

## Hydromorphological Analysis as Subsidy For The Study of Susceptibility to Gravitational Landslide in The Neighborhood of Águas Compridas, Olinda-PE

Carlos José dos Santos Freitas\*, Gerlane Gomes da Rocha\*\*, Cristiana Coutinho Duarte\*\*\*...

\*Graduando de Licenciatura em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco, Olinda, Pernambuco, E-mail: [carlos.santosfreitas@ufpe.br](mailto:carlos.santosfreitas@ufpe.br)

\*\*Graduanda de Licenciatura em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, E-mail: [gerlane.gomesrocha@ufpe.br](mailto:gerlane.gomesrocha@ufpe.br)

\*\*\* Professora do Departamento de Ciências Geográficas - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, E-mail: [cristiana.durte@ufpe.br](mailto:cristiana.durte@ufpe.br)

Received July 19, 2023; accepted 20 august 2023.

### Abstract

The Águas Compridas neighborhood is located in the hilly areas of the western zone of Olinda, PE, where there is a high concentration of vulnerable residences prone to gravitational sliding incidents. In this study, remote sensing and geoprocessing techniques were used for mapping disaster-prone areas. Hydrological numerical indices and topographic parameters were also employed to assess the susceptibility of the region. The present study utilized a multicriteria analysis technique for landslide risk zoning, aiming to elucidate the determining factors of recent landslides in the Águas Compridas neighborhood and to identify potential areas at risk of sliding. Based on the conducted analyses, zones of risk and socio-environmental vulnerability, as well as their hydro-morphological influences, were identified.

Keywords: environmental, hydrological, Brazil.

## Análise Hidromorfológica como Subsídio Para Estudo De Suscetibilidade a Escorregamento Gravitacional do Bairro de Águas Compridas, Olinda-PE

### Resumo

O Bairro de Águas Compridas localiza-se nas áreas de morro da zona oeste do município de Olinda - PE, onde apresenta alta configuração de residências em situação de vulnerabilidade e suscetíveis a incidentes de escorregamentos gravitacionais. No estudo foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para mapeamento das áreas suscetíveis a desastres. Foram utilizados também índices numéricos hidrológicos e parâmetros topográficos para mensurar a suscetibilidade da região. No presente estudo, a técnica de análise multicritério foi usada para o mapeamento de zonamento de risco de deslizamento de terra, para explicar os fatores determinantes dos últimos deslizamentos de terra ocorridos no bairro de Águas Compridas e também para alertar sobre possíveis localidades em risco de deslizamento. Com base nas análises realizadas constatou-se de zonas de risco e vulnerabilidade socioambientais e suas influências hidromorfológicas.

Palavras-chave: meio ambiente, hidrologia, Brasil.

### Introdução

O município de Olinda-PE possui a sétima maior densidade demográfica do Brasil, de acordo com os dados do último censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2022. Em decorrência dessa alta densidade populacional, a região enfrenta desafios significativos, incluindo eventos hidrogeorfológicos, que ocorrem em áreas urbanas e estão diretamente vinculados a problemas

socioambientais e à presença de moradias em situações vulneráveis.

Nesse contexto, destaca-se o Bairro de Águas Compridas, objeto de estudo desta pesquisa, o qual se caracteriza pela presença de morros e é reconhecido pelo IBGE (2010) como uma Área Urbana de Alta Densidade de Edificações. É válido ressaltar que, embora esses incidentes de escorregamentos sejam recorrentes e causam instabilidade, perdas sociais, econômicas e ainda

humanas, há uma carência de estudos que sistematizam informações para o mapeamento de áreas propícias a ocorrências semelhantes na localidade.

Considerando o contexto apresentado, é importante ressaltar que o sensoriamento remoto desempenha um papel fundamental no mapeamento das áreas suscetíveis a desastres, com o fornecimento de imagens, dados e monitoramento.

Segundo Merghadi et al (2020) Modelos de suscetibilidade a deslizamentos preparados em um ambiente integrado de Sistema de Informação Geográfica (GIS) podem ser fundamentais para formular medidas de prevenção de desastres e mitigar riscos futuros.

No geral os equipamentos de sensoriamento remoto conseguem dar andamento em estudos de áreas com impossibilidade de trabalho *in loco*, possibilitando acompanhamento e diagnósticos sobre as potencialidades envolvendo vegetação, situações de áreas agricultáveis ou regiões passíveis à desertificação, erosão, dentre outros parâmetros (Santos e Galvêncio, 2013).

Nos últimos anos, várias técnicas e mecânicas de aprendizado foram aplicadas para o mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos, conforme Kumar et al. (2017). A exatidão e a precisão dos modelos de suscetibilidade estão evoluindo rapidamente conforme Merghadi et al (2020).

Vários pesquisadores validaram o uso de GIS na modelagem de vulnerabilidade de deslizamento de terra, empregando um conjunto diversificado de parâmetros. (Sarkar e Kanungo 2004 ; Kouli et al. 2010 ; Ahmed 2015 ; Hadmoko et al. 2017 ; Mahdadi et al. 2018 ; Bera et al. 2019 ).

Além disso, a utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) possibilita a aplicação de métodos de análise multicritério que oferecem poderosas ferramentas para mapear e antecipar os riscos relacionados a deslizamentos de terra.

No presente estudo as técnicas de sensoriamento remoto e análise multicriterial são usadas para mapeamento de zonas de risco a deslizamentos de terra. Então, com base nos trabalhos de autores como Conoscenti et al. (2008), Jaafari et al. (2014), Moayedi et al. (2019) e Ghunowa et al. (2021), decidiu-se trabalhar com os parâmetros propostos de TWI, SPI e declividade, que são factíveis na averiguação de zonas de risco.

Ademais, o zoneamento de suscetibilidade envolve a distribuição espacial e classificação das unidades de terreno de acordo com sua propensão a produzir deslizamentos, conforme Schlögel et al. (2018). Sendo assim, a suscetibilidade a deslizamentos de terra representa a probabilidade de ocorrência de deslizamentos de terra em uma área, avaliada com base nas condições locais do terreno (por exemplo, relevo, hidrologia, litologia e uso do solo) e locais conhecidos de deslizamentos de terra, conforme Fell et al. (2008).

A necessidade da realização do estudo é evidente pela constante ocorrência de incidentes de escorregamento gravitacional na região. A média de eventos nos últimos 8 anos chega a 1 acidente ocorrendo a cada 1 ano e 4 meses, sendo assim, quase que anualmente ocorrem eventualidades críticas de deslizamento no bairro de Águas Compridas.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é utilizar índices hidromorfológicos e modelagem numérica para analisar as áreas de suscetibilidade a escorregamento do Bairro de Águas Compridas, Olinda-PE e produzir o mapeamento de zonas de risco.

## Material e métodos

O estudo busca realizar análises da relação hidrológica e morfológica do bairro de Águas Compridas, localizado no município de Olinda-PE, extraindo padrões da superfície terrestre que contribuem para a identificação de suscetibilidade a deslizamentos. Para isso, está sendo utilizado o modelo digital de elevação de terreno e índices hidrogeomorfológicos. Os dados de elevação foram obtidos em Raster pelo Pernambuco Tridimensional - PE3D (2013), com resolução espacial de 1m e serviram como base para modelagem hidrogeomorfológica de parâmetros como declividade, SPI, TWI, Curvatura, Drenagem e Direção da encosta.

É relevante ressaltar, nesta análise, que o município de Olinda apresenta características predominantemente baixas na sua planície costeira, ao passo que nas áreas mais a oeste são observadas colinas com altitudes variando entre 40 e 75 metros, conforme ilustrado na Figura 1.

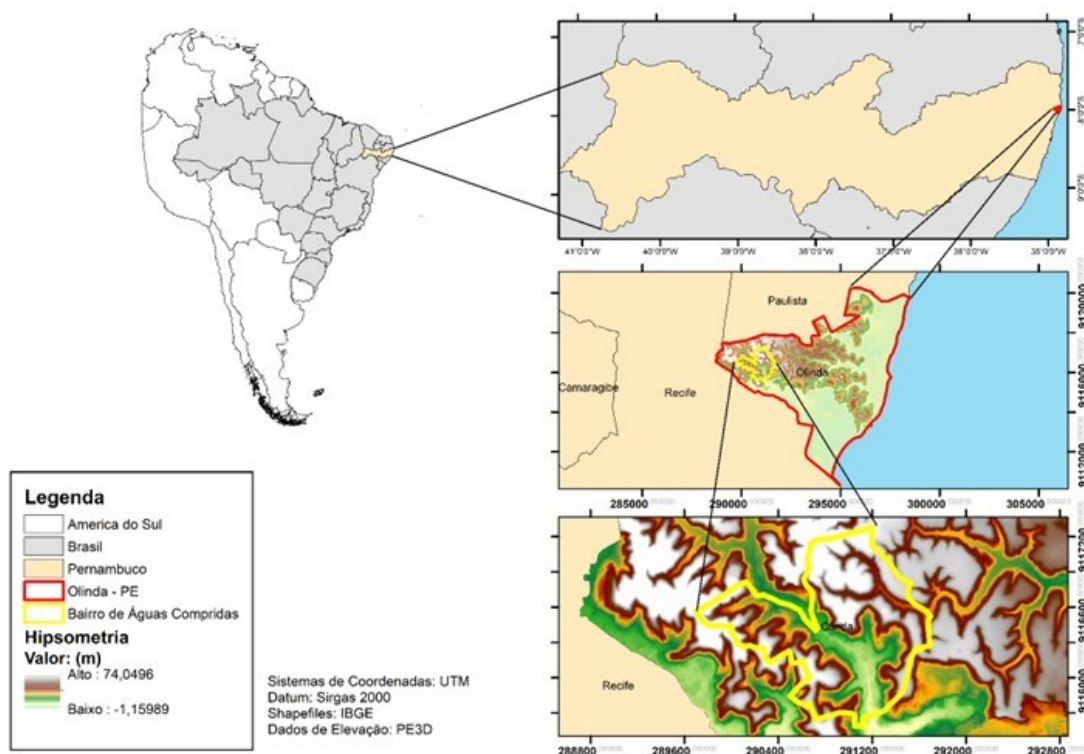
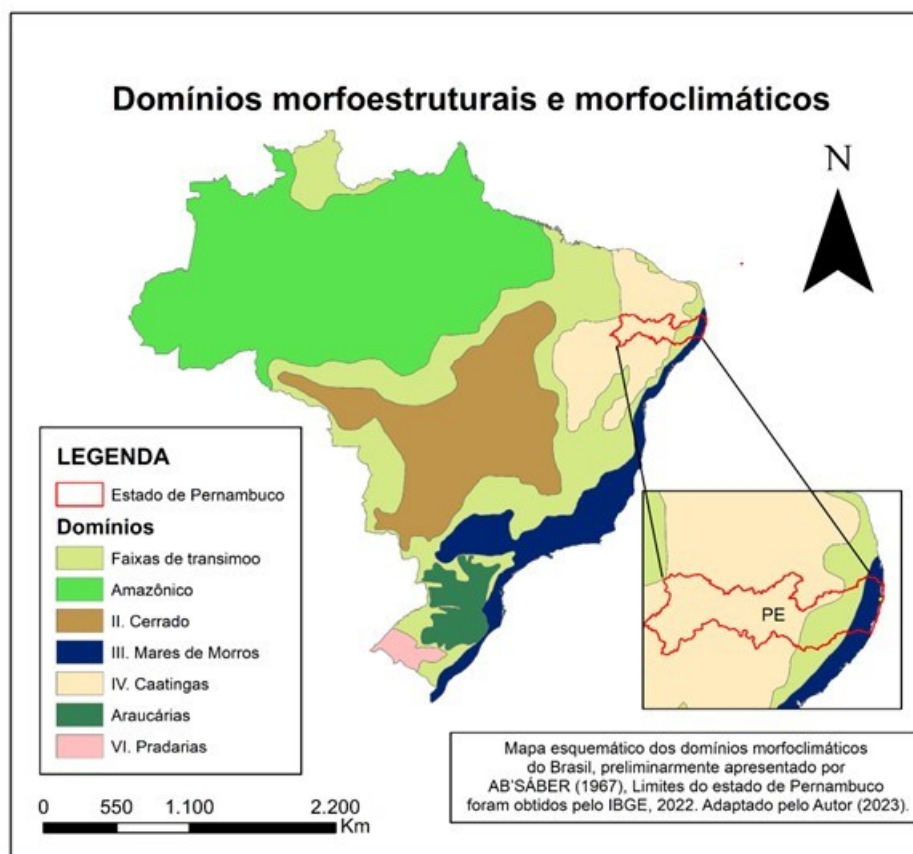


Figura 1. Mapa de Localização e Hipsometria do Município de Olinda e do Bairro de Águas Compridas.  
Fonte: Dados de elevação obtidos a partir do PE3D-Pernambuco Tridimensional (2013) e os limites pelo IBGE, 2010, Adaptado pelos Autores, 2023.

O bairro de Águas Compridas, localizado ao extremo norte do município de Olinda, possui uma área de 1,64 Km<sup>2</sup> e está situado em regiões de colinas. Essa parte oriental do Estado de Pernambuco apresenta um clima quente e úmido, o que propiciou o surgimento de um domínio morfoclimático conhecido

como "Mares de morros" florestados, conforme identificado por Ab' Sáber (1966) (Figura 2). No entanto, as características morfoestruturais desse local, aliadas à construção de residências em áreas inclinadas dos Mares de Morros, geram impactos negativos no bem-estar social dos moradores.



| Stream Power Index - SPI                                                                | Classificação (SPI)                                                               | Topographic Wetness Index - TWI | Classificação (TWI)                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|
| 1. Muito Baixo: $SPI < 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}^2$                                  | Indica um potencial muito baixo de erosão e transporte de sedimentos (Deposição). | 1. Muito Baixo: $TWI < 2$       | Indica áreas com umidade do solo muito baixa |
| 2. Baixo: $10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}^2 \leq SPI < 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^2$    | Indica um potencial baixo de erosão e transporte de sedimentos (Deposição).       | 2. Baixo: $2 \leq TWI < 4$      | Indica áreas com umidade do solo baixa       |
| 3. Moderado: $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^2 \leq SPI < 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2$ | Indica um potencial moderado de erosão e transporte de sedimentos (Médio).        | 3. Moderado: $4 \leq TWI < 6$   | Indica áreas com umidade do solo moderada    |
| 4. Alto: $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2 \leq SPI < 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}^2$     | Indica um potencial alto de erosão e transporte de sedimentos (Erosão).           | 4. Alto: $6 \leq TWI < 8$       | Indica áreas com umidade do solo alta        |
| 5. Muito Alto: $SPI \geq 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}^2$                                | Indica um potencial muito alto de erosão e transporte de sedimentos (Erosão).     | 5. Muito Alto: $TWI \geq 8$     | Indica áreas com umidade do solo muito alta  |

Fonte: Montgomery e Dietrich (1992) e Mitosova et al. (1996), adaptado pelos Autores 2023.

Conforme Conoscenti et al. (2008), o parâmetro TWI expressa a probabilidade da infiltração de água escoada superficial nas encostas, em função das condições topográficas e o parâmetro SPI indica o poder erosivo linear do escoamento superficial atuando em cada célula, capaz de descrever o fator de subcotação e saturação no sopé das encostas.

Já para Jaafari et al. (2014), o TWI reflete a tendência da água se acumular em qualquer ponto da bacia hidrográfica e o SPI é um indicador de processos erosivos, visto que, são causados pelo escoamento superficial.

Ademais, também foram utilizados parâmetros de declividade a partir da classificação de United States Geological Survey - USGS (2023). A declividade está no formato DEGREE-A, o qual indica inclinação de declividade calculada em graus. Os valores variam de 0 até 90 no geral, na região de estudo eles variam de 0 a 65 graus foi feito o parâmetro a partir de quebras naturais variando de 0° medida mínima e 65° a máxima.

A metodologia da curvatura foi realizada a partir de procedimentos manuais de definição de limiar, sendo eles (-0,5) e (0,5), que respectivamente correspondem a zonas côncavas convergentes e zonas convexas divergentes.

Os parâmetros de Orientação da vertente e Geologia também foram utilizados, pois possibilitam a compreensão de fenômenos de transporte e

deposição de sedimentos. Os dados de Geologia foram obtidos a partir da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (2004) e a orientação da vertente a partir de métodos de geoprocessamento utilizando de oMDT. Os dados de Elevação foram obtidos a partir do PE3D-Pernambuco Tridimensional (2013). Também foi necessário analisar o Uso do Solo e atividades Humanas, método proposto por Fidelis e Grigio (2019), para assim então consentir os dados obtidos por parâmetros dos Hidromorfológicos com a análise das atividades humanas e os possíveis efeitos na sociedade.

Além disso, se fez necessário da interpolação dos dados matriciais envolvendo Área Urbana/Edificada, Declividade e Curvatura conforme a Tabela 3, para assim então, estimar conforme os parâmetros de Moayed et al. (2019), as zonas de riscos. Para tanto, foi processado no seguinte formato, a priori, foi realizada a interpolação entre os locais de declividade entre 25° a 65° com a Área Urbana/Edificada, para achar os locais que possuem altas taxas de declividade com ocorrências de moradias. Foi utilizado o método em Software GIS, a partir da ferramenta de Seleção espacial para Feições de Camada alvo, que seleciona as camadas que estão sobrepostas.

Posteriormente, foi Interpolado seguindo os mesmos métodos, o resultado dessas residências em zonas declivosas com as áreas de curvatura em

confluência de caráter Côncavo Convergente, para então achar as residências de caráter vulnerável socioambiental, em zonas de alta declividade e

curvatura Côncavo Convergente, características de alta concentração de fluxo de materiais e água.

Tabela 3. Interpolação dos dados multifatoriais.

| Interpolação de Dados |                         |                                                 | Resultado     |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------------------------------|---------------|
| Área Urbana/Edificada | Declividade (25° a 65°) | Curvatura: Côncava Convergente (centróide)      | Cruzamento I  |
| Área Urbana/Edificada | Declividade (25° a 65°) | Curvatura: Côncava Convergente (Interseccionam) | Cruzamento II |

Fonte: adaptado de Bera et al. 2019.

O Cruzamento I corresponde às áreas que estão dentro ou sobre áreas de curvatura Côncava Convergente. Já o Cruzamento II corresponde às áreas que estão próximas e interseccionam as zonas de

curvatura Côncava Convergente, sendo assim, essa a diferença entre ambos os resultados obtidos nas interpolações.

### 3. Resultados e discussão

Nos últimos 8 anos ocorreram 6 acidentes com deslizamento de barreira apenas no Bairro de Águas Compridas no município de Olinda, com um total de 14 vítimas, sendo 9 delas mortas por soterramento e outras 5 conseguiram sobreviver, conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Números de vítimas e a localidade de ocorrência de incidentes.

| Data       | Vítimas<br>ao<br>Total | Vítimas<br>Fatais | Local              |
|------------|------------------------|-------------------|--------------------|
| 30/05/2016 | 3                      | 3                 | Rua do Amanhecer   |
| 24/07/2019 | 1                      | 1                 | Rua Arco Verde     |
| 24/07/2019 | 1                      | 1                 | Rua Aquarela       |
| 25/05/2022 | 2                      | 1                 | Córrego do Abacate |

|            |   |   |                     |
|------------|---|---|---------------------|
| 25/05/2022 | 2 | 2 | Rua Santos          |
| 06/02/2023 | 5 | 1 | Rua Seis de Janeiro |

Fonte: Compilação dos Autores, a partir de dados de Jornais (2023). AgênciaBrasil (2016), Exame (2019), TV Jornal (2022), G1 (2023).

Hutchinson (1968) define os movimentos gravitacionais de massa como sendo movimentos induzidos pela ação da gravidade, como por exemplo, os deslizamentos de encostas, Subsídências, Corridas de Massa e os Tombamentos de blocos rochosos.

Segundo Bandeira (2003), os principais atributos que afetam a estabilidade da encosta são os fatores geológico, topográfico e ambiental. Sendo assim, a partir de processamento de dados topográficos utilizando-se Modelos Digitais do Terreno (MDT) de alta resolução, , foi possível caracterizar a superfície da área a partir de parâmetros como Declividade, Direção da Encosta, Curvatura da Encosta e Geologia conforme a Figura 3.

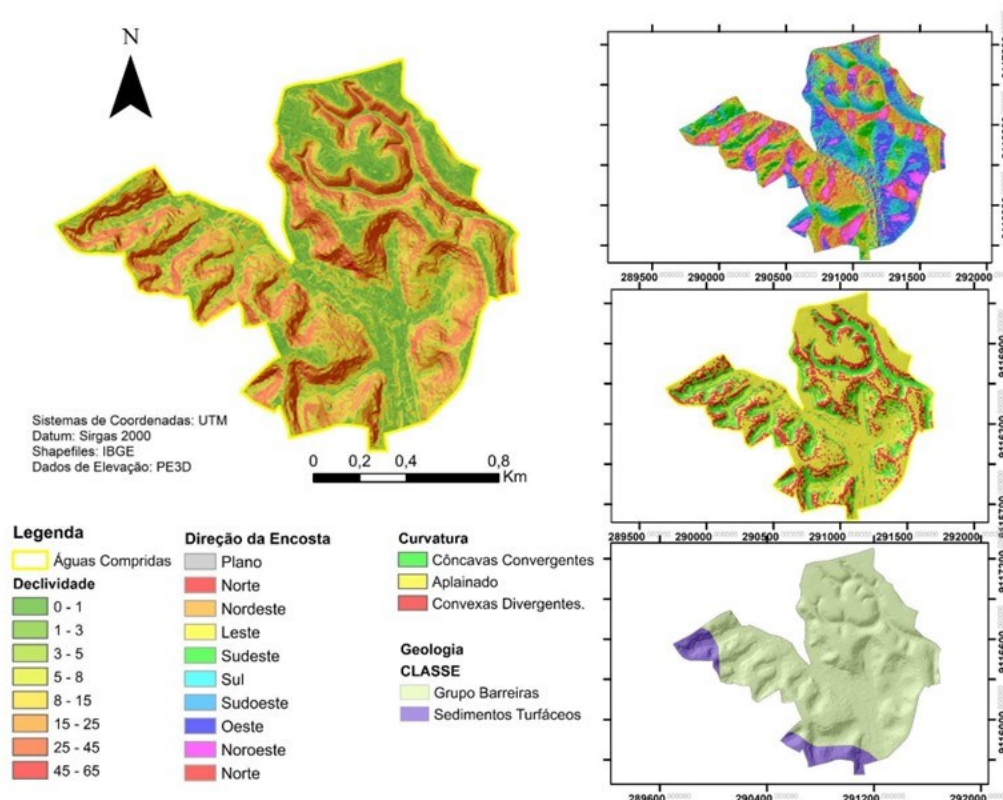


Figura 3: Delimitação e caracterização geomorfológica. Fonte: Dados de elevação obtidos a partir do PE3D-Pernambuco Tridimensional (2013). Dados do Mapa Geodiversidade do Brasil advém do CPRM (2004). Adaptado pelos Autores, 2023.

A partir da vetorização e reclassificação do raster de declividade, foi possível ter o resultado de 5.872,49 m<sup>2</sup> de Áreas de Preservação Permanente (APP), as quais tem um solo com inclinação em mais de 45° conforme parâmetros dos o SNIF (2023). Áreas de APP são protegidas pela Lei 12.651/2012 e são territórios de Preservação Permanente, sendo áreas de grande importância ecológica, cobertas ou não por vegetação nativa, que têm como função preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas (DEPRN, 2023). Nota-se no mapa de declividade, que grande parte da região é composta por áreas entre 15° e 65° de inclinação, abarcando uma área de 623.747 m<sup>2</sup>, cerca de 38.02% da área total do Bairro.

Na área de estudo predominam as encostas direcionadas para , as Sul, Nordeste e Leste, desse modo, as encostas são mais voltadas para o lado litorâneo, recebendo ventos e umidade proveniente do oceano A curvatura da encosta expõe a convexidade ou concavidade característica da superfície, independente da direção ou influência da gravidade. Valores positivos altos indicam áreas de desnudamento máximo e valores negativos altos indicam áreas de acúmulo máximo, segundo Minár et al. (2020). A Partir da vetorização foi possível constatar que na área de morros de Águas Compridas tem 433.616 m<sup>2</sup> = 26.43% de áreas superficiais com

características de desnudamento e potencial gravitacional, as quais são passíveis a gerar de fluxo superficial e movimentos de massa.

Além disso, também possuem áreas de curvatura negativa que indicam zonas de acumulação e potencial deposicional com 245.980 m<sup>2</sup> = 15% das áreas superficiais do Bairro o que no total da 41,43% da área total do bairro suscetível a sofrer ou receber deslizamento de massa.

O Grupo Barreiras é a formação geológica predominante na região, com 91,16% da área total conforme a figura 3.

A formação Barreiras é composto por uma continuidade de sedimentos detriticos, siliciclásticos, de origem fluvial e marinha (ARAI, 2006), pouco ou não consolidados, mal selecionados, de cores variegadas (Vilas Boas, 1996; Vilas Boas; Sampaio; Pereira, 2001. As feições do grupo barreiras que alteram de areias finas a grossas, predominando grãos angulosos e argilas cinza-avermelhadas (Mabessone Et Al., 1972; Bigarella, 1975; Lima, 2002), provocam a desagregação e movimentação gravitacional em áreas suscetíveis com declividades acentuadas e com saturação elevada, caracterizando formações de tabuleiros com topo aplainado e encostas escarpadas.

Os deslizamentos são problemas socioambientais que muitas vezes decorrem da falta de organização do espaço. O processo de planejamento urbano tem como propósito ordenar, articular e equipar o espaço, de maneira racional, direcionando a

malha urbana, assim como suas áreas ou zonas, a determinados usos e funções (Honda et al. (2015).

A falta de programas de planejamento, pode ocasionar situações de perigo e insegurança social, como é o atual cenário do Bairro de Águas Compridas.

No bairro existem muitas zonas urbanas edificadas em regiões de Áreas de Preservação Permanente (APP), conforme a figura 4.

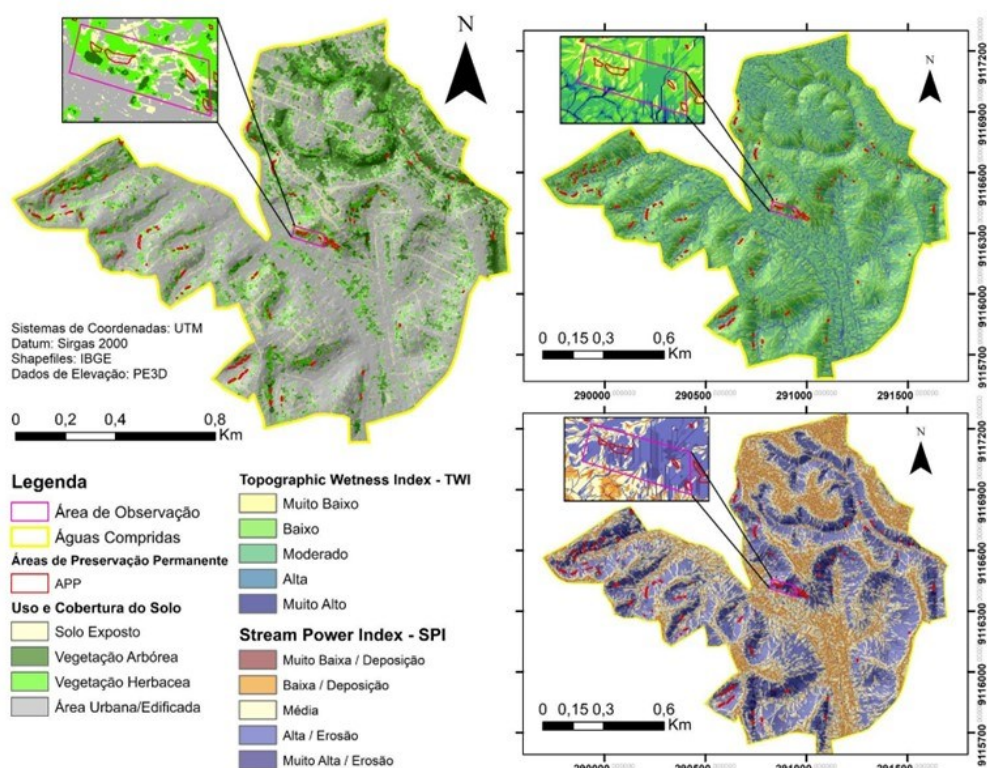


Figura 4: Mapa de uso e Cobertura do Solo, Autores (2023). Delimitação do Topographic Wetness Index - TWI e do Stream Power Index - SPI, foi realizada pelos Autores (2023), a partir de dados de elevação obtidos a partir do PE3D-Pernambuco Tridimensional (2012).

A ocupação de encostas através da instalação de moradias em áreas de preservação permanente é um risco alto de danos e perdas sociais. Nota-se na figura 4, que as áreas edificadas estão próximas das áreas de risco indicadas pela demarcação das APP de cor avermelhada e por vezes zonas edificadas estão dentro ou sobre zonas de APP o que torna mais perigoso e aumenta a vulnerabilidade.

A vertente, sistema de interesse nesse estudo, é considerado em sentido amplo como sistema processo resposta (Gregory, 1992). Sendo assim, a gravidade juntamente com processos antrópicos de desnudação do solo em áreas impróprias, correspondem a um alto grau de suscetibilidade a processos de carreamento de massa, alavancados em períodos de saturação do solo.

A figura 4 também mostra os efeitos da velocidade de deslocamento de material e a capacidade do transporte de massa, através do parâmetro SPI. Esta variável hidrológica tem grande importância nos processos geomorfológicos, condicionando cursos de água e deslocamento de colúvio (Christofolletti, 1974).

A classificação do SPI identifica diferentes níveis de potência de fluxo em um sistema de drenagem, para tanto, segundo os autores, Montgomery e Dietrich (1992) a morfologia do terreno contribui significativamente para o processo de agressividade e risco de degradação do solo.

Na figura 4 é possível observar que os valores mais altos de SPI estão associados a zonas de maior altimetria e perto de áreas com maior declividade, já os valores mais baixos estão em áreas de altimetria amenas e fundo de vales. Observa-se que muitas áreas urbanas/edificadas estão próximas a locais com índices de SPI Muito Alto (Erosão), o que torna zonas suscetíveis a acidentes socioambientais gravitacionais de massa.

Ademais, pode-se notar também na figura 4, que a relação entre solo e umidade do solo estão totalmente relacionadas com o coeficiente de altimetria do relevo. As áreas com declives mais suaves e uma drenagem mais lenta (Figura 4), como o sopé dos morros, tendem a ter uma maior umidade. Por outro lado, as áreas de baixa umidade estão associadas

a declives mais íngremes e uma drenagem mais rápida, como as zonas de topo de relevo.

Essa configuração resulta em sopés de colinas mais úmidos o que pode decorrer, caso sejam sucedidos a processos antrópicos a montante, em áreas vulneráveis a movimentos de massa, como é evidenciado no caso do bairro de Águas Compridas em zonas próximas de Áreas de Preservação Permanente (APPs).

Conforme Mahdadi et al. (2018) o fato é que não há apenas um único fator por trás dessas

instabilidades, mas a interação de uma grande variedade de fatores pertencentes às características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas do terreno, bem como às atividades relacionadas ao homem. Sendo assim, a partir do processamento de dados e cruzamentos de importantes matriciais no fator de risco a deslizamento, foi possível obter resultados de áreas com maior suscetibilidade, como podemos observar na figura 5.

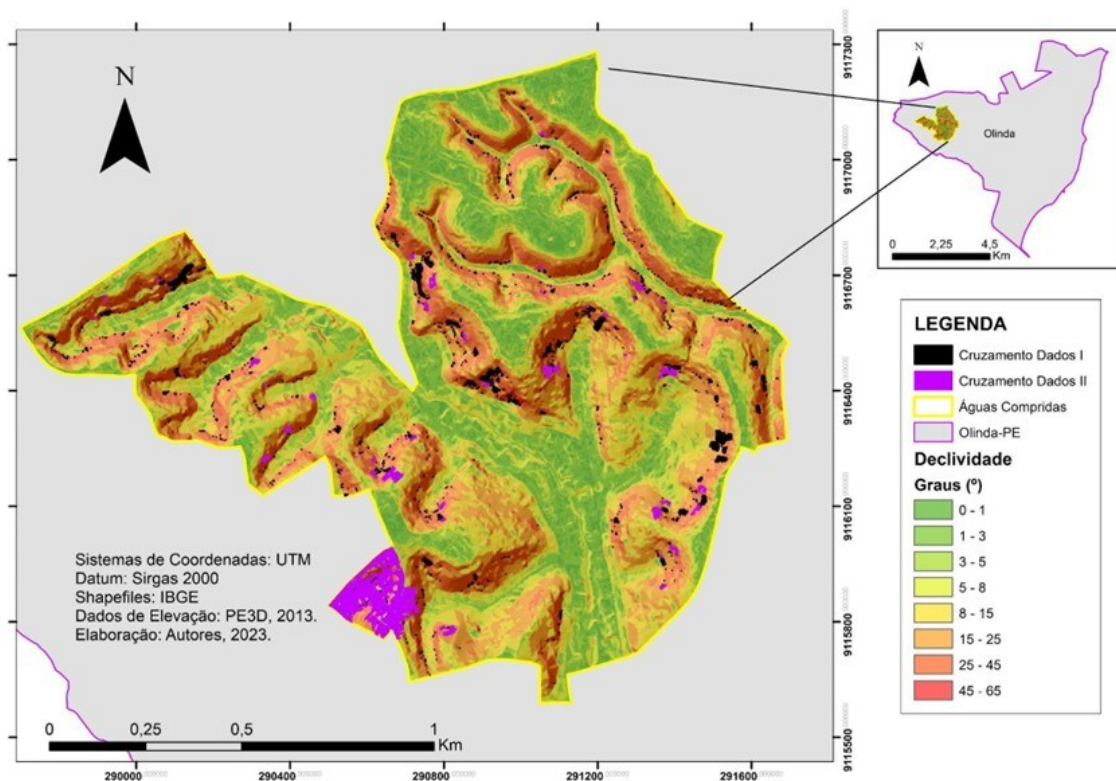


Figura 5: Mapeamento de zonas de risco a partir de parâmetros de Cobertura do Solo, Declividade e Curvatura da Encosta, Autores (2023). Dados de elevação obtidos a partir do PE3D-Pernambuco Tridimensional (2013).

A figura 5 representa o mapeamento de zonas de risco, com base no trabalhos de Bera et al. (2019) e Moayedi et al. (2019), que para modelar as ocorrências de deslizamentos e calcular os valores de suscetibilidade a deslizamentos, se fez necessário a exploração da interpolação de fatores influentes. Então, na figura 5 foi realizada a interpolação de parâmetros como Cobertura do Solo (Área Urbana/Edificada), Declividade e Curvatura da vertente, que resultaram em dois cruzamentos. O Cruzamento I corresponde às áreas urbanas com edificações que estão dentro de altas taxas de declividade, variando entre 25° a 65° e com o perímetro sobre áreas de curvatura côncava convergente.

Já o Cruzamento II é a interpolação das áreas urbanas com edificações que estão dentro de altas taxas de declividade, variando entre 25° a 65°, porém,

que posteriormente foram interpolados com áreas que ficam próximas ou interseccionam as zonas de curvatura, sendo assim, não estão dentro das zonas de curvatura côncava convergente, mas sim em áreas limítrofes.

Portanto, as residências que se configuram em polígonos de cor preta, localizadas no Cruzamento I estão em áreas de susceptibilidade de risco de a escorregamento gravitacional de solo, já que, estão em áreas de declividades acentuadas e dentro de vales de curvatura Côncava Convergente. Já as residências do Cruzamento II, que se configuram em polígonos de cor lilás, também se configuram em áreas de risco, posto que, estão bem próximas e interseccionam áreas que estão em alto risco. O resultado atende assim ao padrão exigido por Moayedi et al. (2019) de utilização multifatorial de influência a ocorrências de deslizamentos e de suscetibilidade a deslizamentos.

Tal qual, consiste relacionar variáveis topográficas, sucedidas aos índices e relações socioambientais que culminam em áreas vulneráveis favoráveis a ocorrências e com alto potencial de suscetibilidade a escorregamento gravitacional. Resultado da avaliação da suscetibilidade a deslizamentos pelo método multifatorial é um mapa espacial bruto de residências com suscetibilidade a deslizamentos.

## Conclusão

Deslizamentos de terra são um perigo comum em áreas de morros altamente urbanizados no município de Olinda, especialmente durante períodos de alta saturação do solo.

Portanto, o objetivo deste estudo consiste em criar mapas que identifiquem a vulnerabilidade a possibilidades de deslizamento de terra na região de Águas Compridas, de modo que estratégias apropriadas de prevenção a desastres e deslizamentos possam ser desenvolvidas.

Nesta pesquisa, foram utilizados índices hidrológicos como TWI e SPI para entender a influência da hidrodinâmica no processo, parâmetros topográficos para compreender a importância morfológica gravitacional do relevo no processo e métodos padrões de investigação da influência a ocorrências de deslizamentos e suscetibilidade a deslizamentos, utilizados por autores referência..

O resultado desta pesquisa ajudará as comunidades locais em situação de perigo, no planejamento urbano e na redução das perdas causadas por deslizamentos de terra futuros por meio de prevenção, mitigação e cuidado das áreas de vulnerabilidade socioambientais. Os resultados também são úteis para explicar os fatores determinantes dos últimos deslizamentos de terra ocorridos no bairro de Águas Compridas e também para alertar sobre possíveis localidades em risco de deslizamento.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à UFPE pela infraestrutura disponibilizada para Análise e Processamento de Imagens.

## Referências

- AgênciaBrasil, 2016. Moradores de Olinda avisaram Defesa Civil sobre risco de deslizamento. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-05/moradores-de-olinda-avisaram-defesa-civil-sobre-risco-de-deslizamento>>. Acesso em: 20/03/2023.
- Ahmed, B. (2015). Landslide susceptibility mapping using multi-criteria evaluation techniques in Chittagong

- Metropolitan Area, Bangladesh. Landslides, 12(6), 1077-1095.
- Arai, M. A. 2006. Grande elevação eustática do mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. Geologia. USP. Série Científica, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1-6.
- Bandeira, A. P. (2003), Mapa de Risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no Município de Camaragibe-PE. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG, Engenharia Civil, 2003.
- Bera, A., Mukhopadhyay, B. P., & Das, D. (2019). Landslide hazard zonation mapping using multi-criteria analysis with the help of GIS techniques: a case study from Eastern Himalayas, Namchi, South Sikkim. Natural Hazards, 96, 935-959.
- Bigarella, J. J. The Barreiras Group in Northeastern Brazil. An. Acad. Bras. Ci. v. 47, (suplemento), p. 366-392, 1975.
- Christofoletti, Antonio, 1974 Geomorfologia. Editora Blucher.
- Conoscenti, C., Di Maggio, C., & Rotigliano, E. (2008). GIS analysis to assess landslide susceptibility in a fluvial basin of NW Sicily (Italy). Geomorphology, 94(3-4), 325-339.
- CPRM, 2004. Mapa Geológico do Brasil. Escala 1:1.000. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/4de151f5-6d20-4e87-b49c-c9b0ea65440c>> . Acesso em: 05/02/2023.
- DEPRN. Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais, 2023. Áreas de Preservação Permanente. Disponível em: <<http://www.fundacaoofia.com.br/gdusm/app.htm>>. Acesso em: 12/04/2023
- Do Brasil, C. S. G. (2006). Mapa geodiversidade do Brasil, escala 1: 2.500. 000.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute, 2023. Função Inclinação. Disponível em: <<https://enterprise.arcgis.com/pt-br/portal/10.7/use/slope-function.htm#:~:text=A%20declividade%20representa%20a%20taxa,primeiro%20derivado%20de%20um%20DEM>> Acesso em: 10/02/23.
- Exame, 2019. Fortes chuvas em Pernambuco deixam mortos em Olinda e no Recife. Disponível em: <<https://exame.com/brasil/fortes-chuvas-em-pernambuco-deixam-cinco-mortos-em-olinda-e-no-recife/>>. Acesso em: 21/03/2023.
- Fidelis-Medeiros, F., & Grigio, AM (2019). Identificação das Unidades Homogêneas e Padrão da Ocupação Urbana (uhct) como subsídio ao ordenamento territorial em Mossoró, RN—Brasil. EURE (Santiago) , 45 (135), 245-270.
- G1. Globo, 2023. Barreira desliza sobre casas e soterra moradores em Olinda. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2023/02>>

- /06/barreira-desliza-sobre-casa-em-olinda.ghml>.  
Acesso em: 23/03/2023.
- Ghunowa, K., MacVicar, B. J., & Ashmore, P. (2021). Stream power index for networks (SPIN) toolbox for decision support in urbanizing watersheds. *Environmental Modelling & Software*, 144, 105185.
- Gregory, KJ; Davis, RJ; Downs, PW, 1992. Identificação da alteração da calha do rio devido à urbanização. *Geografia Aplicada*, v. 12, n. 4, pág. 299-318.
- Hadmoko, D. S., Lavigne, F., & Samodra, G. (2017). Application of a semiquantitative and GIS-based statistical model to landslide susceptibility zonation in Kayangan Catchment, Java, Indonesia. *Natural Hazards*, 87, 437-468.
- Honda, S. C. de A. L., Vieira, M. do C. V., Albano, M. P. & Maria, Y. R., 2015. Planejamento ambiental e ocupação do solo urbano em Presidente Prudente (sp). *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 7(1), 62-73.
- Hutchinson, J. N, 1968, Mass Moviment. In: Encyclopedia of Geomorphology. New York: Ed. R. W. Fairbridge. Reinhold Book.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Censo Brasileiro de 2010. Caracterizações Urbanas do Brasil, informações estatísticas e geográficas. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.
- Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H. R., Rezaeian, J., & Sattarian, A. (2014). GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11, 909-926.
- Kouli, M., Loupasakis, C., Soupios, P., & Vallianatos, F. (2010). Landslide hazard zonation in high risk areas of Rethymno Prefecture, Crete Island, Greece. *Natural hazards*, 52, 599-621.
- Kumar, D., Thakur, M., Dubey, C. S., & Shukla, D. P. (2017). Landslide susceptibility mapping & prediction using support vector machine for Mandakini River Basin, Garhwal Himalaya, India. *Geomorphology*, 295, 115-125.
- Lima, C. C. U. de, 2002. Caracterização sedimentológica e aspectos do Grupo Barreiras no litoral sul do estado da Bahia. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Mabesoone, J. M.; Campos, E.; Silva, A.; Beurlen, K, 1972. Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. *Rev Bras Geoc.*, v. 2, p. 173-190.
- Mahdadi, Fatma et al. GIS-based landslide susceptibility assessment using statistical models: a case study from Souk Ahras province, NE Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 11, p. 1-21, 2018.
- Merghadi, A., Yunus, A. P., Dou, J., Whiteley, J., ThaiPham, B., Bui, D. T., ... & Abderrahmane, B. (2020). Machine learning methods for landslide susceptibility studies: A comparative overview of algorithm performance. *Earth-Science Reviews*, 207, 103225.
- Minár, J., Evans, I. S., & Jenčo, M, 2020. "Um sistema abrangente de definições de curvaturas (topográficas) da superfície terrestre, com implicações para sua aplicação em modelagem e previsão de geociências". *Earth-Science Reviews*, 103414. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103414>
- Mitasova, Helena et al. 1996. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International journal of geographical information systems*, v. 10, n. 5, p. 629-641.
- Moayedi, H., Mehrabi, M., Mosallanezhad, M., Rashid, A. S. A., & Pradhan, B. (2019). Modification of landslide susceptibility mapping using optimized PSO-ANN technique. *Engineering with Computers*, 35, 967-984.
- Montgomery, D. R., & Dietrich, W. E. (1992). Channel initiation and the problem of landscape scale. *Science*, 255(5046), 826-830.
- Montgomery, DR; Dietrich, WE, 1992. Source areas, drainage density and channel initiation. *Water Resources Research*, v. 28, no. 4, pg. 1089-1092.
- PE3D. Pernambuco tridimensional, 2023. O que é o programa?. Disponível em: <<http://www.pe3d.pe.gov.br/>>. Acesso em: 20/02/2023.
- Santos, A.M., Galvêncio, JD, 2013. Mudanças climáticas e cenários de suscetibilidade ambiental à desertificação em municípios do estado de Pernambuco. *Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia* 5, 66-83
- Sarkar, S., & Kanungo, D. P. (2004). An integrated approach for landslide susceptibility mapping using remote sensing and GIS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(5), 617-625.
- Schlögel, R., Marchesini, I., Alvioli, M., Reichenbach, P., Rossi, M., & Malet, J. P. (2018). Optimizing landslide susceptibility zonation: Effects of DEM spatial resolution and slope unit delineation on logistic regression models. *Geomorphology*, 301, 10-20.
- SNIF. Sistema Nacional de Informações Florestais, 2023. Áreas de Preservação Permanente. Disponível em: <[https://snif.florestal.gov.br/pt-br/conservacao-das-florestas/183-areas-de-preservacao-permanente#:~:text=As%20%C3%81reas%20de%20Preserva%C3%A7%C3%A3o%20Permanente,como%20fixadoras%20de%20dunas%20ou](https://snif.florestal.gov.br/pt-br/conservacao-das-florestas/183-areas-de-preservacao-permanente#:~:text=As%20%C3%81reas%20de%20Preserva%C3%A7%C3%A3o%20Permanente,como%20fixadoras%20de%20dunas%20ou>)>. Acesso em: 11/03/2023.
- TV Jornal, 2022. Chuva: Deslizamento de barreira causa morte em Olinda após madrugada de chuvas. Disponível em <<https://tvjornal.ne10.uol.com.br/noticias/2022/05/15014422-chuva-deslizamentos-de-barreira-deixam-mortos-em-olinda-apos-madrugada-de-chuvas.html>>. Acesso em: 23/03/2023.
- USGS. United States Geological Survey, 2023. Para determinar a porcentagem de inclinação e o ângulo de inclinação. Disponível em:

<<https://www.usgs.gov/educational-resources/determine-percent-slope-and-angle-slope>>.  
Acesso em: 10/04/2023

Vilas Boas, G. S. Sedimentos terciários e quaternários do interior. In: TEXTO explicativo para o mapa geológico do Estado da Bahia. Salvador: Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração: Superintendência de Geologia e Recursos Minerais, 1996.

Vilas Boas, G. S.; Sampaio, F. J.; Pereira, A. M. S, 2001. The Barreiras Group in the northeastern coast of the State of Bahia, Brasil: depositional mechanisms and processes. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 73, n. 3, p. 417-427..