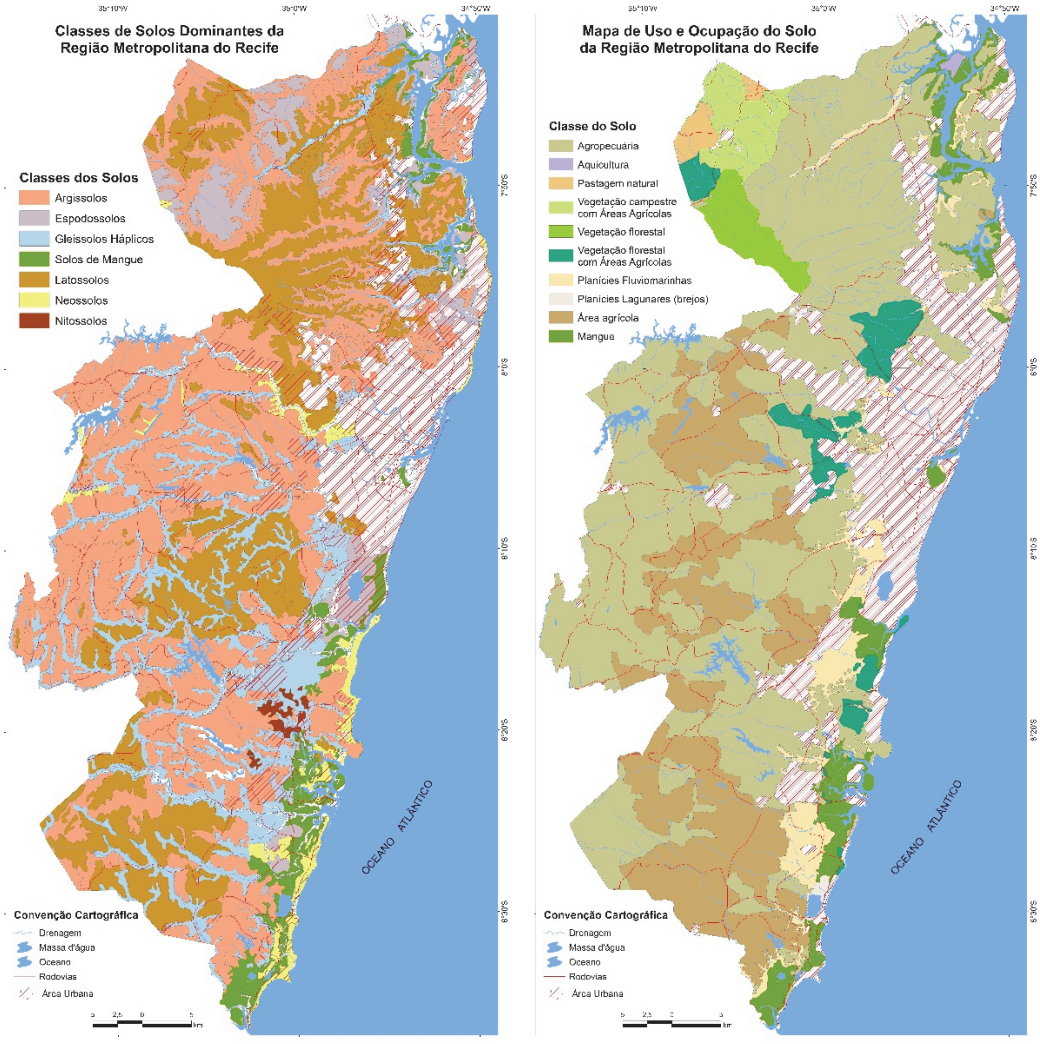
Para construção do Mapa Suscetibilidade a Deslizamentos da Região Metropolitana do Recife (PE), foram gerados dois mapas temáticos: pedológico e uso do solo. Para o primeiro, utilizou-se o mapa pedológico extraído de Araújo Filho *et al*. (2022) e, para o segundo, as imagens Sentinel,

Fig. 2 – Imagem gerada a partir de mosaico de imagens com diversas resoluções espaciais (Google Earth, 2021).

extraindo-se, com o uso da ferramenta dzetsaka do *software* QGIS 10.3, as classes de uso do solo (Figuras 3A e 3B), a partir de uma classificação supervisionada das bandas do visível RGB) e do NIR (infravermelho próximo).

A partir da correção e do ajuste das imagens ALOS AP_26445_FBS_FBS7010_RT1; AP_26197_FBS_FBS7020_RT1;AP_26868_FBS_FBS7020_RT1;AP_26868_FBS_FBS7030_RT 1 (USGS, 2019), com resolução espacial de 12,5 m, extraíram-se os seguintes parâmetros: declividade, curvatura, relevo 3D, curvas de nível, sentido de mergulho das encostas e drenagem (riachos e rios principais), com ajustes posteriores por meio de imagens do Google Earth.

Para a geração do Mapa Suscetibilidade a Deslizamentos da Região Metropolitana do Recife (PE), extraíram-se informações dos mapas temáticos, que, posteriormente, foram transformados para o formato raster e superpostos em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG),



(A) (B)

Fig. 3 – Mapas (A) pedológico (Adaptado de Araújo Filho *et al*., 2022) e (B) de uso do solo da RMR (Elaborado pelos autores).

ISSN 0379-9522; e-ISSN 2184-8394 – Geotecnia nº 160– março/marzo/march 2024 – pp. 25-36
https://doi.org/10.14195/2184-8394_160_2 – © 2024 Sociedade Portuguesa de Geotecnia

adotando-se pesos similares para todos os mapas no cálculo de locais mais suscetíveis a deslizamentos.

Essa igualdade de pesos para os temas é devida à dificuldade de se mensurar a importância isolada de cada um deles na ocorrência de deslizamentos. Dessa forma, a utilização de metodologias que tomem por base métodos estatísticos também é bastante prejudicada na fase de coleta de informações, inviabilizando uma identificação a partir do registro de cicatrizes em imagens óticas de graus de importância de cada fator nos processos de deslizamentos.

O conteúdo dos mapas pedológico e de uso do solo foi classificado tomando-se como base as características geotécnicas obtidas em visitas de campo e na bibliografia consultada, definindo-se um valor para cada fator representado no respectivo mapa temático. Ressalta-se a possibilidade de utilização dos valores definidos para cada fator analisado em outras áreas com características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, uso do solo e climáticas similares às da RMR (Quadros 1 e 2).

No passo seguinte, foi realizada a soma das imagens (raster), que foram obtidas dos temas solo e uso e ocupação do solo com os demais produtos (imagens raster) provenientes da extração dos parâmetros de declividade, direção e orientação de encostas do MDT originário das imagens ALOS PALSAR, cujos critérios de classificação, quanto ao grau de influência na suscetibilidade a deslizamentos, foram caracterizados de acordo com o Quadro 3.

Quadro 1 – Características dos solos que influenciam no grau de suscetibilidade a deslizamentos (índex) (Adaptado de Pfaltzgraff e Torres, 2020).

SOLOS					
Classe	**Textura**	**Espessura (m)**	**Drenagem**	**Unidade de Relevo**	**Index****
Argissolo	Média a muito argilosa	0,5 até > 2,0	Imperfeita até Impermeável	Tabuleiro*, Tabuleiro Dissecado, Mar de Morros	4 ou 2
Latossolo	Média a muito argilosa	> 2,0	Bem drenado	Tabuleiro*, Tabuleiro Dissecado, Mar de Morros	3 ou 2
Gleissolo	Arenosa	0,4 a 1,5	Hidromórfico	Várzea	1
Espodossolo	Areia argilosa com trechos cimentados	≅ 1,0	Ruim a Hidromórfico	Baixada Litorânea	1
Neossolo	Variável	≅ 0,5	Bem drenado	Várzea	1
Nitossolo	Argilosa a muito argilosa	Variável	Regular a baixa	Mar de Morros, Depressão Pré-Litoral	1
Solos de Mangue	Argilosa a muito argilosa	Variável	Mal drenado a Hidromórfico	Baixada Litorânea	1
Afloramentos de Rocha	Rocha	Indeterminada	Variável	Morros Altos	1

Nota: * Referente à encosta dessa unidade geomorfológica. ** Index: caracterização da soma entre as características das variáveis do solo e relevo. (1- Muito baixa; 2 – Baixa; 3 – Média; 4 – Alta).

Quadro 2 – Características de uso do solo que influenciam no grau de suscetibilidade a deslizamentos (Pfaltzgraff, 2007).

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	
Tema (Tipo de ocupação)	**Índex**
Praias	1
Mangues	1
Agricultura em áreas planas	1
Áreas urbanas planas	1
Solo sem cobertura em áreas planas	1
Florestas (nativas/secundárias)	2
Áreas urbanas em encostas	3
Agricultura em áreas declivosas	3
Solo sem cobertura em áreas com declividade > 6°	4

Quadro 3 – Parâmetros de declividade e orientação das encostas em relação ao ângulo de atingimento pelas chuvas (Pfaltzgraff, 2007).

DECLIVIDADE DAS ENCOSTAS			**ORIENTAÇÃO DAS ENCOSTAS**		
Valor (°)	**Fator**	**Índex**	**Direção** (°) **(em relação ao N)**	**Direção Principal da Chuva no Período Úmido**	**Índex**
0-3	Mangues	1	Plano	Normal	0
3-6	Limite de planície	1	0-45	Ortogonal	3
6-20	Limite de repouso das areias e limite de relevo ondulado	2	45-135	Perpendicular	4
20-35	Limite de início de deslizamentos pelo JTC1*	3	135-180	Ortogonal	3
35-82	(**)	4	180-360	Vertentes contrárias à chuva	1

Notas: * Joint Tematic Consultors 1; ** Com base na bibliografia consultada e na experiência de campo.

A soma dos mapas temáticos definiu as seguintes classes de suscetibilidade a deslizamento: baixa, média e alta (Quadro 4; Figura 4). As classes foram individualizadas a partir da reclassificação dos valores obtidos na álgebra de mapas pelo método natural breaks, pois, de acordo com Othman et al. (2018), sua aplicação é mais favorável quando se deseja maximizar as diferenças entre as diversas classes. O número de classes definido foi de apenas três para que fosse possível sua comparação com o mapa produzido por Pfaltzgraff (2007).

Quadro 4 – Caracterização das classes de suscetibilidade a deslizamento* (Pfaltzgraff, 2007).

CARACTERÍSTICAS PREDOMINANTES DAS CLASSES DE SUSCETIBILIDADE	
Alta	Declividade a partir de 20 até mais de 35°; morros altos; encostas dissecadas compostas por litologias do Grupo Barreiras; argissolos; tálus e colúvios; solo sem cobertura; incidência predominante de chuva frontal à encosta; baixa cobertura vegetal.
Média	Declividade entre 6 e 20°; relevo ondulado; latossolos; incidência predominante de chuva oblíqua em relação à direção da encosta ou vertical; floresta natural; agricultura e uso urbano.
Baixa	Declividade de 3 a 6°; gleissolos e nitossolos; neossolos; uso urbano; agricultura e mata secundária; floresta nativa; solos de mangues e manguezais.

Nota: * Em todas as classes, ocorre a presença de áreas urbanas.

ISSN 0379-9522; e-ISSN 2184-8394 – Geotecnia nº 160– março/marzo/march 2024 – pp. 25-36
https://doi.org/10.14195/2184-8394_160_2 – © 2024 Sociedade Portuguesa de Geotecnia

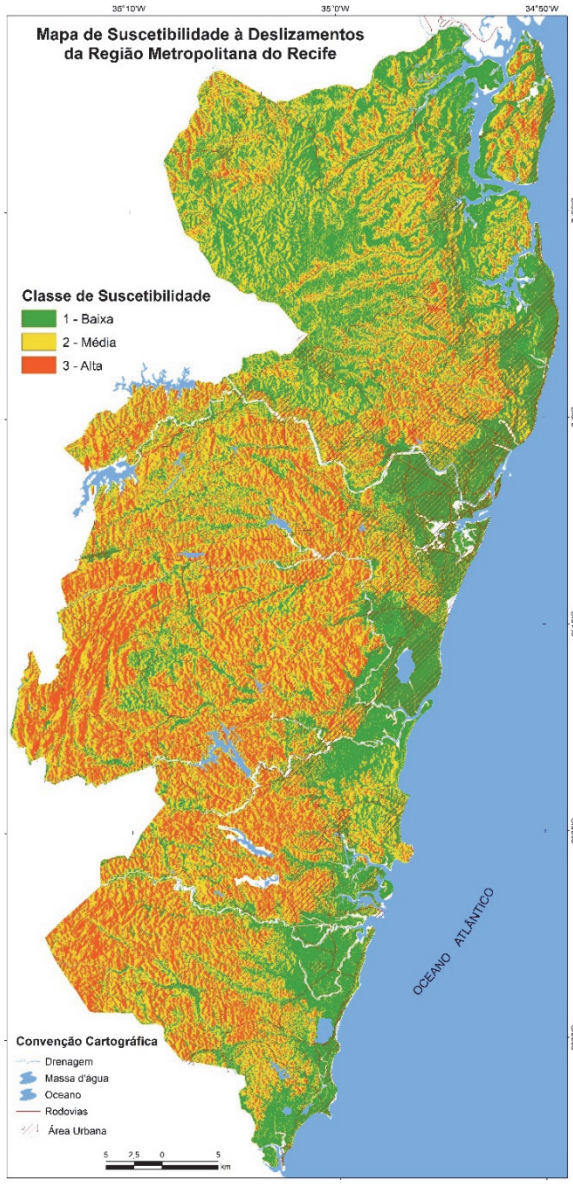


Fig. 4 – Mapa de suscetibilidade a deslizamentos da região metropolitana do Recife atualizado (elaborado pelos autores).

5 – DISCUSSÃO SOBRE A VALIDAÇÃO DO MAPA

A RMR sofre, há muito tempo, com o uso e a ocupação urbana inadequados de encostas, as quais, potencialmente, são áreas de risco, pois estão sujeitas a deslizamentos. Com o objetivo de se mitigar essa situação, os governos municipais, com apoio do estado de Pernambuco e do governo federal, têm promovido a realização do mapeamento dessas áreas. Nesse contexto, a partir de 2012, o SGB/CPRM passou a efetuar mapeamentos de setorização de áreas de riscos na região. Dessa forma, o conjunto de informações levantado por governos municipais e SGB/CPRM permite

comparar o mapa de suscetibilidade ora apresentado com a localização de ocorrência de eventos de deslizamentos na área urbana mapeada.

Os pontos de setorização ou de mapas de risco foram extraídos do portal do SGB/CPRM para cinco municípios: Recife, Olinda, Camaragibe, Jaboatão dos Guararapes e São Lourenço da Mata.

Observou-se que, em todos os pontos identificados com risco alto ou muito alto de deslizamentos, onde a ação antrópica intensifica os problemas de deslizamento, o grau apontado no mapa ora apresentado é de suscetibilidade alta, o que evidencia a correlação estreita entre o grau de suscetibilidade a deslizamentos e o grau de risco devido à ocupação urbana realizada de forma inadequada. É importante salientar que não se pretende confundir as informações obtidas no mapa de suscetibilidade com os dados dos órgãos públicos, que produziram mapas de risco apenas.

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o Mapa Suscetibilidade a Deslizamentos da Região Metropolitana do Recife (PE), visa-se a atender as necessidades de locais com poucos recursos financeiros, com dados pouco precisos e de grande descontinuidade temporal, o que impede o reconhecimento de locais, número e datas de ocorrência de deslizamentos, e que por outro lado têm também dificuldades para dispor de boas imagens óticas de satélites (devido à extensa cobertura de nuvens), para além de carência de mão de obra especializada.

É claro que um volume maior de temas e uma quantidade mais extensa de dados sobre deslizamentos com séries temporais contínuas, aliados ao uso de métodos estatísticos mais refinados, possibilitariam a elaboração de um mapa em escala de maior detalhe e precisão. Entretanto, um mapa nesses moldes também exigiria uma equipe mais especializada em estatística, mais equipamentos, mais levantamentos de campo e a presença, nos órgãos públicos contratantes do trabalho, de equipes de especialistas treinados, o que é muito distante da infraestrutura dos municípios e países menos desenvolvidos.

Entretanto, é possível contornar esses obstáculos, utilizando-se apenas os mapas temáticos mais importantes e comuns de serem encontrados na maioria desses países, como os mapas pedológico e de uso do solo. Além disso, podem ser gerados, a partir de imagens de satélite e radar gratuitas, os mapas de relevo 3D, declividade, perfis de encostas, direção de encostas, drenagem e hipsometria.

No mapa constante em Pfaltzgraff (2007), o grau de suscetibilidade a deslizamentos da área foi definido em três classes: baixa: 41,45%; média: 42,53%; alta: 16,02%. Quando esses valores são reclassificados em cinco classes, obtém-se: muito baixa: 26,11%; baixa: 34,23%; média: 23,63%; alta: 10,90%; muito alta: 5,13%.

Já no mapa de suscetibilidade a deslizamentos ora apresentado, têm-se as seguintes classificações nas áreas estudadas para três classes: baixa: 36,70%; média 27,85% e alta: 35,45%. Quando reclassificado para cinco classes temos: muito baixa: 16,50%; baixa: 20,10%; média: 27,85%; alta: 24,15%; muito alta: 11,40%. Nesse mapa, observa-se que a área urbana se expandiu em aproximadamente 169 km^2 em 13 anos e que muitas correspondem à ocupação de áreas de suscetibilidade a deslizamentos muito alta e alta. Nesse contexto, objetiva-se indicar aquelas que necessitam receber estudo mais aprofundado sobre suscetibilidade a deslizamentos, auxiliando no planejamento de ocupação e uso do solo.

Com o presente trabalho mostrou-se que é possível elaborar um mapa de suscetibilidade a deslizamentos, utilizando-se dados de domínio público e softwares livres, como o QGIS, que torna o processo de construção de mapas viável em países, estados ou províncias localizados em faixa tropical chuvosa, com poucos recursos financeiros e técnicos, além de dificuldades na coleta de dados históricos de deslizamentos.

ISSN 0379-9522; e-ISSN 2184-8394 – Geotecnia nº 160– março/marzo/march 2024 – pp. 25-36
https://doi.org/10.14195/2184-8394_160_2 – © 2024 Sociedade Portuguesa de Geotecnia

7 – REFERÊNCIAS

Araújo Filho, J. C. de; Silva, C. B. da; Marques, F. A. (2022). SOLOS. in: Pfaltzgraff, P. A. dos S.; Torres, F. S. de M.; Costa, M. R. da. (org). *Caracterização do meio físico na pesquisa da geodiversidade da região metropolitana do Recife*. CPRM. p.109-121. Recife.

Cascini, L. (2008). *Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales*. Engineering Geology, 102, pp. 164-177. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.016

Costanzo, D.; Cappadonia, C.; Conoscenti, C.; Rotigliano, E. (2012). *Exporting a Google Earth™ aided earth-flow susceptibility model: A test in central Sicily*. Nat Hazards, 61 (1), pp. 103-114. https://doi.org/10.1007/s11069-011-9870-0

Fell, R.; Corominas, J.; Bonnard, C.; Cascini, L.; Leroi, E.; Savage, W. Z. (2008). *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning*. Engineering Geology, 102, (3-4), pp. 85-98. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022

Ferreira, R. V.; Dantas, M. E. (2022). Relevo. in: Pfaltzgraff, P. A. dos S.; Torres, F. S. de M.; Costa, M. R. da. (org). *Caracterização do meio físico na pesquisa da geodiversidade da região metropolitana do Recife*. CPRM. pp. 63-72. Recife.

Gois, L. A. de; Oliveira, N. M. G. A.; Manso, V. A. V. (2013). *Processos erosivos costeiros da praia de Boa Viagem.* Mercator, Fortaleza, 12 (27), pp. 111-133.

Google Earth. (2021). Versão 7.3.2.5776. Disponível em: https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/.

Guinau, M.; Palla's, R.; Vilaplana, J. M. (2005). *A feasible methodology for landslide susceptibility assessment in developing countries: A case-study of NW Nicaragua after Hurricane Mitch.* Engineering Geology, 80, pp. 316-327. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.07.001

IBGE. [2022]. *Cidades e Estados.* Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/recife.html. Acesso em: 6.fev.2024.

Javier, D. N.; Kumar, L. (2019). *Frequency ratio landslide susceptibility estimation in a tropical mountain region.* The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XLII-3/W8.

Lima Filho, M. F. (1998). *Análise estratigráfica e estrutural da bacia Pernambuco*. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 139 f.

Mora, C. S.; Vahrson, W.-G. (1994). *Macrozonation methodology for landslide hazard determination.* Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 31 (1), pp. 49-58. https://doi.org/10.2113/gseegeosci.xxxi.1.49

Santos, A. da S.; Melo, C. R. de; Moreira; Almeida, F. M.; I. S. de; Araújo, L. M. N. de (2003). Hidrologia. in: Pfaltzgraff, P. A. dos S. (Coord.); Leal, O.; Souza Junior, L. C.; Lins, C. A. C.; Souza, F. J. C. de; Accioly, A. C. de A.; Santos, A. da S.; Melo, C. R. de; Moreira, F. M.; Almeida, I. S. de; Araújo, L. M. N. de; Rocha, D. E. G. A. da; Oliveira, R. G. de; Shinzato, E.; Amaral, C. de A.; Ferreira, R. V.; Miranda, J. L. F. de. *Sistema de informações geoambientais da região metropolitana do Recife.* Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Recife, 119 p. SIGA Recife.

Neumann, V. H. M. L. (1991). *Problemas geomorfológicos do litoral pernambucano.* XIV Simpósio de Geologia do Nordeste, Recife, pp. 363-366.

Othman, A. A.; Al-Jaff, A. U.; Al-Manmi, D. A.; Al-Maamar, A. F. (2018). *Landslide susceptibility mapping using remote sensing and GIS application: A case study in Qala Diza and surrounding area, Kurdistan region, NE Iraq*. Iraqi Bulletin of Geology and Mining, 14 (1), pp. 65-90.

Pfaltzgraff, P. A. dos S. (2007). *Mapa de suscetibilidade a deslizamentos na região metropolitana do Recife.* Tese (Doutorado em Geociências) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 151 p.

Pfaltzgraff, P. A. dos S.; Torres, F. S. de M.; Valença, R. F.; Dias, G. P.; Dantas, M. E.; Costa, M. R. da; Borba, A. L. S. (2018). *Geodiversidade da região metropolitana de Recife: Mapa*. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Recife, escala 1:100.000.

Pfaltzgraff, P. A. dos S.; Torres, F. S. de M. (2020). *Geodiversidade da região metropolitana de Recife: Nota explicativa*. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Recife, 139 p.

Quesada Román, A.; Feoli-Boraschi, S. (2018). *Comparación de la metodología Mora-Vahrson y el método morfométrico para determinar áreas susceptibles a deslizamientos en la microcuenca del río Macho, Costa Rica*. Revista Geográfica de América Central, 2 (61), pp. 17-45. https://doi.org/10.15359/rgac.61-2.1

Segura, G.; Badilla, E.; Obando, L. (2011). *Susceptibilidad al deslizamiento en el Corredor Siquirres-Turrialba*. Revista Geológica de América Central, 45, pp. 101-121. https://doi.org/10.15517/rgac.v0i45.1908

Torres, F. S. de M.; Coutinho, R. Q.; Duarte, C. C.; Meneses, J. B. de; Fonsêca, D. N.; Pfaltzgraff, P. A. dos S. (2015). *Carta de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão do município de Ipojuca-PE*. Geotecnia, 135, pp. 67-88. https://doi.org/10.24849/j.geot.2015.135.04

USGS (2019). *GloVis*. Disponível em: https://glovis.usgs.gov/.

Van Westen, C. J. (2016). *National scale landslide susceptibility assessment for Saint Vincent.* Caribbean Handbook on Risk Information Management.

Van Westen, C. J.; Van Asch, T. W. J.; Soeters, R. (2006). *Landslide hazard and risk zonation; why is it still so difficult?* Bulletin of Engineering Geology and the Environment, International Association for Engineering Geology and the Environment, 65 (2), pp. 167-184. https://doi.org/10.1007/s10064-005-0023-0