



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DANIEL NIVALDO DA CONCEIÇÃO

IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A
MOVIMENTOS DE MASSA E INUNDAÇÕES/ALAGAMENTOS NA ÁREA
URBANA DE MACEIÓ, ALAGOAS

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Nivaneide Alves de Melo
Falcão.

MACEIÓ – AL
2023

DANIEL NIVALDO DA CONCEIÇÃO

**IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A
MOVIMENTOS DE MASSA E INUNDAÇÕES/ALAGAMENTOS NA ÁREA
URBANA DE MACEIÓ, ALAGOAS**

Dissertação de mestrado apresentado ao programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geografia Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Alagoas, na área de concentração em Organização do Espaço Geográfico, na linha relacionada a Dinâmica socioambiental e geoprocessamento.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Nivaneide Alves de Melo Falcão.

MACEIÓ – AL
2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Helena Cristina Pimentel do Vale CRB4 - 661

C744i Conceição, Daniel Nivaldo da.
Identificação e mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa e inundações/alagamentos na área urbana de Maceió, Alagoas / Daniel Nivaldo da Conceição. – Maceió, 2024.
108 f. : il.

Orientadora: Nivaneide Alves de Melo Falcão.
Dissertação (mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas, Instituto Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 102-108.

1. Geoprocessamento. 2. Suscetibilidade. 3. Movimentos de massa.
4. Inundações. 5. Alagamentos – Maceió (AL). I. Título.

CDU: 551.311.2(813.5)

Dedico, primeiramente

à Deus, por toda bondade, generosidade e amparo nas duras horas dessa
jornada.

À minha família, em especial as minhas mães, Djanira Maria da Silva e Maria
Madalena da Conceição por todo o suporte, base e proteção.

Ao meu falecido pai, José Vieira da Silva, o qual me proveu todo caráter que
carrego.

À minha amada esposa, Cássia Santos da Silva, à quem tenho profundo amor,
carinho e admiração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, provedor de todas as coisas em minha vida, me proporcionando a compaixão, serenidade, paciência e sabedoria até aqui adquiridos.

Expresso aqui meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas e instituições que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização e finalização deste importante marco na minha vida acadêmica e conseqüentemente pessoal.

Ao meu falecido pai, José Vieira da Silva, este que proveu em vida tudo que precisei para traçar uma jornada digna até o presente momento, pessoa essa de quem lembro com alegria e saudade.

As minhas duas mães, Maria Madalena da Conceição e Djanira Maria da Silva, pelo amor incondicional, pelo esforço em me proporcionar o que tinha de melhor ao longo da minha vida, além disso, contribuindo expressivamente na formação do meu caráter.

À minha família, por acreditar em mim e me incentivar a perseguir meus sonhos com determinação e coragem.

A minha amada esposa, Cássia Santos da Silva, mulher com quem compartilho a vida, desde os momentos ruins aos mais felizes, a quem devo gratidão por sua compreensão e paciência nos momentos difíceis, por todo companheirismo e amor no decorrer de todos esses anos.

A minha orientadora, Profa. Dra. Nivaneide Alves de Melo Falcão, pela orientação, apoio e paciência durante todo o processo de pesquisa. Seu conhecimento, habilidade e dedicação foram fundamentais para o sucesso deste trabalho, e suas atividades imprescindíveis realizadas através do Laboratório de Geomorfologia e Solos (GEOMORFOS) para os recentes avanços alcançados pelo IGDEMA - Ufal (Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Alagoas).

Aos professores do IGDEMA e do seu respectivo Programa de Pós-graduação, em especial ao então coordenador do Programa, Prof. Dr. Kleython de Araújo Monteiro, que no decorrer do curso foi sempre solícito em atender às minhas solicitações e anseios.

Ao amigo, Geógrafo do Igdema, Me. Esdras de Lima Andrade, onde enxergo referência profissional e possuo profunda admiração e gratidão por toda experiência e conhecimentos repassados, desde a minha graduação, estágio e até o presente momento, colaborando significativamente no decorrer de mais esta pesquisa.

Aos amigos do Instituto do Meio Ambiente de Alagoas (IMA-AL) que me apoiaram, encorajaram e estenderam a mão durante esta jornada, em especial ao amigo, Whendel Cezar Silva de Couto, pelo suporte, parceria e dedicação nas atividades realizadas no órgão diariamente; ao então Gerente de Unidades de Conservação, Geógrafo, Me. e amigo Alex Nazário de Oliveira, a quem tenho admiração, referência profissional e gratidão pelas oportunidades dadas no decorrer da jornada acadêmica e profissional; e ao também amigo e Geógrafo, Júlio de França Rodrigues T. Costa, pelo apoio e companheirismo nas nossas atividades do dia-a-dia.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”. (Marthin Luther King)

RESUMO

O processo de expansão urbana que vem acontecendo em diversas cidades do Brasil deve ser visto com o devido cuidado por parte do Poder Público, já que a falta de políticas de ordenamento urbano, o não cumprimento do planejamento municipal (Plano Diretor) e a deficiência na fiscalização das intervenções nas cidades podem levar ao uso incorreto dos espaços e ocupação desordenada de áreas com restrições ambientais, ocasionando processos que envolvem o crescimento de áreas sensíveis à ocupação pela população. As ocupações humanas em encostas e próximas aos corpos d'água, promovem mudanças significativas da dinâmica natural fazendo com que os indivíduos passem a ficar expostos a eventos hidrológicos e movimentos de massa. Em se tratando de análises da paisagem, os sistemas de informações geográficas trazem um leque de técnicas e ferramentas de interpretação e manipulação de dados espaciais que propiciam a geração de informações que subsidiam a avaliação e tomada de decisão. Deste modo, o presente estudo identificou por meio de geoprocessamento e apoiados nos procedimentos que consistem na Análise Multicritério de Apoio Decisão (MCDA), especificamente no uso do Processo de Análise Hierárquica (AHP) que permite comparar e avaliar diferentes opções com base em critérios e subcritérios ponderados, atribuições de pesos e notas apontando a prioridade de cada variável em relação a cada uma de suas características, as áreas com graus de suscetibilidade a movimentos de massa e inundações/alagamentos visando subsidiar esforços de preservação ambiental e enriquecer o conhecimento de forma integral da área urbana de Maceió, para que no futuro se estabeleça um plano de gerenciamento e ordenamento populacional que preze por estratégias de uso do solo com a definição de áreas passíveis para ocupação. Por fim, os dados mostram que a Zona Urbana de Maceió possui uma maior suscetibilidade a inundações/alagamentos do que a deslizamento de massa, e por isso, as políticas públicas municipais precisam ter um olhar mais atento e realizar mais ações voltadas a esta questão, tais como obras de infraestrutura e drenagem urbana, mas sem descuidar das situações que deixam a população mais vulnerável a deslizamentos, sendo este um ponto de relevante interesse no seu planejamento urbano, que também deve ser levado em consideração na revisão do principal instrumento para gestão e planejamento urbano, o Plano Diretor Municipal, que no momento da elaboração deste trabalho, se encontra em um atraso de 8 (oito) anos na sua revisão.

Palavras-Chave: Geoprocessamento. Suscetibilidade. Movimentos de Massa. Inundações/Alagamentos.

ABSTRACT

The process of urban expansion occurring in various cities in Brazil must be approached with caution by the Public Authorities, as the lack of urban planning policies, non-compliance with municipal planning (Master Plan), and deficiencies in monitoring interventions in cities can lead to incorrect use of spaces and disorderly occupation of environmentally restricted areas, resulting in processes involving the growth of areas sensitive to population occupation. Human settlements on slopes and near bodies of water bring about significant changes in natural dynamics, exposing individuals to hydrological events and mass movements. Regarding landscape analysis, geographic information systems offer a range of techniques and tools for interpreting and manipulating spatial data, facilitating the generation of information that supports evaluation and decision-making. Thus, this study identified, through geoprocessing and supported by procedures involving Multicriteria Decision Analysis (MCDA), specifically using the Analytic Hierarchy Process (AHP), the ability to compare and assess different options based on weighted criteria and subcriteria, assigning weights and scores indicating the priority of each variable in relation to each of its characteristics. This was done to identify areas with susceptibility to mass movements and floods/flooding, aiming to support environmental preservation efforts and enhance comprehensive knowledge of the urban area of Maceió. This is intended to establish a future population management and planning plan that prioritizes land use strategies with the definition of suitable areas for occupation. Finally, the data indicate that the Urban Zone of Maceió is more susceptible to floods/flooding than mass movements. Therefore, municipal public policies need to pay closer attention and undertake more actions addressing this issue, such as infrastructure and urban drainage works, while also addressing situations that leave the population more vulnerable to mass movements. This is a point of significant interest in urban planning, which should also be taken into account in the revision of the main instrument for urban management and planning, the Municipal Master Plan, which, at the time of this work, is eight years behind in its revision.

Keywords: Geoprocessing. Susceptibility. Mass Movements. Floods/Flooding.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfil esquemático do processo de rastejo (creep).....	25
Figura 2 - Perfil esquemático do processo de corridas de massa (debris flow).....	26
Figura 3 - Perfil esquemático do processo de escorregamento. Cenário (A) escorregamento planar ou translacional e Cenário (B) escorregamento circular ou rotacional.	28
Figura 4 - Perfil esquemático do processo de queda de blocos.	29
Figura 5 - Cenário (A): Perfil esquemático do processo de tombamento de blocos rochosos. Cenário (B): Perfil esquemático do processo de rolamento de blocos rochosos.....	30
Figura 6 - Modelo Hierárquico AHP.....	49
Figura 7 -Exemplo de Matriz Quadrada Dominante.	50
Figura 8 - Cálculo do somatório dos pesos da avaliação.....	51
Figura 9 - Matriz de comparação par a par normalizada.....	52
Figura 10 - Cálculo do autovalor máximo.....	52
Figura 11 - Mapa de Localização da área de estudo.....	55
Figura 12 - Bacias Hidrográficas abrangidas pela área urbana de Maceió.	58
Figura 13 - Fluxograma dos principais procedimentos realizados na pesquisa.	62
Figura 14 – Representação da distribuição da porcentagem das unidades Geológicas da área urbana de Maceió.....	76
Figura 15 - Unidades Geológicas da área urbana de Maceió.	77
Figura 16 - Unidades Geomorfológicas da área urbana de Maceió.	78
Figura 17 – Representação da distribuição da porcentagem das classes Geomorfológicas da área urbana de Maceió.....	79
Figura 18 - Unidades de Solos da área urbana de Maceió.	80
Figura 19 – Representação da distribuição da porcentagem das Unidades de Solos da área urbana de Maceió.....	81
Figura 20 - Uso do Solo e Cobertura Vegetal área urbana de Maceió.	82
Figura 21 – Representação da distribuição da porcentagem das classes do Uso do Solo e Cobertura Vegetal da área urbana de Maceió.....	83
Figura 22 - Intensidade Pluviométrica na Zona Urbana de Maceió.....	85
Figura 23 – Representação da distribuição da porcentagem de Intensidade Pluviométrica da área urbana de Maceió.	85
Figura 24 – Declividade na Zona Urbana de Maceió.....	86

Figura 25 – Representação da distribuição da porcentagem de Declividade da área urbana de Maceió	87
Figura 26 - Suscetibilidade a Inundações/Alagamentos.....	88
Figura 27 – Representação da distribuição da porcentagem dos graus de Suscetibilidade a Inundações/Alagamentos em relação ao Uso do Solo e Cobertura Vegetal na Área Urbana de Maceió.	90
Figura 28 – Representação do Alto Grau de Suscetibilidade a Inundações/Alagamentos.....	91
Figura 29 - Representação do Alto Grau de Suscetibilidade a Inundações/Alagamentos.....	92
Figura 30 e 31 - Eventos hidrológicos localizados nos bairros Bom Parto e Farol.....	93
Figura 32 e 33 - Eventos hidrológicos localizados nos bairros Santa Lúcia e Bebedouro.	93
Figura 34 e 35 - Eventos hidrológicos localizados nos bairros Ponta Verde e Jacarecica.	93
Figura 36 e 37 - Eventos hidrológicos em áreas localizadas no bairro da Levada.	94
Figura 38 e 39 - Eventos hidrológicos em áreas localizadas nos bairros Mangabeiras e Jatiúca	94
Figura 40 e 41 - Eventos hidrológicos em áreas localizadas nos bairros Tabuleiro do Martins e Poço.	94
Figura 42 - Representação do Alto Grau de Suscetibilidade a Inundações/Alagamentos.....	95
Figura 43 - Representação do Baixo Grau de Suscetibilidade a Inundações/Alagamentos.	96
Figura 44 - Representação Muito Baixo Grau de Suscetibilidade a Inundações/Alagamentos.	97
Figura 45 - Suscetibilidade a movimentos de massa.	99
Figura 46 – Representação da distribuição da porcentagem dos graus de Suscetibilidade a Movimentos de Massa em relação ao Uso do solo e Cobertura Vegetal na área urbana de Maceió.	100
Figura 47 - Representação do Muito Baixo Grau de Suscetibilidade a Movimentos de Massa.	101
Figura 48 – Representação do Muito Alto Grau de Suscetibilidade a Movimentos de Massa.	102
Figura 49 e 50 - Ocupações humanas em encosta nos bairros Bom Parto e Mangabeiras....	102
Figura 51 e 52 - Ocupações humanas em encosta nos bairros Jacintinho.	103
Figura 53 e 54 - Ocupações humanas em encosta nos bairros Jacintinho e Feitosa.....	103
Figura 55 e 56 - Ocupações humanas em encosta nos bairros Mangabeiras e Feitosa.	103
Figura 57 e 58 - Ocupações humanas em encosta nos bairros Farol.....	104

Figura 59 e 60 - Ocupações humanas em encosta nos bairros Chã da Jaqueira e Chã de Bebedouro.....	104
Figura 61 - Representação do Alto Grau de Suscetibilidade a Movimentos de Massa.....	105
Figura 62 - Representação Muito Alto Grau de Suscetibilidade a Movimentos de Massa. ...	106
Figura 63 - Representação do Baixo Grau de Suscetibilidade a Movimentos de Massa.	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Escala com classificação decrescente de resistência das rochas.	31
Quadro 2 - Classes de declividade associadas a diferentes tipos de movimentos de massa. ...	34
Quadro 3 - Escala de Importância de Saaty.....	50
Quadro 4 - Escala de Comparação par-a-par.....	51
Quadro 5 - Cálculo do Autovetor Máximo.....	52
Quadro 6 - Índice de Consistência aleatória.....	53
Quadro 7 - Área das bacias hidrográficas na Área Urbana de Maceió.....	57
Quadro 8 - Taxas de evasão Escolar em Nível Nacional, Estadual e Municipal.	59
Quadro 9 - Municípios e seu Produto Interno Bruto per capita, participação no PIB Nacional (2019), e Índices de Desenvolvimento Municipal (2010).	59
Quadro 10 - Características das imagens do Satélite CBERS-04A.....	63
Quadro 11 - Matriz de Comparação par a par para definição dos pesos das variáveis dos Movimentos de Massa.....	67
Quadro 12 - Matriz de Comparação par a par para definição dos pesos das variáveis das Inundações/Alagamentos.....	71
Quadro 13 - Planimetria do mapa de Unidades Geológicas.....	75
Quadro 14 - Planimetria do mapeamento das Unidades Geomorfológicas da área urbana de Maceió.	78
Quadro 15 - Planimetria do mapeamento das Unidades de Solos da área urbana de Maceió..	79
Quadro 16 - Planimetria do Uso do Solo e Cobertura Vegetal Área Urbana de Maceió.	82
Quadro 17 - Planimetria da Intensidade Pluviométrica.....	84
Quadro 18 - Planimetria do mapa de declividade.....	87
Quadro 19 - Planimetria do mapa de Suscetibilidade a Inundações/Alagamentos e intersecção com uso do solo.	89
Quadro 20 - Planimetria do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa, e da intersecção com o uso do solo.....	97

SUMÁRIO

1INTRODUÇÃO	17
1.1 Justificativa.....	19
2REVISÃO TEÓRICA-CONCEITUAL E METODOLÓGICA	21
2.1 Urbanização e planejamento urbano.....	21
2.2 Desastres.....	22
2.3 Os movimentos de massa	22
2.4 Tipos de Movimentos de Massa	24
2.5 Condicionantes para o desencadeamento dos movimentos gravitacionais de massa.....	30
2.6 As inundações e alagamentos.....	36
2.7 Terminologias que envolvem análises enquanto desastres	38
2.8 Efeitos da urbanização na impermeabilização, escoamento superficial e risco de movimento de massa	41
2.9 Geotecnologias	43
2.10Diferenciação de Áreas.....	44
2.11Sistemas de Informações Geográficas (SIG) aplicados aos estudos de movimentos de massa e inundações/alagamentos.....	45
2.12Mapeamento de suscetibilidades	46
2.13Análise Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA)	47
2.14Processo de Análise Hierárquica (AHP)	47
2.15Álgebra de Mapas.....	53
3MATERIAL E MÉTODOS	55
3.1 Caracterização da Área de Estudo	55
3.2 Aspectos físicos-ambientais	56
3.3 Aspectos Socioeconômicos	58
3.4 Procedimentos Metodológicos	60
3.5 Materiais Utilizados	62
3.6 Definição de Pesos e Notas	66
4RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
4.5 Declividade.....	86
4.6 Suscetibilidade a inundações e alagamentos.....	87
4.7 Suscetibilidade a Movimentos de Massa.....	97

5 CONCLUSÃO	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108

1 INTRODUÇÃO

Movimentos de massa e eventos hidrológicos são comuns em várias partes do mundo, e seus impactos podem ser devastadores. Esses eventos são geralmente causados por uma combinação de fatores naturais e humanos, incluindo principalmente as chuvas intensas, expansão desordenada, entre outros. O processo de expansão urbana que vem acontecendo em diversas cidades do Brasil deve ser visto com o devido cuidado por parte do Poder Público, já que a falta de políticas de ordenamento urbano, o não cumprimento do planejamento municipal (Plano Diretor) e a deficiência na fiscalização das intervenções nas cidades podem levar ao uso incorreto dos espaços e ocupação desordenada de áreas com restrições ambientais, ocasionando processos que envolvem o crescimento de áreas de suscetíveis à riscos para a população.

Em regiões de clima tropical, a ocorrência de chuvas torrenciais aliada à presença de solos desprovidos de proteção superficial natural, pode ocasionar diversos problemas ligados a processos erosivos com negativas repercussões ambientais, sociais e econômicas. Dentre esses problemas, estão as inundações e alagamentos causados por impermeabilizações e pelo assoreamento de cursos d'água e reservatórios. Somam-se a esses problemas a ocupação e o uso do solo muitas vezes inapropriado, sendo necessárias ações que harmonizem o clima, as precipitações, a cobertura do solo e ao seu uso e ocupação (CARVALHO *et al.*, 2014).

No caso do município de Maceió, o processo histórico de ocupação urbana é marcado pela busca de áreas com baixo custo de ocupação, onde a população, ao longo dos anos, instalou-se em áreas de encosta e nas margens dos cursos d'água sem critério de controle ou ordenamento.

A situação descrita acima é comum em muitas regiões do mundo. A ocupação urbana desordenada pode ser atribuída a uma combinação de fatores, incluindo a falta de planejamento urbano adequado, a falta de fiscalização e controle, e a falta de alternativas de moradia acessíveis para a população.

As áreas baixas das bacias hidrográficas e fundos de vale, naturalmente alagáveis, costumam ser ocupadas e impermeabilizadas, gerando transtornos frequentes para a população residente. Dentre os fatores que influenciam a ocorrência dos movimentos de massa, estão fatores geomorfológicos do local (declividade do relevo do terreno, textura e profundidade do solo), as características climáticas (intensidade pluviométrica, ventos, etc.), a vegetação, o uso do solo e os fatores antrópicos, entre outros. Nos períodos de alto volume de chuvas, os problemas se agravam devido à dificuldade de infiltração das águas e aumento do

escoamento superficial, acarretando inundações/alagamentos e movimentos de material das encostas desnudadas pela retirada da vegetação para a construção das residências ou implantação de pequenas culturas.

Com o intuito de identificar esses processos e fazer uso dos seus resultados, destacamos as aplicações das geotecnologias e sua evolução, onde, no decorrer dos anos, as áreas de conhecimento que fazem o uso de suas ferramentas, obtiveram expressivo crescimento técnico-científico. Seus produtos vêm sendo amplamente divulgados e aceitos pela comunidade acadêmica, pelo Poder Público e pelas empresas como fonte para tomada de decisão e programas estratégicos no planejamento urbano, além de medidas de proteção de áreas críticas.

Neste sentido, o uso de técnicas de geoprocessamento contribui para mostrar quais áreas poderiam ou não ser ocupadas pela população para fins de moradia, sobretudo nas zonas urbanas; quais áreas precisam ser preservadas e, daquelas já ocupadas, quais estão ou não suscetíveis a eventos e qual o grau destes, em particular, os relacionados à inundações/alagamentos e movimentos de massa. Os mapeamentos e análises realizados a partir das geotecnologias podem apresentar resultados adequados à realidade e às necessidades locais para uma efetiva tomada de decisão por parte do poder público. Mediante a obtenção das informações georreferenciadas, uma das aplicações é a determinação suscetibilidade de uma área a um determinado evento.

Diante deste contexto o objetivo principal da pesquisa é avaliar presença de áreas suscetíveis a movimentos de massa e inundações/alagamentos, dentro da área urbana do município de Maceió (AL), identificando as áreas com o seu respectivo grau de suscetibilidade.

Além do objetivo geral ora apresentado, também se tem os seguintes objetivos específicos, que colaboram para o resultado final deste trabalho: Organizar em ambiente SIG um banco de dados georreferenciados composto por bases planialtimétricas com características geográficas da área urbana de Maceió (AL) visando o cruzamento desses respectivos planos de informação; Identificar as variáveis ambientais que possam contribuir para a ocorrência de desastres e correlacionar os fatores condicionantes dos movimentos de massa e inundações/alagamentos a partir da avaliação multicritério e elaborar um mapeamento identificando áreas de suscetibilidade a movimentos de massa e inundações/alagamentos e o seu respectivo grau;

1.1 Justificativa

O uso e a ocupação do solo em áreas urbanas de todo país é um tema constante entre várias áreas de conhecimento, visto que é necessário bastante empenho intelectual na contribuição e consolidação para que estudos interdisciplinares se tornem indispensáveis para o entendimento das ações antrópicas e dinâmicas naturais ocorridas na paisagem geográfica e posteriormente seu planejamento.

Contudo, sabe-se que o desenvolvimento da infraestrutura urbana, na grande maioria não teve um planejamento adequado que acompanhou o crescimento populacional nas cidades brasileiras onde, com a instalação das comunidades próximas aos corpos d'água, promovem mudanças significativas da dinâmica natural fazendo com que os indivíduos passem a ficar expostos aos eventos hidrológicos. Em Maceió, não poderia ser diferente. A área urbana da capital possui uma densidade habitacional muito significativa inserida em áreas frágeis e em vales de rios inseridos ao longo de sua extensão, que com o passar do tempo, sofre constantemente com as alterações ambientais, principalmente no tocante a inundações e deslizamentos de terra.

As inundações/alagamentos e deslizamentos são eventos com gênese em instabilidades atmosféricas e na maioria das vezes pode ser difícil evitar. Entretanto, de acordo com Alcântara e Ayala (2002), é possível identificar padrões comportamentais com o intuito de elaborar métodos preventivos para a atenuação e redução dos efeitos destrutivos. Para Cunha e Guerra (2003), os condicionantes naturais aliados ao manejo inadequado aceleram o processo de degradação ambiental, gerando os impactos e desastres. No entanto, Rossetti *et al.* (2007), pontuam que as áreas cobertas por vegetação podem controlar e prevenir desastres naturais causados por movimento de massa como, por exemplo, os desmoronamentos e os deslizamentos de terra nas encostas e outros problemas, como assoreamento de corpos d'água e inundações.

Para conhecer e entender a dinâmica de uma determinada área, a exemplo da área urbana de Maceió, que vem passando por processos de ocupação desordenada e usos do solo diversos, um dos instrumentos de análise mais eficientes é o mapeamento de áreas de suscetíveis a movimentos de massa e inundações/alagamentos. Dessa forma, é possível a elaboração de medidas preventivas para as situações de emergência, tornando possível uma contribuição junto à preservação ambiental em determinadas áreas, visto que tais situações

contribuem de forma direta para a modificação da paisagem e do ambiente, acarretando em prejuízos socioambientais e a perda do fator natural da região.

O mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamento e enchentes pode ser utilizado como um instrumento para a mitigação dos prejuízos materiais e humanos causados devido aos desastres, mesmo que não se apresente risco momentâneo de perda material ou vidas humanas (CRISTO, 2002). Nessa ótica, compreendendo que os estudos relacionados à compressão dos eventos envolvendo movimentos de massa e inundações/alagamentos, com ou sem a interferência humana, tem elevado nível de complexidade, o presente estudo tem como modo de suporte, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) que, atrelados a técnicas e ferramentas computacionais, possibilita elaborar cenários futuros, representados através de mapeamentos, determinando a distribuição espacial das áreas suscetíveis aos movimentos de massa.

Os referidos sistemas possibilitam o uso de modelos que representam o mundo real, contribuindo para a compreensão de objetos reais por meio de simulações. Entretanto, existem riscos de perda da eficiência dos resultados se houver interpretações errôneas de modelagens espaciais. Segundo Refosco (2007), o emprego de modelos, especialmente os espaciais dinâmicos, para a análise ambiental e a análise regional visando o planejamento ganha importância. Isso ocorre tanto em função das informações geradas pelo modelo que permitem a análise dos processos em andamento em termos qualitativos e quantitativos, quanto em função da possibilidade de gerar cenários futuros para variáveis socioeconômicas, naturais ou de outras naturezas.

Para tanto, o fato dos produtos obtidos através do uso dos Sistemas de Informação Geográficas, atrelados a técnicas de geoprocessamento se mostrarem efetivos na aquisição de informações e na identificação de áreas suscetíveis a movimentos de massa e inundações/alagamentos. No Brasil, ocorreu um crescimento significativo de estudos relacionados a movimentos de massa e inundações nos últimos anos, visto que, em se tratando de análises da paisagem, esses sistemas trazem um leque de técnicas e ferramentas de interpretação e manipulação de dados espaciais que propiciam a geração de informações que subsidiam a avaliação e tomada de decisão, a exemplo do objetivo ora proposto.

Deste modo, o presente estudo propõe a identificação, a partir de análise multicritério, as áreas com os graus de suscetibilidade visando subsidiar esforços para que no futuro se estabeleça um plano de gerenciamento e ordenamento populacional que preze por estratégias de uso do solo com a definição de áreas passíveis para ocupação.

2 REVISÃO TEÓRICA-CONCEITUAL E METODOLÓGICA

2.1 Urbanização e planejamento urbano

A urbanização é o processo pelo qual as áreas urbanas crescem em tamanho e densidade, e a população se concentra cada vez mais nas cidades. Esse processo tem sido uma tendência global nas últimas décadas, e é impulsionado por vários fatores, como o aumento da população, a industrialização e a migração das áreas rurais para as áreas urbanas em busca de trabalho e melhores condições de vida. O referido processo gera diversos tipos de impactos, positivos e negativos no ambiente.

Figueiró et al. (2013) afirmam que impactos ambientais são consequências do próprio ser humano, resultantes da relação sociedade - natureza, desde a modernidade, que visam a produtividade e o lucro como primordiais no processo. Sem sombra de dúvidas, o processo de urbanização é uma das atividades humanas que mais geram impactos no meio ambiente.

Em meados da segunda metade do século XX, com o processo de urbanização, houve profundas alterações no ambiente natural, pois com a retirada da cobertura vegetal trocada pelo ambiente construído, os fatores climáticos que antes eram controlados pela natureza passaram a ser afetadas pela ação do homem (FIALHO; IMBROISI, 2005).

Mediante o exposto, diversas cidades se expandiram sem a preocupação com a organização dos espaços urbanos e as questões ambientais. Dito isto, a falta de um planejamento urbano por parte do poder público acarretou em uma série transtornos envolvendo mobilidade urbana, trânsito, ocupações irregulares e os problemas ambientais.

Segundo Freddo (2021), o planejamento urbano é de grande valia, pois a partir dele é possível obter uma organização espacial, ajudando na tomada de decisões mais coerentes sobre onde construir, dando à população melhor qualidade de vida e assim evitando ocupações desordenadas em locais impróprios para a construção e moradia. Deste modo, o planejamento pode ser feito com a utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para avaliar o uso do solo, pensando em planejamento sustentável das construções (RISTIĆ et al., 2018).

Um planejamento urbano eficaz pode ajudar a reduzir os impactos negativos da urbanização, problemática socioespacial, da mobilidade urbana através do ordenamento do tráfego, a poluição e a questão ambiental. Além disso, pode ajudar a promover um desenvolvimento urbano sustentável e equitativo, que melhore a qualidade de vida da população e contribua para o bem-estar social e econômico de um determinado local e reduzindo a probabilidade de ocorrência de desastres naturais.

2.2 Desastres

Na literatura contemporânea existem várias definições para o conceito da palavra desastre. De acordo com a Política Nacional de Defesa Civil (SEDEC, 2007, p. 8), desastre é o “resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais”.

Desastres podem ser definidos como fenômenos que resultam em danos ou prejuízos, sejam eles humanos, materiais, ambientais ou até mesmo socioeconômicos. Esses desastres são muitas vezes severos, como os movimentos de massa ou escorregamentos, furacões, inundações, entre outros, e que são influenciados pelas características de cada região (KOBAYAMA et al., 2006).

Para o Escritório das Nações Unidas para Redução do Risco de Desastres (UNISDR, 2017) a definição de desastre trata-se de uma séria interrupção do funcionamento de uma comunidade ou uma sociedade, em qualquer escala, devido a eventos perigosos que interagem com condições de exposição, vulnerabilidade e capacidade, levando a uma ou mais das seguintes: perdas e impactos humanos, materiais, econômicos e ambientais.

Apesar de grande parte dos desastres serem decorrente de eventos climáticos extremos, a forma como se dá a ocupação do território interfere diretamente na evolução destes processos. A má utilização do solo, com desmatamento, ocupação irregular de encostas e demais áreas, como planícies de inundações de rios, aumentam a vulnerabilidade do sistema e, conseqüentemente, os impactos negativos (sociais, ambientais e econômicos) quando deflagram estes eventos.

2.3 Os movimentos de massa

Os movimentos de massa são responsáveis pela morte e soterramento de pessoas todos os anos, sobretudo no período de chuvas torrenciais. Esses eventos são agravados principalmente pela ação da força da água da chuva ou de enxurrada (CEMADEM, 2016). Associado ao risco de morte há o problema ambiental, que é gerado pela remoção do solo, e o favorecimento da erosão.

Segundo Girão et al. (2007), a instabilidade de encostas pode ser entendida como movimentos de massa ou perda de solo, atingindo áreas localizadas nas áreas urbanas, sendo

um problema para a tomada de decisão quanto ao uso do solo, necessitando estudos para conter as instabilidades que vêm ocorrendo nessas.

Acompanhando o raciocínio sobre ocupação desordenada em encostas, Silva (2013) afirma que o Brasil está no ranking dos 10 países que mais sofrem com os desastres relacionados a movimentos de massa no mundo, sendo que os movimentos são ocasionados por processos geomorfológicos em que se encontra o terreno.

Os fatores que condicionam esse tipo de desastre estão relacionados com os parâmetros morfológicos do terreno e seus respectivos movimentos, os quais controlam diretamente o equilíbrio das forças e indiretamente, a dinâmica hidrológica dos solos.

Neste sentido, para se entender a dinâmica do terreno é necessário compreender e descrever as nomenclaturas utilizadas para a definição dos movimentos de massa em suas diversas tipologias. Varnes (1978) as classifica como rastejamento, solifluxão, corridas de massa, corridas de lama, corridas de detritos, escorregamentos, desmoronamentos, queda de blocos, tombamentos e rolamentos está associada ao tipo de mecanismo, à velocidade de deslocamento e ao material envolvido.

Outrossim, existem inúmeros estudos relacionados aos processos de movimentos de massa, algumas dúvidas referentes às terminologias e classificações persistem. Grande parte dos autores trata de forma distinta, por exemplo, à erosão por escoamento superficial dos solos e os movimentos de massa e, invariavelmente, consideram “a velocidade de deslocamento de materiais vertente abaixo, o tipo de material envolvido, a geometria do terreno e a presença ou não de água para sua classificação” (PINTO, 2015).

Considerando o processo evolutivo, contínuo e lento das vertentes, Bigarella et al. (2003 p. 984) reportam-se aos pressupostos de Davis (1899), observando que “o manto de intemperismo migraria pela ação da gravidade vertente abaixo, sendo então removido pelo rio como parte de sua carga. O recuo das encostas seria seguido por uma diminuição de sua declividade”.

Guerra e Marçal (2006, p. 75 - 76) caracterizam os movimentos de massa como sendo “o transporte coletivo de material rochoso e/ou de solo, onde a ação da gravidade tem papel preponderante, podendo ser potencializado, ou não, pela ação da água.”

Segundo Suguio (2003, p. 347) tais processos são “movimentos coletivos de blocos de rochas e de materiais terrosos ligados a regolitos. O transporte desses materiais é propiciado pelo efeito da gravidade, somado à maior ou menor participação da água que atua como lubrificante”.

Diante do exposto, frequentemente se têm associados aos deslizamentos os prejuízos econômicos e ambientais, os danos materiais e a manutenção de alto custo, bem como lesões ou fatalidades (DAS et al., 2010). Esses danos podem ser atenuados se as relações de causa e efeito dos eventos forem conhecidas (INTARAWICHIAN; DASANANDA, 2010). O mapeamento da suscetibilidade de movimentos de massa está entre as soluções para compreender e prever perigos futuros, a fim de mitigar as suas consequências.

Segundo Lei e Jing-feng (2006), esse tipo de estudo retrata a distribuição espacial futura de uma encosta desmoronar. Cervi et al. (2010) afirmaram que o processo de mapeamento de suscetibilidade pode ser baseado em métodos estatísticos ou determinísticos, o qual envolve a identificação de regiões suscetíveis à ruptura do talude, tendo por base as propriedades geológicas e geomorfológicas da região avaliada.

Diante dos fatos, os agentes que influenciam nesse processo, no entanto, são inúmeros. Os mais comumente mencionados são o tipo de solos, a declividade, a precipitação, o uso e cobertura do solo e o substrato geológico, entre outros (TOMINAGA et al., 2005; YALCIN, 2008; DAS et al., 2011; FEIZIZADEH et al., 2013). O método dito indireto permite integrar esses fatores no mapa de suscetibilidade e, ainda, inclui a importância desses fatores no processo, com base na experiência de especialistas no assunto (LEI; JING-FENG, 2006; MALCZEWSKI, 2006).

2.4 Tipos de Movimentos de Massa

2.4.1 Rastejamento ou creep

Bigarella et al. (2003) descrevem rastejamento como os movimentos vertente abaixo muito lentos sob influência da gravidade, independentemente do seu mecanismo ou gênese, deve referir apenas ao movimento imperceptível ou muito lento das vertentes, de caráter mais ou menos contínuo (creep na literatura inglesa).

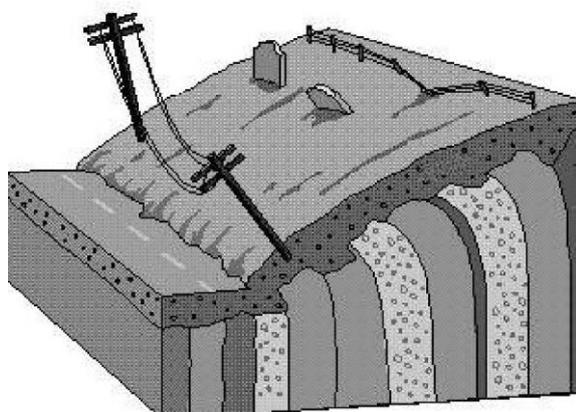
Para Cemadem (2016), Rastejo ou Creep é definido como subsidência e colapsos, ocorre quando o terreno sofre de forma gradual ou lento, um afundamento, que ocorre devido à redução da própria porosidade do terreno, deformação do solo ou pelo colapso da cavidade do terreno.

Desta forma, fica evidente que a característica principal do movimento denominado rastejamento possui lentidão na velocidade de deslocamento dos materiais da porção superficial das encostas. Caseti (2005) sinaliza para a existência de estudos que demonstram que esse movimento é maior na superfície, diminuindo gradualmente com a profundidade,

chegando a ser nulo. Dentre os estudos que afirmam a perda de velocidade e intensidade do movimento à medida que a profundidade aumenta, Bigarella et al. (2003) consideram que em geral, o rastejo do solo restringe-se aos 100 cm superiores do perfil.

Penteado (op. cit.) observa que o creep e o escoamento difuso são os principais processos que explicam a convexidade das encostas. O reflexo do rastejamento é observado na curvatura das árvores, postes inclinados, pequenos terraços ao longo das encostas (Figura 1).

Figura 1 - Perfil esquemático do processo de rastejo (creep).



Fonte: MEM (1997).

De acordo com Guidicini e Nieble (1984)

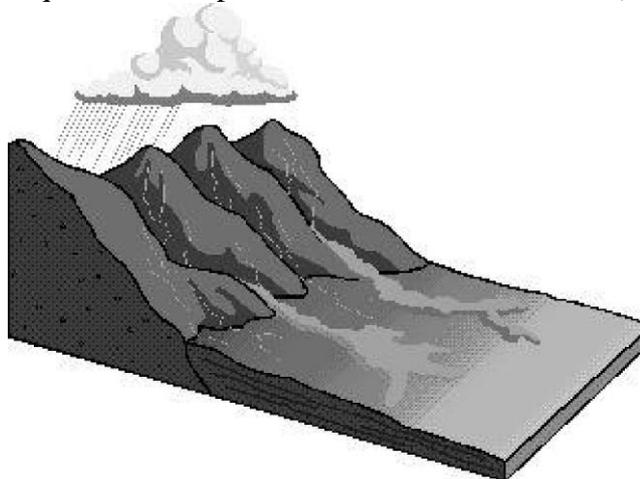
[...] Os rastejos são movimentos lentos e contínuos de material de encostas com limites, via de regra, indefinidos. Podem envolver grandes massas de solo, como, por exemplo, os taludes de uma região, sem que haja, na área interessada, diferenciação entre material em movimento e material estacionário. A movimentação é provocada pela ação da gravidade, intervindo, porém, os efeitos devidos às variações de temperatura e umidade. O fenômeno de expansão e de contração da massa de material, por variação térmica, se traduz em movimento, encosta abaixo, numa espessura proporcional à atingida pela variação de temperatura. Abaixo dessa profundidade, somente haverá rastejo por ação da gravidade. (GUIDICINI E NIEBLE, 1984, p. 18).

Diante do exposto, pode-se afirmar que este movimento possui como característica ação lenta, pouco ampla e que está associada a alterações climáticas sazonais dentro de um determinado período de tempo. Entretanto, Guidicini e Nieble (1984) afirmam que este tipo de movimento pode afetar extensas áreas, e que possuem com capacidade de mobilizar qualquer tipo de material, solo, rocha ou ambos misturados, sobretudo nos horizontes superficiais das encostas.

2.4.2 Corridas de Massa (debris flow)

Para Cemadem (2016), as corridas de massa são movimentos muito rápidos, deixando grandes rastros de destruição por onde passam. Bigarella *et al.* (2003) corrobora que as corridas de massa são formas rápidas de escoamento de fluidos viscosos, com ou sem uma superfície definida de movimentação. De caráter hidrodinâmico, são ocasionadas pela perda de atrito interno, em virtude da destruição da estrutura, em presença de excesso de água (Figura 2).

Figura 2 - Perfil esquemático do processo de corridas de massa (debris flow).



Fonte: MEM (1997).

De acordo com o IPT (1991, p. 23) os processos de corridas são gerados a partir de um grande aporte de material para as drenagens. Este aporte, combinado com um determinado volume d'água, acaba formando uma massa com um comportamento de líquido viscoso, de alto poder destrutivo e de transporte, e extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas. São causadas por índices pluviométricos excepcionais, são mais raras que outros movimentos de massa, porém com consequências destrutivas maiores.

Guidicini e Nieble (1984) classificam as corridas de acordo com o grau de fluidez e admitem que:

[...] As corridas de terra ocorrem geralmente sob determinadas condições topográficas, adaptando-se às condições do relevo, são geralmente provocadas por encharcamento do solo por pesadas chuvas ou longos períodos de chuva de menor intensidade. Ocorrem em formas topográficas menos abruptas, pois são muito influenciados pelas características de resistência do material. (GUIDICINI E NIEBLE, 1984, p. 26).

Deste modo, as corridas de lama definem-se como movimentos de massa mais rápidos em comparado com os já citados. Para Passos (2012) esses processos caracterizam-se pela afluência de grande quantidade de material, em geral proveniente de escorregamentos rápidos que ocorrem a montante e fluem para a drenagem existente. Pela sua velocidade, fluidez e densidade elevadas possui alto poder destrutivo e extenso raio de ação, conferindo ao fenômeno características que se assemelham a energia das avalanches.

2.4.3 Deslizamentos ou escorregamentos

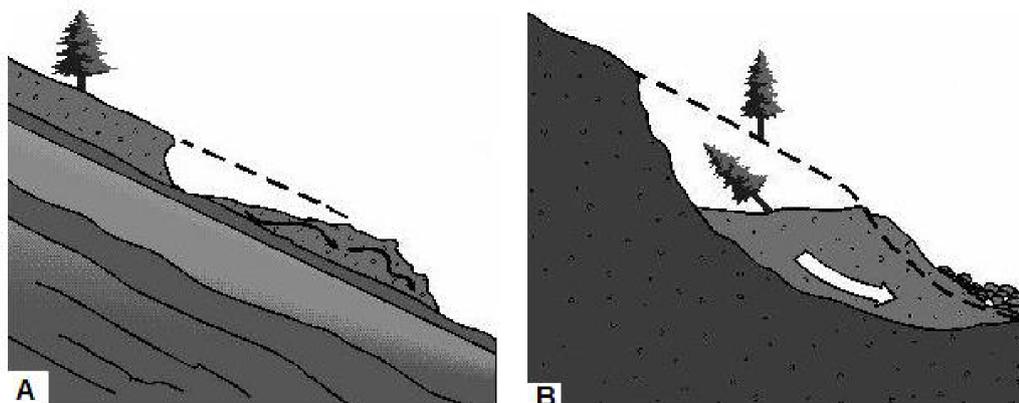
O IPT (1991) caracteriza os escorregamentos como movimentos rápidos, com limites laterais e profundidade bem definidos, com geometria que pode ser circular, planar ou em cunha, sendo que o principal agente deflagrador destes processos são as chuvas. Quanto ao material envolvido, a MINEROPAR, (2010, p. 27) destaca que pode ser constituído por solo, solo e rocha ou apenas rocha.

Fernandes e Amaral (2000) consideram os escorregamentos (slides) como a classe de maior importância dentre todas as formas de movimentos de massa, referindo-se a estes como:

[...] Movimentos rápidos de curta duração, com plano de ruptura bem definido, permitindo a distinção entre o material deslizado e aquele não movimentado. São feições longas, podendo apresentar 10:1, comprimento-largura. São geralmente divididos com base no tipo de material movimentado, que pode ser constituído por solo, rocha, por uma complexa mistura de solo e rocha ou até mesmo por lixo doméstico e em sua forma do plano de ruptura, em rotacionais (slumps) que possuem uma superfície de ruptura curva, côncava para cima, ao longo da qual se dá o movimento rotacional da massa do solo e translacionais, que representam a forma mais frequente entre todos os tipos de movimentos de massa. Possuem superfície de ruptura com forma planar a qual acompanha, de modo geral, descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas existentes no interior do material. Na grande maioria das vezes, ocorrem em períodos de grande precipitação.

Considerando a morfologia, o IPT (1991) classifica os escorregamentos de acordo com sua geometria em circular, planar ou em cunha, em função da existência ou não de estruturas ou plano de fraqueza nos materiais movimentados, que condicionem a formação de superfícies de ruptura. (Figura 3: cenário A e B).

Figura 3 - Perfil esquemático do processo de escorregamento. Cenário (A) escorregamento planar ou translacional e Cenário (B) escorregamento circular ou rotacional.



Fonte: MEM (1997).

Convém destacar que muitos autores consideram escorregamentos como sinônimo de deslizamentos, porém, Rebelo (2010) admite que deslizamentos ou escorregamentos são semelhantes aos desabamentos, no entanto são menos bruscos, podem se desencadear na sequência de rupturas naturais e artificiais e exigem quase sempre a presença de água. Desta forma, os escorregamentos possuem papel relevante na evolução das encostas e são originados em sua grande maioria pela ação das chuvas.

2.4.4 Desmoronamentos

Christofolletti (1980) considera os desmoronamentos como deslocamento rápido de um bloco de terra, quando o solapamento criou um vazio na parte inferior da vertente. Geralmente ocorrem em vertentes íngremes, sendo comuns nas margens fluviais e em muitos cortes de rodovias e ferrovias.

Conforme Bigarella et al. (2003) os desmoronamentos se fazem ao longo de planos de cisalhamento planares, sobre os quais a massa em movimento, geralmente fragmenta-se em muitos blocos e representam a forma mais comum de remoção de massa. Iniciam na parte superior da vertente transformando-se numa avalanche na parte inferior da encosta.

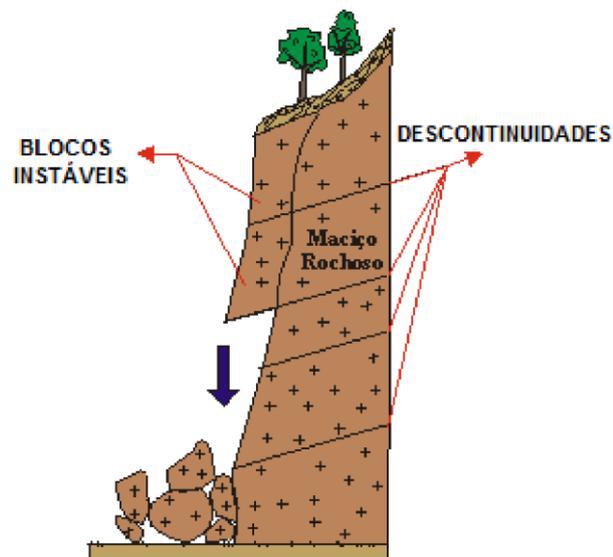
Tombamento, queda e rolamento, para esses três tipos de movimentos de massa, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2016) os define da seguinte forma:

- Tombamento: movimento que ocorre quando o bloco de rocha sofre um movimento para fora do talude em rotação frontal;

- Queda: movimento que ocorre a partir de volumes variados de fragmentos rochosos, que se desprendem dos taludes íngremes, em queda livre;
- Rolamento: ocorre devido ao descalçamento de blocos de rochas ao longo das encostas (Figura 5) (CEMADEM, 2016).

De acordo com Guidicini e Nieble (1984) são movimentos rápidos, que ocorrem em penhascos verticais, ou taludes muito íngremes, onde blocos e/ou lascas de rocha, deslocados do maciço por intemperismo, caem por ação da gravidade, sem a presença de uma superfície de movimentação, na forma de queda livre. Segundo Fernandes e Amaral (2000) ocorrem nas encostas íngremes de paredões rochosos e contribuem decisivamente para a formação de depósitos de tálus. (Figura 4).

Figura 4 - Perfil esquemático do processo de queda de blocos.



Fonte: Reis (2001).

Para o IPT (1991):

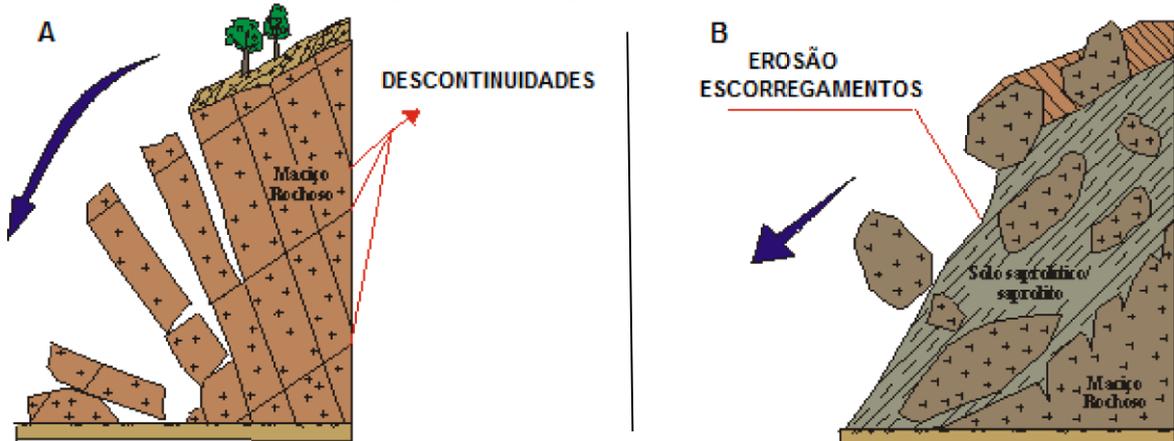
[...] Os movimentos tipo queda são extremamente rápidos, (da ordem de m/s) e envolvem blocos e/ou lascas de rochas em movimento tipo queda livre. A ocorrência destes processos está condicionada à presença de afloramentos rochosos em encostas íngremes, sendo potencializados pelas amplitudes térmicas, através da dilatação e contração da rocha, e por descontinuidades (fraturas, planos de fraqueza), que liberam blocos/lascas de rocha. (IPT, 1991 p. 21)

Bigarella et. al. (2003) Salientam que nas vertentes altas e íngremes, quando as fraturas são suficientemente amplas, grandes blocos rochosos podem cair, deslocando ao

mesmo tempo outros fragmentos, de sorte a formar uma acumulação de detritos no sopé da vertente.

Além da queda de blocos, ocorrem dois outros movimentos envolvendo afloramentos rochosos: o rolamento e o tombamento de blocos (Figura 5).

Figura 5 - Cenário (A): Perfil esquemático do processo de tombamento de blocos rochosos. Cenário (B): Perfil esquemático do processo de rolamento de blocos rochosos.



Fonte: Reis (2001).

Alguns cientistas consideram ainda outra classe intermediária entre a queda de blocos e os escorregamentos, esta, de menor importância na composição dos movimentos caracterizados pelo deslocamento em queda livre de blocos ou lascas rochosas, denominado de queda de detritos. Guidicini e Nieble (1984) definem esse processo como sendo a queda, relativamente livre, de reduzidas massas de fragmentos terrosos ou rochosos, inconsolidados, ou pouco consolidados em movimentos de pequena magnitude.

2.5 Condicionantes para o desencadeamento dos movimentos gravitacionais de massa

Os movimentos gravitacionais de massa são eventos que ocorrem em função de uma relação entre uma série de fatores compostos por elementos do meio físico ou biótico que diminuem a resistência do solo ou da rocha interferindo diretamente na estabilidade das vertentes através de forças externas ao terreno como as precipitações ou sismos que atuam na deflagração dos fenômenos.

Segundo Zêzere (2005) definir qual a causa que esteve na origem de determinado movimento de massa é uma ação complexa, pois há diversos fatores envolvidos, podendo

alguns deles estar na origem da redução do grau de estabilidade da vertente, enquanto outros poderão ser responsáveis pelo desencadeamento do movimento.

Para Fernandes e Amaral (2000) várias feições podem atuar como fatores condicionantes, determinando a localização espacial dos movimentos de massa. Muitas destas feições possuem sua origem associadas a processos geológicos e geomorfológicos.

De acordo com Bigarella et al. (2003):

[...] As condições que favorecem os movimentos de massa dependem principalmente da estrutura geológica, da declividade da vertente (forma topográfica), do regime de chuvas (em especial de episódios pluviais intensos), da perda de vegetação e da atividade antrópica, bem como pela existência de espessos mantos de intemperismo, além da presença de níveis ou faixas impermeáveis que atuam como planos de deslizamentos. (BIGARELLA et al. 2003, p. 1026).

Desta forma sentido, para construção de um embasamento teórico acerca das condicionantes para o desencadeamento dos movimentos gravitacionais de massa utilizou-se de referencial teórico conceitual referente à temática, conforme descrito a seguir:

2.5.1 Geologia

Segundo IPT (1991), o tipo de solo/rocha determina a suscetibilidade dos terrenos à erosão, em função de suas características granulométricas (argilosos, siltsos e arenosos), estruturais, de espessura, etc.

Para Penteado (1974), as propriedades básicas de uma rocha são: grau de coesão, de permeabilidade e de plasticidade, essas propriedades influem no modo de escoamento superficial, na desagregação mecânica e na composição química. Deste modo, Guidicine e Nieble (1984) acrescentam que as variações de temperatura são agente importante na desagregação e possível movimentação de material rochoso.

Considerando os três grupos de rochas, ígneas, metamórficas e sedimentares, Crepani et al. (2001) indicaram uma ordenação decrescente de resistência à denudação, como descrito no quadro 1.

Quadro 1 - Escala com classificação decrescente de resistência das rochas.

Ígneas	Riolito → Granito → Dacito → Granodiorito → Quartzo Diorito → Fonólito → Nefelina → Sienito → Traquito → Sienito → Andesito → Diorito → Basalto → Anortosito → Gabro → Peridotito → Piroxenito → Kimberlito → Dunito.
---------------	---

Metamórficas	Quartzito → Granulito → Migmatitos → Gnaisses → Milonitos → Xistos → Anfibolitos → Filitos → Ardósia → Mármore.
Sedimentares	Arenito Quartzoso → Conglomerados → Subgravaca → Gravaca → Siltos → Argilito → Folhelho → Margas → Dolomito → Calcários → Evaporitos → Sedimentos Inconsolidados.

Fonte: Crepani et al. (2001)

Em comparação entre os três tipos de rochas, Crepani et al. (2001) consideraram as sedimentares mais vulneráveis, de menor resistência ao intemperismo e erosão, seguido pelas metamórficas e classificando as ígneas como o grupo rochoso mais resistentes.

2.5.2 Pedologia

Para Dias e Lemos (2019), vários fatores podem influenciar de forma coparticipativa nos movimentos de massa, dentre eles, está o tipo de rocha e o tipo de solo que forma uma encosta, em função de suas características granulométricas (argilosos, siltosos e arenosos), estruturais, de espessura, determinam a suscetibilidade da mesma à erosão.

De acordo com Pereira *et al.* (2017), o tipo de solo, entre outros fatores, tem influência direta no fator de segurança e na estabilidade de taludes. Os autores relatam também que os valores críticos de chuva variam de acordo com o tipo de solo. Pinto *et al.* (2013) relatam que as propriedades dos solos superficiais e subsuperficiais, bem como a sua composição litológica subjacente, tem interferência nos deslizamentos de terra como fator desencadeante ou sendo o próprio material envolvido.

Bigarella et al. (1996) afirma que a textura do solo se refere à proporção relativa das partículas sólidas presentes na massa de solo, influenciando na capacidade de infiltração e absorção de água da chuva. Ainda nesta perspectiva, Salomão (1999) discorre que solos mais arenosos são mais porosos, permitindo rápida infiltração da água, e, conseqüentemente, menor capacidade de armazenamento.

Em relação à permeabilidade e a porosidade, Fiori e Carmignani (2009) discorrem que são propriedades que estão diretamente ligadas e são inversamente proporcionais à densidade, que representa a relação entre o volume e massa total do solo. Neste contexto, subentende-se que, em geral, os solos arenosos são mais permeáveis do que solos argilosos.

Entretanto de acordo com Bigarella et al. (2003):

[...] A espessura do manto, sua natureza argilosa impermeável e o pequeno conteúdo de matéria orgânica dos solos tropicais tornam-nos excepcionalmente suscetíveis aos movimentos de massa. Apenas os latossolos mais permeáveis e os capeamentos lateríticos são mais resistentes aos processos erosivos. Minerais de argila no perfil do solo contribui para aumentar a instabilidade da vertente. A alta pluviosidade saturando o solo com água favorece uma sobrecarga e contribui para a lubrificação dos planos de cisalhamento. Quando um movimento de massa tem início, não escorrega apenas o material detrítico intemperizado, mas também o material rochoso da parte superior da vertente é incluído no movimento”. (BIGARELLA ET AL. 2003, P. 1030 - 1031).

Contudo, com base no que foi apresentado, é passível de afirmação que as propriedades dos solos superficiais e subsuperficiais, interferem na estabilidade, e servem de fatores de influência direta na predisposição das encostas aos movimentos de massa e processos erosivos superficiais.

2.5.3 Geomorfologia

É importante salientar que as condições de instabilidade para a ocorrência de processos erosivos e também de movimentos de massa, em taludes e encostas, estão diretamente associadas aos condicionantes geomorfológicos como declividade, altitude e forma da vertente.

2.5.4 Declividade

É sabido que a declividade é um dos principais fatores geomorfológicos que determinam a instabilidade das encostas. De acordo com Crepani et al. (2001) quanto maior a declividade mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais transforma-se em energia cinética e maior é, também, a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte, responsáveis pela erosão que esculpe as formas.

Mesquita *et al.* (2014) relatam que é importante compreender que a declividade está sempre relacionada com outros fatores ambientais e que estes devem ser levados em consideração na governança territorial.

Yalcin *et al.* (2011) acreditam que encostas leves apresentam uma baixa frequência para deslizamentos devido a pequenas tensões de cisalhamento comumente relacionadas a baixos declives.

Fernandes e Amaral (1996) afirma que, em locais com declividade acima de 30° o risco de deslizamento é mais frequente do que em locais com declividade acima de 60°, já que nos locais com declividade maior, a camada de solo é menos espessa, sendo constituída na sua maior parte por rocha, porém ainda sendo passível de deslizamento principalmente com precipitação elevada.

Kozciak (2005) admite que a declividade deve sempre estar associada a outros atributos existentes para análises de processos desta natureza. A autora apresenta uma associação entre classes de declividade e alguns tipos de movimentos de massa, elaborada por Sidle et al. (1985) (Quadro 2).

Quadro 2 - Classes de declividade associadas a diferentes tipos de movimentos de massa.

TIPOS DE PROCESSOS	GRAUS	PERCENTUAL
Rastejo	1,3 a 25	2,3 a 47
Escoamentos rápidos em solos	4 a 20	7 a 36,3
Escoamento rotacionais	7 a 18	12,2 a 32,4
Escoamentos rápidos em solos e detritos sobrejacentes a rocha	> 25	> 47

Fonte: Sidle et al. 1985 apud Kozciak (2005)

Em linhas gerais, a análise de suscetibilidade e vulnerabilidade a movimentos de massa, consideram de alto potencial às declividades superiores a 30% e muito alto às declividades acima de 47%.

2.5.4.1 Altitude

De acordo com Crepani et al. (2001), quanto maior a amplitude altimétrica maior é a energia potencial, pois as águas das precipitações pluviais que caem sobre os pontos mais altos do terreno adquirirão maior energia cinética no seu percurso em direção às partes mais baixas e, conseqüentemente, apresentarão maior capacidade de erosão ou de morfogênese. A amplitude altimétrica é obtida pelo cálculo da diferença entre as cotas máxima e mínima contidas na unidade de paisagem natural, realizado a partir dos dados de altimetria das cartas topográficas.

2.5.4.2 Forma das Vertentes

As vertentes são divididas em três tipos principais, convexo, côncavo e retilíneo. De acordo com Christofolletti (1980), o elemento convexo apresenta curvatura positiva, quando os ângulos aumentam continuamente para baixo; côncavo, tem curvatura negativa, quando os ângulos decrescem continuamente para baixo e retilíneo é um segmento sem curvatura.

Para Bigarella et al. (2003):

O relevo apresenta tipos de vertentes diversificados, desde superfícies planas suavemente inclinadas, próximas à horizontal até superfícies retilíneas, escarpadas quase verticais. A maior parte das encostas é composta de vários segmentos, geralmente seu perfil é formado por um segmento superior convexo, no qual a declividade aumenta para a jusante, seguido por um seguimento inferior côncavo com redução de declive encosta abaixo (BIGARELLA ET AL. 2003, P. 972).

Com base na classificação descrição das formas de vertentes, conforme sua predisposição a ocorrência de processos erosivos e principalmente dos movimentos coletivos de massa, admite-se, baseado na literatura discorrida, que os perfis côncavos têm uma maior predisposição a movimentos de massa.

2.5.5 Vegetação

Uma gama de autores corrobora para o conceito de manutenção da cobertura vegetal visando equilíbrio das vertentes, reduzindo a ocorrência dos processos erosivos e também de movimentos coletivos de solo, rocha ou material. Segundo IPT (1991), a vegetação atua no sentido de favorecer a estabilidade das encostas, através do esforço mecânico (raízes) e redistribuição da água de chuva, diminuindo e retardando a infiltração desta no terreno, além de protegê-lo contra a erosão, controlando o escoamento superficial e a infiltração das águas no manto de intemperismo, diminuindo a penetração excessiva da água no subsolo.

Neste caso, quando se retira qualquer que seja a vegetação, a superfície natural do terreno fica exposta diretamente a ações de intemperismo, provocando assim a erosão. Desta forma, se considera como dispositivo direto para a contribuição da instabilidade dos terrenos e sucessão de processos de movimento de massa, a remoção da cobertura vegetal das encostas, sobretudo as mais íngremes.

2.5.6 Fator Desencadeante: Pluviosidade

Considerado um agente externo e deflagrador, a correlação entre a pluviosidade e movimentos de massa nas encostas é evidente. Conforme o IPT (1991), o volume de água e sua distribuição no tempo e espaço são determinantes da velocidade dos processos erosivos. Penteadó (1974) considera que o tipo de erosão depende da intensidade das chuvas em relação à unidade de tempo.

Crepani *et al.* (2001) destacam que o poder da chuva em causar erosão é chamado erosividade e é função das características físicas da chuva. As principais características físicas da chuva envolvidas nos processos erosivos são: a quantidade ou pluviosidade total, a intensidade ou intensidade pluviométrica e a distribuição sazonal. Dentre as três características é especialmente importante se conhecer a intensidade pluviométrica porque representa uma relação entre as outras duas (quando chove / quando chove), resultado que determina, a quantidade de energia potencial disponível para transformar-se em energia cinética. A maior importância da intensidade pluviométrica é facilmente verificada quando se observa que uma elevada pluviosidade anual, mas com distribuição ao longo de todo período, tem um poder erosivo muito menor do que uma precipitação anual mais reduzida que se despeja torrencialmente num período determinado do ano. O valor da intensidade pluviométrica para uma determinada área pode ser obtido dividindo-se o valor da pluviosidade média anual (em mm) pela duração do período chuvoso (em meses).

Diante do que foi exposto, pode-se considerar que as chuvas concentradas, mesmo em regiões onde as médias anuais são reduzidas, têm um maior poder de erosão, deste modo, quanto maior a intensidade pluviométrica, maior é a vulnerabilidade dos solos aos processos erosivos, podendo ser inclusos também os movimentos coletivos.

2.6 As inundações e alagamentos

A discussão sobre eventos envolvendo inundações e alagamentos está presente em estudos acadêmicos, governamentais e empresariais por afetar o homem e o meio natural, acarretando diversos tipos de problemas, desde financeiros e saúde pública. Segundo Tominaga (2019), durante séculos no Brasil as cidades foram construídas ao redor das encostas de rios e de áreas com declive acentuado, este tipo de ocupação foi trazido pelos

portugueses no período colonial, herança da idade média, quando as cidades eram construídas em sítios elevados por questões militares. No caso das áreas urbanas, pode-se elencar diversas causas de risco de inundação, geralmente associadas a acidentes naturais e a elementos característicos da sociedade moderna, como segurança pessoal, saúde, condições de habitação, trabalho e transporte, situação da criança e do adolescente, violência e investimentos financeiros (ESTEVEZ, 2011). Nota-se, portanto, que os fatores determinantes do surgimento de riscos para uma pessoa, sociedade ou natureza são múltiplos e estão complexamente interligados.

A concentração da população dos centros urbanos nos últimos 100 anos, que apresentou um crescimento de mais de cem por cento devido ao crescimento industrial e a busca por novas oportunidades, fez com que áreas urbanas não propícias para moradia fossem ocupadas. Este fato acarretou em uma desordem na infraestrutura urbana, com uma grande concentração da população em pequenos espaços, afetando o sistema de drenagem urbana e aumentando o número de resíduos sólidos nas cidades.

Segundo Goerl e Kobiyama (2005), existem, no Brasil, diversos termos referentes ao processo das inundações, como: cheia, enchente, enxurrada, alagamentos, inundações ribeirinhas, inundações urbanas, entre outros.

Para Castro (2003), inundação é o transbordamento de água da calha de rios, mares, lagos e açudes, ou acumulação de água por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas, provocando danos. Conforme Tucci (1995), o crescimento urbano aumenta os sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica, devido às construções, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias entre outras causas.

Segundo Tucci (1995) os eventos hidrológicos urbanos podem ocorrer a partir de dois tipos de processos, que se dão de forma isolada ou integrada devido à urbanização ou em áreas ribeirinhas. No tocante à urbanização a consequência se dá devido a ocupação do solo com superfícies impermeáveis e rede de condutos de escoamentos. Adicionalmente, o desenvolvimento urbano pode produzir obstruções ao escoamento como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento; enchentes em áreas ribeirinhas são as enchentes naturais que atingem a população que ocupa o leito maior dos rios. Esses acúmulos de água ocorrem, principalmente pelo processo natural no qual o rio ocupa o seu leito maior, de acordo com os eventos extremos, em média com tempo de retorno da ordem de 2 anos.

Segundo Castro (2003) conforme citado por Nardi (2019) “os sistemas de drenagem urbana são um preventivo contra alagamentos, enchentes e inundações, porém é comum, seja

por falta de estudos da área, informações ou viabilidade, a drenagem não ser efetiva, tendo como consequência o alagamento do local, prejudicando o trânsito, comércio e qualidade de vida da população.” Neste sentido, o planejamento urbano é de extrema importância para o mantimento da qualidade de vida da população evitando impactos locais causados por alagamentos, enchentes e inundações.

Freitas (2016) define alagamento como o acúmulo momentâneo de águas em uma dada área por problemas no sistema de drenagem, podendo ter ou não relação com processos de natureza fluvial. Segundo Graciosa (2010), alagamento é o fenômeno caracterizado pelo extravasamento das galerias da rede de drenagem, sem a ocorrência de inundação no canal principal.

Contudo quando as galerias não são capazes de dar vazões aos afluentes, como resultado do subdimensionamento da rede de drenagem, isso pode levar ao extravasamento de água e conseqüentemente ao alagamento de uma determinada região. Além disso, a obstrução das galerias por lixo e entulho pode dificultar o fluxo de água, e as ligações irregulares de esgoto na rede de drenagem pluvial podem aumentar a vazão e acarretar o acúmulo de água em áreas mais com declividade naturalmente favorável.

2.7 Terminologias que envolvem análises enquanto desastres

Os eventos envolvendo desastres registrados no Brasil, nas últimas décadas, guardam características peculiares, entretanto, suas ocorrências passaram a interessar mais a comunidade científica e a sociedade de forma geral à medida que um contingente cada vez maior da população passou a ser afetada por estes processos, de forma direta ou indireta.

Neste sentido, elaborar algumas terminações e considerações a respeito das principais terminologias empregadas aos processos em questão enquanto episódios que resultam em impactos ambientais negativos tornam-se pertinentes, no sentido de evitar atribuições equivocadas e por vezes divergentes. Por este motivo, se fazem necessárias reflexões sobre alguns dos principais conceitos envolvidos. São estes: perigo, suscetibilidade, vulnerabilidade, ameaça e risco.

Na ótica de Varnes (1984), as terminologias comumente utilizadas em estudo sobre desastres possuem características próprias, quando observados os elementos definidores do ambiente, sendo a maior parte delas utilizada pelos especialistas dedicados aos trabalhos relacionados a risco. Para o autor em questão, a vulnerabilidade consiste no grau de perda de

um elemento em risco, em função da ocorrência de um fenômeno natural de determinada magnitude, enquanto suscetibilidade natural refere-se à probabilidade de ocorrência de um fenômeno potencialmente para destruir uma área específica.

Iniciando com perigo, Rocha (2005, p. 18) afirma que este “gera uma situação com o potencial de ameaçar a vida humana, a saúde, propriedade ou ambiente.” Zêzere (2005, p. 81) classifica o perigo ou perigosidade como a “probabilidade de ocorrência de um fenômeno potencialmente destruidor, num determinado período de tempo e numa dada área.” Zêzere e Garcia (2003, p. 300) consideram que este conceito “leva em conta uma probabilidade espacial e temporal, ou apenas temporal.”

De acordo com Almeida (2010, p. 540), a suscetibilidade e vulnerabilidade podem ser diferenciados como processos existenciais distintos. O referido autor considera vulnerável a pessoa intacta, mas sob o risco intrínseco de ser ferida, e suscetível como a em situação na qual efetivamente sofre por deficiência ou desvantagem, o que a predispõe a sofrer ainda dano suplementar.

Para **suscetibilidade**, Zêzere et al. (2004) definem como:

[...] possibilidade espacial de ocorrência de um determinado fenômeno numa dada área com base em fatores condicionantes do terreno, independentemente do seu período de recorrência.” A suscetibilidade é “indicadora da potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência. (CARVALHO et al., 2007, p. 28).

Para Brasil (2007, p. 26), a suscetibilidade indica a “potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência”. Julião et al (2009, p. 20) consideram que “a suscetibilidade representa a propensão para uma área ser afetada por um processo perigoso, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência de processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência”.

Em linhas gerais, a suscetibilidade está associada à possibilidade de ocorrência do fenômeno com ou sem a interferência antrópica, podendo causar ou não consequências indesejadas ao próprio homem, de acordo com as condições de determinado ambiente, sem contemplar a variável tempo, que é considerada pela perigosidade.

O termo **vulnerabilidade** é definido por Rocha (2005) como:

[...] o grau de vulnerabilidade dos elementos (receptores) de uma comunidade. Palácios et al. (2005) afirmam que o termo se refere a um conjunto de condições ambientais, sociais, econômicas, políticas e educacionais que deixa a comunidade mais ou menos exposta a um desastre, seja pelas condições de insegurança existentes ou pela capacidade de resposta e recuperação ao desastre. (2005, p. 18).

Para Santos (2006), a Vulnerabilidade está associada a atividades antrópicas, ou seja, a dinâmica do homem e espaço físico, em como está sendo utilizado o solo e de que maneira, portanto observando-se de que forma o homem vai fazer uso dos recursos naturais que lhes tem disponível. Sendo assim, tornando o ambiente vulnerável a fatores que podem causar mudanças gradativas, como os impactos ambientais, os quais surgem de atividades socioeconômicas. (apud, MORAES, et al. 2017).

Segundo Castro (2001) apud Rocha (2005, p. 17): A vulnerabilidade define a probabilidade de que uma comunidade exposta ao impacto de uma ameaça natural possa sofrer danos, segundo o grau de vulnerabilidade de seus elementos (infraestrutura, construções, atividades produtivas). Esses danos podem ser representados pelo impacto sobre o desenvolvimento, economia e sobre os meios que criam e melhoram a qualidade de vida.

No sentido de elucidar questões referente a suscetibilidade e vulnerabilidade, afirma-se que um terreno independente de sua do seu estado de degradação, que possui classes de solo associadas a uma determinada declividade torna-se suscetível a movimentos de massa, sendo que a vulnerabilidade será observada pela presença da vegetação em uma encosta e seu estágio de degradação que atuará como elemento determinante para a ocorrência do referido evento.

Diante do citado, pode-se afirmar que a combinação entre suscetibilidade atrelada ao perigo e vulnerabilidade resulta em perda. Isto é, a condição de predisposição aos eventos danosos correlacionados ao nível de vulnerabilidade reflete em risco. Nesta ótica, Rocha (2005, p. 16) define risco como “a combinação da frequência (número de ocorrências de um acidente por unidade de tempo) com a consequência (impacto de um acidente nas pessoas, no ambiente e na propriedade) de eventos indesejáveis, envolvendo algum tipo de perda.”

Para Esteves (2011, p. 64), geralmente o risco está associado a acidentes naturais, segurança pessoal, saúde, condições de habitação, trabalho, transporte, condição da criança e do adolescente, violência, investimentos financeiros, enfim, ao cotidiano da sociedade moderna.

Nessas circunstâncias, um fato que não pode ser ignorado no entendimento do conceito de risco é que ele está diretamente associado à presença humana, e ainda, a interação

sociedade-natureza está associada à possibilidade de ocorrência do evento (LOPES; BARROS, 2014).

Para tanto, a essência desse estudo trata única e exclusivamente do risco natural ligado às áreas com ocupação humana e suas respectivas atividades atrelado aos eventos ocorridos através das dinâmicas naturais causados por forças da natureza, mas que podem ser alterados pela ação humana. Esses riscos incluem inundações, os movimentos de massa, as erosões aceleradas, onde quanto maior for a intervenção humana no meio ambiente, maior a possibilidade de ocorrência de eventos que geralmente envolvem dano a vida e prejuízos materiais.

2.8 Efeitos da urbanização na impermeabilização, escoamento superficial e risco de movimento de massa

A maneira com que se utiliza a cobertura da terra tem influenciado de forma direta na dinâmica de evolução das encostas, na impermeabilização do solo e no escoamento superficial. As ações antrópicas como: desmatamentos, exploração mineral, recortes nos terrenos, aterros para construção, impermeabilizações de planícies de alagamentos, retificação de canais fluviais, entre outras, acabam promovendo maior instabilidade de encostas, aumentando a possibilidade de ocorrência de processos erosivos ou movimentos coletivos, culminando, por vezes em eventos catastróficos danosos a sociedade.

Nas áreas urbanas, os transtornos mais frequentes em relação a questão climática, são os movimentos de massa, os alagamentos e as inundações decorrentes das chuvas intensas. De acordo com Campbell-Lendrum e Corvalán (2007), as grandes áreas urbanizadas devem se tornar mais vulneráveis ao aquecimento e às inundações por serem geradoras de calor e pela impermeabilização do solo com construções que diminui a capacidade de percolação de águas das chuvas.

O processo de urbanização sem o devido planejamento pode alterar significativamente a dinâmica fluvial das bacias hidrográficas, ocasionando situações com potencial de perigo para a própria população residente (NÓREN et al, 2016).

Geralmente a urbanização de uma cidade se insere em bacias hidrográficas onde as instalações ocorrem de jusante para montante, acompanhando a via de drenagem, devido às características do relevo. Com isso os impactos das enchentes aparecem quando o sistema de condutos e canais existente não dá suporte ao escoamento que vem da implantação de novas moradias.

Trudeau e Richardson (2016) citam que os efeitos do modelo de ocupação urbana das bacias hidrográficas sem um planejamento adequado geram diversas consequências, como a impermeabilização do solo indiscriminada, ocupação de áreas de risco, a degradação, inundações e os alagamentos (LEE et al., 2012; CAPUTO, 2012). Segundo Antônio (2017), as inundações em áreas urbanas ocorrem basicamente em função do incremento do escoamento superficial que se deve a impermeabilização do solo e as intervenções no corpo hídrico, dessa forma contribuindo para o aumento do volume da vazão, dando vez aos alagamentos mediante acúmulo de água em áreas não permeáveis.

Em áreas urbanas um dos fatores mais notáveis da modificação no comportamento hidrológico é a contribuição das áreas impermeáveis nas enchentes. Em situações anteriores a ocupação do solo, quando esse apresenta uma situação de cobertura vegetal natural, a bacia hidrográfica apresenta um determinado tipo de comportamento de equilíbrio na drenagem das águas da chuva. Quando esta mesma área é descaracterizada pela ocupação antrópica, as superfícies tendem a serem menos permeáveis, acarretando a diminuição da infiltração e um aumento no escoamento superficial da água da chuva.

Como consequência, as encostas, enquanto ambientes dinâmicos estão sujeitas a transformações em sua forma e estrutura através de fatores naturais, os quais são apontados por Christofolletti (1973) como aqueles associados, principalmente, à estrutura das rochas e às variáveis climáticas; e de fatores antrópicos, onde podemos citar como exemplo, as intervenções humanas em áreas frágeis.

Segundo Medeiros (2013), deslizamentos de terra são movimentos rápidos de porções de um terreno, que se deslocam por ação de gravidade, para baixo e para fora da encosta, e são agravadas pela presença da água, onde em períodos chuvosos é fator predominante para a ocorrência de deslizamentos. A forma e a intensidade de como se dá os eventos de deslizamentos dependem de fatores que interferem diretamente nesse processo, como o manejo inadequado do solo e declividade daquela determinada área.

Melo (2016) destaca que outra característica contribuinte para os deslizamentos é a intensidade das áreas atingidas pelo desmatamento ou remoção da cobertura vegetal, que resultam no aumento da velocidade de run-off e diminuição da taxa de infiltração no solo. O desmatamento provoca, em geral, a destruição da vegetação de proteção de nascentes, da cobertura de solo, e da integridade do solo, o que propicia erosão e em outros casos o assoreamento de cursos d'água. Entretanto, segundo Highland e Bobrowsky (2008), o meio mais eficiente para a redução de riscos associados a deslizamentos é evitar a construção de edificações em áreas íngremes com o registro de deslizamentos ocorridos no passado.

2.9 Geotecnologias

As geotecnologias constituem um compilado de soluções tecnológicas que têm finalidade em coletar, armazenar, editar, processar, analisar e disponibilizar dados e informações com referência espacial geográfica. Como soluções, as geotecnologias são compostas por hardware, software, peopleware e dataware. Deste modo, podemos citar como ferramentas de geotecnologias, o geoprocessamento, SIG – Sistemas de Informações Geográficas, a cartografia digital, o sensoriamento remoto por satélites, o sistema de posicionamento global (ex. GPS), a geodésia, a topografia, a aerofotogrametria e outros. Dentre essas ferramentas, o geoprocessamento se destaca entre as demais, principalmente na constituição dos sistemas de informação geográficas (SIGs).

De acordo com Pires et al (2012), no âmbito da análise ambiental, as Geotecnologias por meio da cartografia digital, GPS, Sensoriamento Remoto, geoprocessamento, entre outros, permitem fazer uma análise integrada do ambiente, através de variadas fontes de informação que identificam como as alterações espaciais refletem no meio.

Para Costa (2017), as geotecnologias também são usadas para estudar a paisagem (topografia, hidrografia, geologia e geomorfologia) e variáveis ambientais (temperatura, pluviosidade e radiação solar), analisar e auxiliar na prevenção de desastres naturais (enchentes, terremotos e erupções vulcânicas), além de gerenciar e de monitorar a atividade humana (infraestrutura, agropecuária e dados socioeconômicos).

Segundo Xavier da Silva (2001), o geoprocessamento é um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre bases de dados georreferenciados que os transforma em informação relevante, na qual os dados são considerados os registros de ocorrências e a informação, o acréscimo de conhecimento.

Zaidan (2017) corrobora que o geoprocessamento pode ser considerado como um ramo de atividades, e pode ser definido como o conjunto de técnicas e métodos teóricos e computacionais relacionados com a coleta, entrada, armazenamento, tratamento e processamento de dados, a fim de gerar novos dados e ou informações espaciais ou georreferenciadas.

Grilo e Enami (2008) destacam que os Sistemas de Informações Geográficas conseguem integrar uma grande quantidade de dados que descrevem de forma heterogênea os aspectos físicos naturais, auxiliando nas tomadas de decisões que envolvem o gerenciamento, manutenção, operação, análises e planejamentos de atividades ligadas ao meio ambiente.

Igualmente, segundo Zaidan (2017), o SIG engloba em sua definição vários aspectos já abordados na definição de Geoprocessamento. Pode ser definido como um sistema composto por softwares e hardwares que estão submetidos a uma organização de pessoas interligadas para um mesmo fim, que se utilizam dados georreferenciados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, a edição, o processamento, a análise e a disponibilização, visando a possibilidade de planejar e monitorar questões ligadas ao espaço físico geográfico através dos produtos gerados pelo sistema, que são arquivos digitais contendo mapas, gráficos, tabelas e relatórios convencionais.

Deste modo, as geotecnologias através de suas ferramentas devem ser utilizadas para a construção de uma sociedade moderna que seja capaz não só de analisar os impactos causados no meio ambiente pela ação do homem, mas também de prever e evitar, como também, de solucionar os já existentes. Para que isso ocorra, é necessária a provocação do poder público e o incentivo para a construção e ou atualização de uma base de dados geográficos e cartográficos de qualidade para disponibilização ampla visando dar suporte tanto às decisões no âmbito do planejamento municipal e regional, quanto para a produção científica voltada aos diversos temas que envolvem a sociedade, sobretudo na questão ambiental.

2.10 Diferenciação de Áreas

Em sintonia com técnicas de geoprocessamento, a pesquisa se apoia no conceito de diferenciação de áreas de Richard Hartshorn enquanto categoria de análise, pois tem como finalidade a análise integrada dos elementos que constituem uma determinada área para que se tenha ao final do processo uma visão condizente com a realidade

Segundo Andrade (2016), o conceito de diferenciação de áreas tem sua formação baseada na colaboração de diversos autores ao longo de diferentes épocas. O termo foi introduzido por Carl Sauer em 1925, na publicação da obra “A Morfologia da Paisagem”, onde aponta que a diferenciação de áreas estava vinculada a paisagem e se constituía como um conjunto de fenômenos naturais e sociais integradas em uma determinada área.

Moraes (2007) afirma que em determinado momento, a diferenciação de áreas se tornou uma proposta para explicar o objeto da geografia, trazendo a ideia de individualizar e realizar comparações entre áreas, buscando uma regularidade na ocorrência dos fenômenos e nas suas inter-relações. Entretanto, o geógrafo Alfred Hettner propõe o estudo das diferenças,

onde a geografia se ocuparia em explicar o “por quê” e “em quê” diferem as áreas, além de compreender as formas de inter-relações dos elementos que compõe determinada área.

No entanto, Arcassa (2016) afirma que foi Hatshorne que deu notoriedade ao conceito, em 1939, ao publicar “A Natureza da Geografia”, onde na referida obra, o autor busca construir uma metodologia geográfica, investigando como os fenômenos se combinam em uma dada superfície, realizando integrações entre os elementos naturais e humanos, e atribuindo à objeto da geografia o estudo da diferenciação resultado da integração.

Para Andrade (2016) a categoria de análise da diferenciação de áreas tem como principal objetivo:

[...] identificar, descrever e comparar as unidades espaciais, sejam elas físicas ou sociais, individualizando-as em elementos, processos ou acontecimentos específicos, a critério dos fenômenos, recorte espacial e escala analisados; da mesma forma, integra a vasta multiplicidade de suas combinações, para ter como resultado um entendimento holístico e, ao mesmo tempo, sintético da realidade (ANDRADE, 2016, p.42).

Assim, considera-se que a diferenciação de áreas é um método que tem por finalidade a análise integrada dos elementos constituintes de uma dada área, para que se tenha ao final de um processo uma visão adequada com a realidade. No estudo em andamento, tais elementos são identificados como as variáveis ambientais.

2.11 Sistemas de Informações Geográficas (SIG) aplicados aos estudos de movimentos de massa e inundações/alagamentos

Por se tratar de um estudo que considera um conjunto de fatores que indicam a suscetibilidade dos terrenos aos movimentos de massa e as inundações, é correto afirmar que a análise ganha caráter multicriterial. Neste Sentido, o Sistema de Informações Geográficas, utilizando-se de produtos cartográficos e informações quantitativas e qualitativas contempla a necessidade de tratamento das informações agregadas, por oferecer módulos especialmente preparados para processos de tomada de decisão, quando são consideradas diversas variáveis.

Em análises da paisagem, os SIG apresentam um amplo ferramental à manipulação de dados espaciais, em casos de grandes volumes e complexidade, para geração de informações que subsidiam a avaliação e tomada de decisão, a exemplo do objetivo ora proposto. Para tanto, no sentido de se mapear áreas de risco, suscetíveis ou vulneráveis a deslizamentos de massa e inundações os SIG atrelados ao emprego das geotecnologias tem

papel fundamental para o desenvolvimento e melhor gestão do espaço urbano. Marcelino (2008), afirma que as geotecnologias possibilitam a coleta, armazenamento e análise de grande quantidade de dados, os quais, devido à complexidade dos desastres naturais, seriam praticamente inviáveis de serem tratados utilizando-se métodos analógicos e/ou tradicionais.

Nascimento (2016) enfatiza que as geotecnologias têm sido utilizadas, entre outras temáticas, no mapeamento e determinação dos graus de suscetibilidade, vulnerabilidade e riscos socioambientais. Dentre os recursos tecnológicos pertencentes à temática, o Sensoriamento Remoto (SR), Sistema de Informações Geográficas (SIG), Cartografia Digital e o Sistema de Posicionamento Global (GPS) assumem posições de destaque por serem reconhecidamente utilizados em mapeamentos dessa natureza.

De acordo com Pereira e Silva (2001), o processo de tomada de decisão pode ser caracterizado pelos componentes: identificação do problema, definição de metas, construção de soluções, avaliação de alternativas, escolha da alternativa, implementação e acompanhamento.

Levando em consideração a capacidade de dar uma rápida resposta com apresentação de resultados em curto espaço de tempo, Baptista (2010) afirma que, as principais iniciativas metodológicas adotadas no processo de gestão de catástrofe têm contado com a presença do SIG durante as fases de prevenção e recuperação. Nesse sentido, têm-se buscado aprimorar nas plataformas dos sistemas de informações geográficas as metodologias adotadas para estimar os variados graus de vulnerabilidade e riscos aos diversos eventos.

Para tanto, é através do geoprocessamento aplicado por meio de SIG, que se realizará a identificação e mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa e inundações localizadas na área urbana de Maceió, se utilizando do conceito de análise do comportamento dinâmico da paisagem, Diferenciação de Áreas, e de técnicas de Análise Multicritério através de Álgebra de Mapas e o método de Processo de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process - AHP).

2.12 Mapeamento de suscetibilidades

Em geral o mapeamento de suscetibilidade possui o objetivo de indicar áreas potencialmente instáveis, em função de características naturais intrínsecas como parâmetros geológicos, geomorfológicos, hídricos e de utilização do terreno. Diante disto, Ayalew et al.

(2005) afirma que como esta análise demanda o uso de grande quantidade de dados, o uso de SIG se mostra bastante promissor.

É possível encontrar uma diversidade de métodos na literatura para a confecção de mapas de suscetibilidade podendo ser de ordem qualitativa ou quantitativa. No que se refere aos qualitativos, tratam-se dos subjetivos, pois representam os níveis de suscetibilidade de forma descritiva, dependendo assim da opinião de especialistas. Deste modo, algumas abordagens qualitativas, contudo, incorporam o conceito de classificação e ponderação evoluindo para métodos semi-qualitativos, como é o caso do Processo Hierárquico Analítico (AHP, do inglês) (YALCIN, 2008).

No tocante aos métodos quantitativos, os mesmos são baseados em expressões numéricas que relacionam os fatores predisponentes, podendo ser determinísticos ou estatísticos. Yalcin (2008) realizou um estudo no qual compara o processo de hierarquia analítica, o índice estatístico e o fator de ponderação no mapeamento de suscetibilidades e concluiu que o método AHP deu uma imagem mais realista da distribuição real da suscetibilidade. Ayalew et al. (2005) compararam os resultados do mapeamento de suscetibilidades utilizando os métodos AHP e regressão logística e observaram que o mapa AHP foi melhor para capturar a realidade do solo.

2.13 Análise Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA)

Segundo Souza et al. (2018) o Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA), trata-se de um conjunto de métodos matemáticos que auxiliam na tomada de decisão em situações complexas que podem ser de caráter quantitativo e qualitativo, uma vez que é possível adotar diversas variáveis na avaliação e assim, identificar mais facilmente as concordâncias e discordâncias.

Diante do exposto, o grupo de métodos que integram e serão utilizados nesse trabalho são Análise Hierárquica do Processo (Analytical Hierarchy Process - AHP) e a Álgebra de Mapas apoiada à utilização de média ponderada.

2.14 Processo de Análise Hierárquica (AHP)

Dentre as diversas análises multicritério possíveis, uma das mais utilizadas é a Analytical Hierarchy Process (AHP). Método esse que consiste em uma matriz de comparação pareada, para isso usa variáveis pré-estabelecidas, comparando as mesmas em pares, afim de

determinar a hierarquia baseada na escala AHP. Sendo assim, as variáveis recebem pesos relativos, que relacionando com as notas recebidas posteriormente, irão apontar a prioridade de cada variável em relação a cada uma de suas características. (BEZERRA, 2019).

No contexto das geotecnologias, este método aparece como alternativa na mensuração da importância de cada variável para determinada finalidade, servindo para minimizar através de métodos matemáticos as incongruências na avaliação. Nesse sentido é possível citar algumas situações onde se pode aplicar esse método, tais como: Definição de áreas mais adequadas para a instalação de empreendimentos; análise de risco ambiental; planejamento de uso de terras e análise de sensibilidade ambiental. (COUTO, 2019).

O método AHP foi desenvolvido por Thomas L. Saaty em meados da década de 1970 com base em conceitos de matemática e psicologia. Este método fornece um procedimento compreensivo e racional para modelar um problema de decisão, representando e quantificando as variáveis envolvidas em uma hierarquia de critérios ponderados por preferências (pesos). Deste modo, o método AHP auxilia a tomada de decisão e é capaz de justificá-la.

Desta forma, de acordo com Vieira et al. (2015), o apoio a decisão é uma atividade que tem por base a utilização de modelos lógicos ou matemáticos na busca de respostas às questões de interesse da sociedade, através de expressão da preferência de determinada alternativa sobre outra. Boas (2006) completa que o método AHP é flexível e capacita os decisores a se adequarem às constantes mudanças, que são típicas de problemas complexos e dinâmicos, e facilita a análise e a sintetização das informações.

Pinese e Rodrigues (2012) afirmam que o processo de decisão utilizando AHP desenvolve-se ao longo de seis etapas, agrupadas em três estágios, listados a seguir:

a) Estágio 1- Estruturação da Hierarquia de Decisão.

- Estruturação da hierarquia.

b) Estágio 2- Construção da Matriz de Comparação pareada.

- Construção da Matriz

- Verificação da Consistência.

- Definir o valor da importância relativa (peso) de cada fato.

- Priorização das alternativas.

- Classificação Final.

c) Estágio 3 - Priorização das alternativas e definição das classes de vulnerabilidade.

- *Priorização das alternativas.*

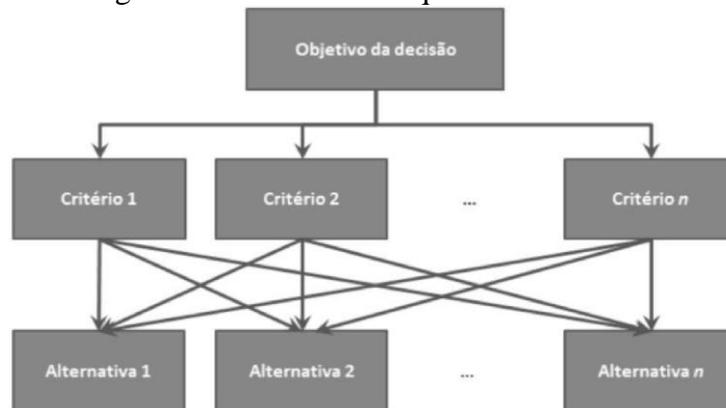
- *Classificação Final.*

(PINESE JÚNIOR; RODRIGUES, 2012, p.7)

Segundo Vieira et al. (2014), os resultados obtidos vão depender do conjunto de ações consideradas, da qualidade dos dados, do peso atribuído a cada critério, do modelo utilizado, da organização dos critérios e da participação dos diferentes atores.

De acordo com Silva e Belterrain (2009), no método AHP divide-se os critérios que subsidiarão a decisão em níveis hierárquicos, de acordo com a sua importância (Figura 6).

Figura 6 - Modelo Hierárquico AHP.



Fonte: Novas e Tona (2017), adaptado de Saaty (1997).

De acordo com Silva e Belterrain (2009) Após a divisão hierárquica dos critérios, o decisor deve realizar uma comparação par a par, de cada elemento do nível hierárquico, criando-se uma matriz quadrada recíproca positiva conhecida como matriz dominante (Figura 7). Deste modo, afirma-se que a Matriz Dominante é aquela que expressa o número de vezes em que uma alternativa domina ou é dominada pelas demais, onde as alternativas são comparadas par a par.

Figura 7 - Exemplo de Matriz Quadrada Dominante.

Alternativas	A	B	C
A	1	9	7
B	1/9	1	3
C	1/7	1/3	1
Σ	1,25	10,33	11,00

Fonte: Adaptada de Briozo e Musetti (2015).

Para realizar as comparações é necessário o conhecimento prévio relativo a importância dos elementos, para assim fazer os julgamentos corretos e equilibrados. A calculadora AHP converte esses julgamentos em valores numéricos que podem ser comparados entre si, isto permite que elementos distintos, possam ser comparados (PINESE e RODRIGUES, 2012). Para a comparação das alternativas (variáveis) é utilizada uma escala linear própria, que varia de 1 a 9, denominada Escala Fundamental de Saaty (Quadro 3).

Quadro 3 - Escala de Importância de Saaty.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Importância Equiparada	Contribuição equiparada para o objetivo.
3	Importância Moderada	Um objetivo ligeiramente favorável em detrimento de outro.
5	Importância Forte	Um objetivo fortemente favorável em detrimento de outro
7	Importância Muito Forte	Um objetivo muito fortemente favorável em detrimento de outro; domínio demonstrado na prática.
9	Importância Absoluta	É a maior ordem de afirmação possível de um objetivo em detrimento de outro.
2, 4, 6, 8	Valores Intermediários entre dois julgamentos sucessivos	Possível necessidade de se interpolar julgamentos numéricos.

Fonte: Pinese e Rodrigues (2012), adaptado de Carvalho e Mingoti (2005).

As comparações entre os atributos e alternativas são registradas em matrizes na forma de frações entre 1/9 e 9. Cada matriz é avaliada pelo seu autovalor para verificar a coerência dos julgamentos (Quadro 4).

Quadro 4 - Escala de Comparação par-a-par.

Valores	Importância mútua
1/9	Extremamente menos importante
1/7	Muito fortemente menos importante
1/5	Fortemente menos importante
1/3	Moderadamente menos importante
1	Igualmente importante
3	Moderadamente mais importante
5	Fortemente mais importante
7	Muito fortemente mais importante
9	Extremamente mais importante

Fonte: Saaty (1997).

Das Matrizes são calculados os autovetores máximos e os autovalores máximos (ou “lâmbida” λ_{max}). Os autovetores se dão pela somatória dos pesos da avaliação, como na matriz abaixo (Figura 8).

Figura 8 - Cálculo do somatório dos pesos da avaliação.

Alternativas	A	B	C
A	1	9	7
B	1/9	1	3
C	1/7	1/3	1
Σ	1,25	10,33	11,00

Fonte: Adaptada de Briozo e Musetti (2015).

Na sequência calcula-se a matriz de comparação par a par normalizada, dividindo cada elemento da matriz original pelo somatório dos pesos da avaliação (ex: $7/11 = 0,636$), como segue abaixo (Figura 9).

Figura 9 - Matriz de comparação par a par normalizada.

Alternativas	A	B	C	Σ
A	0,797	0,871	0,636	2,305
B	0,089	0,097	0,273	0,458
C	0,114	0,032	0,091	0,237
			Σ	3,000

Fonte: Adaptada de Briozo e Musetti (2015).

Para finalizar, visando calcular o autovetor máximo, divide-se o somatório das linhas da nova matriz normalizada, pelo somatório dos somatórios (3,000). Desta forma, se obtém o autovetor máximo, como no Quadro 5.

Quadro 5 - Cálculo do Autovetor Máximo.

Cálculo	Autovetor
2,305/3,000	0,768
0,458/3,000	0,153
0,237/3,000	0,079

Fonte: Saaty (1997)

O passo seguinte é calcular o autovalor máximo, por meio da multiplicação da matriz original (Figura 10).

Figura 10 - Cálculo do autovalor máximo.

$$\begin{bmatrix} 1 & 9 & 7 \\ 1/9 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,768 \\ 0,153 \\ 0,079 \end{bmatrix} = \begin{matrix} 2,70 \\ 0,48 \\ 0,24 \\ \Sigma \\ \mathbf{3,41} \\ \mathbf{autovalor} \\ \mathbf{máx ou } \lambda_{\text{máx}} \end{matrix}$$

Fonte: Adaptada de Briozo e Musetti (2015)

Ainda seguindo o que discorre Briozo e Musetti (2015), depois do cálculo do autovalor, verifica-se o índice de Consistência (Consistency Index), que mede a consistência

das comparações. É aconselhável que este índice se mantenha abaixo de 0,20. Sendo o cálculo é executado pela seguinte equação:

$$CI = \lambda_{max} - n / (n - 1)$$

Em seguida realiza-se a Razão de Consistência (CR - Consistency Ratio), também considera um erro aleatório, que está relacionado com a ordem da matriz, dado pelo Índice de Consistência Aleatória (RI- Random Consistency Index) disposto para matrizes de ordem de 1 a 10 (Quadro 6).

Quadro 6 - Índice de Consistência aleatória.

Ordem da Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI ou CA	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Fonte: Saaty (1997)

No tocante ao cálculo para a obtenção da Razão de Consistência, utiliza-se a seguinte equação:

$$CR = CI/RI$$

É importante salientar que se caso a Razão de Consistência for maior que 0,10, recomenda-se que o julgamento do avaliador seja revisto.

2.15 Álgebra de Mapas

Segundo Andrade (2016), a álgebra de mapas consiste na aplicação de operações aritméticas destinada à associação de vários planos de informação e, desta forma, obtém como resultado classificações que permitem análises diversas sobre variados temas.

Apoiada à álgebra de mapas, o algoritmo da média ponderada se dá pelo somatório da diferenciação do produto de pesos e notas para cada célula (pixel) dos planos de informação submetidos à integração de dados, de modo a resultar no mapa síntese para a finalidade desejada.

Deste modo a representação do algoritmo utilizado se dá pela seguinte expressão:

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n (P_k \cdot N_k)$$

Onde:

A_{ij} = Célula qualquer da matriz

n = Número de parâmetros envolvidos

k = Plano de informação

P = Peso atribuído do parâmetro, no intervalo de 0 a 1

N = Nota atribuída à categoria encontrada na célula da matriz (0 a 10)

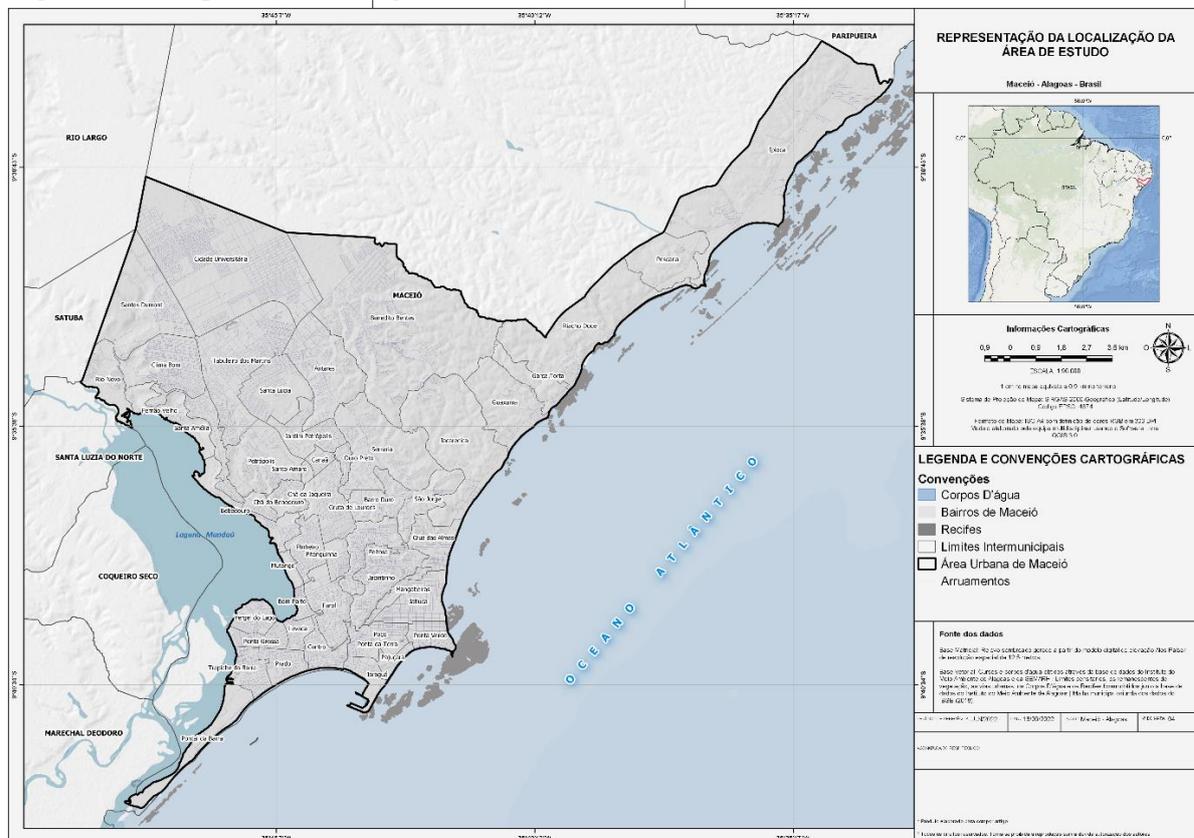
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo se insere no município de Maceió que é a capital do estado de Alagoas, fica localizado entre as coordenadas 8924000 a 8966000 mE e 19000 a 220000, tendo como Zona. Fuso SC 25 (Figura 11). Levando em consideração os dados do último Censo apresentado pelo IBGE, em 2010, o município de Maceió ocupa uma área de 510,655 km². A população estimada para o ano de 2021 era de 1.031.597 habitantes, sua densidade demográfica era de 1.854,10 hab/km².

Convém mencionar que o município de Maceió é o mais populoso de Alagoas e o 17º do Brasil. Maceió está inserido na Mesorregião Geográfica do Leste Alagoano e na Microrregião Geográfica homônima, localizada na Região Nordeste do Brasil (BRASIL, 2014). Atualmente a área urbana de Maceió é composta por 50 bairros (ALAGOAS, 2022).

Figura 11 - Mapa de Localização da área de estudo.



Fonte: Elaboração do Autor.

3.2 Aspectos físicos-ambientais

3.2.1 Clima

Segundo a classificação de Thornthwaite e Mather (1955), a área de estudo apresenta influência de clima do tipo úmido e subúmido e possui características principalmente, pela irregularidade na distribuição anual das precipitações, propiciando um acumulado total anual de chuvas que varia entre 1.500 mm e 1.900 mm (EMBRAPA, 2012) e uma uniformidade térmica durante todo o ano, em que a temperatura média é de 26°C, associada a um índice de umidade que varia de 20% a 60%, resultando, assim, em excedente hídrico médio de 3 (três) a 6 (seis) meses, ao tempo em que a deficiência hídrica média varia de 4 (quatro) a 5 (cinco) meses (FONSECA; AZEVEDO, 1983; KISHI; CENTENO, 1992; ABREU, 1999).

Ainda assim, a área estudada apresenta um período chuvoso que é representado pela quadra chuvosa (outono/inverno) que começa entre a segunda semana de abril e termina na segunda semana de agosto, e outro seco (primavera/verão), sendo resultado da influência do sistema de circulação intertropical que desenvolve climas controlados por massas quentes equatorial (Centro dos Açores) e tropical (anticiclone do Atlântico Sul) (NIMER, 1972).

3.2.2 Geologia

No que se refere à caracterização geológica, a área objeto possui uma estrutura geológica formada por depósitos areno-argilosos e argilosos regularmente compactados da Formação Barreiras, bacia sedimentar Alagoas-Sergipe, aflorando ainda rochas cretáceas das Formações: Coqueiro Seco, Penedo, Ponta Verde, Poção, entre outras (GAVA et. al., 1983; DANTAS e CALHEIROS, 1986; FEIJÓ, 1994).

3.2.3 Geomorfologia

Em relação ao relevo, a área em tela é constituída em grande maioria pelos Tabuleiros Costeiros (Formação Barreiras – ENb), compostos das formas de relevo Encostas de Vales Fluviais, Falésias Fósseis, Patamares Tabuliformes Aplanados e Dissecados, Rampas de Colúvio e Terraços Colúvio-Aluviais. É constituída ainda pela Planície Costeira, formada pelos Sedimentos de Praia e Aluvião (Qspa), representando as feições geomorfológicas Terraços Fluviomarinhas, Terraços Marinhas, Feixes de Cordões Praiais e Terraços Marinhas Coluviais.

3.2.4 Pedologia

Em se tratando da pedologia da área em análise, segundo a Embrapa (2018) os solos da área de estudo são em grande parte do território caracterizado como Argissolos Amarelos, Vermelhos-Amarelos e Acinzentados e os Latossolos Amarelos, Vermelhos e Vermelho-Amarelos.

3.2.5 Fitogeografia

A vegetação na área de estudo encontra-se bastante descaracterizada. De forma descontínua ocorre nas encostas remanescentes de Floresta Ombrófila (GUIMARÃES JÚNIOR, CALHEIROS, 2017). Em menor extensão, no reverso tabuliforme das falésias ocorrem Áreas de Transição Fitoecológica (Ecótono Floresta Estacional-Cerrado) e na planície litorânea, ocorrem Áreas as Formações Pioneiras sob influência Marinha (restingas) e Flúvio-Marinha (manguezais). (GONÇALVES e ORLANDI, 1983; ASSIS, 2000).

3.2.6 Hidrografia

No tocante a hidrografia, a área de estudo se constitui é constituída por uma rede de drenagem formada por rios e lagunas, pertencentes a sete sub-bacias hidrográficas, sendo a mais representativa a do Rio Reginaldo, que possui área total de 5.220,86 hectares, ocupando aproximadamente 25,40% da área urbana de Maceió, seguido pela do rio Pratagy. (Quadro 7).

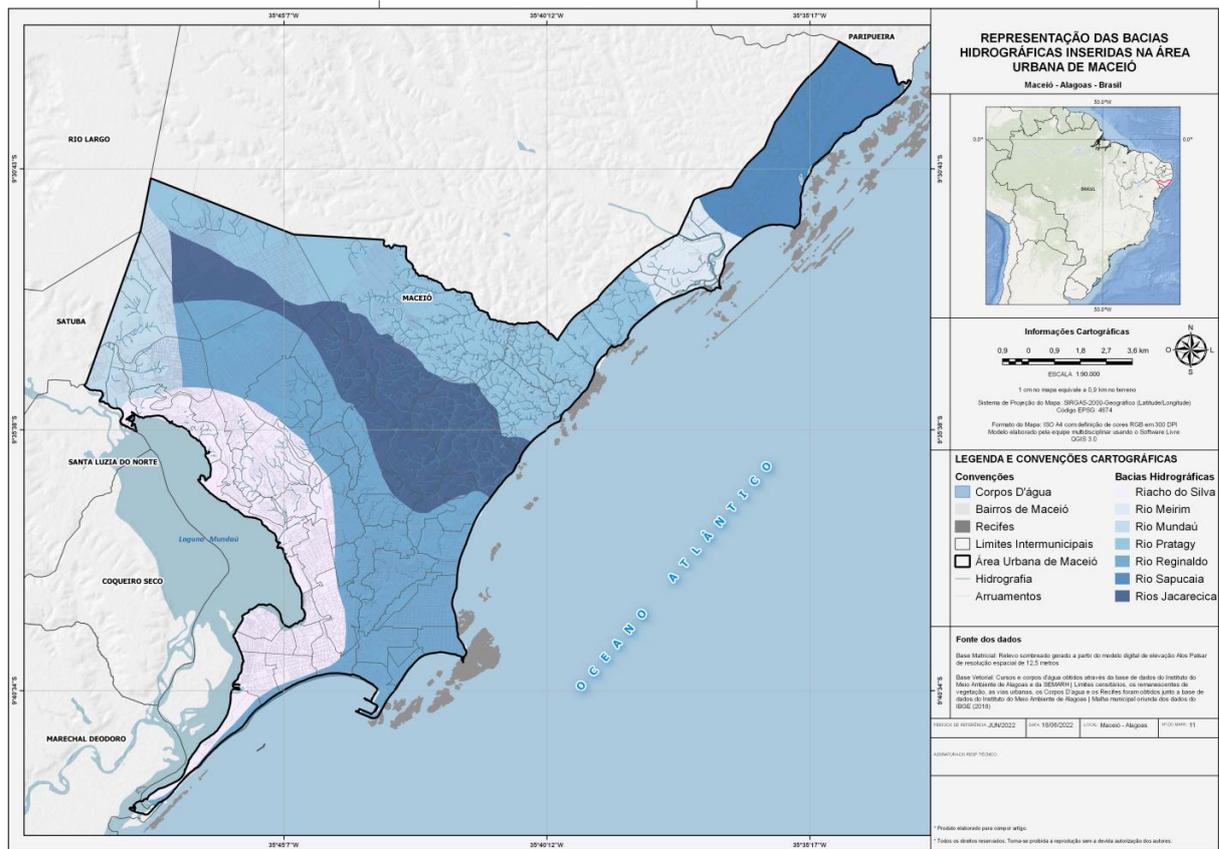
Quadro 7 - Área das bacias hidrográficas na Área Urbana de Maceió.

Bacia Hidrográfica	Área Total da sub Bacia Hidrográfica (há)	Área ocupada na área Urbana de Maceió (ha)	Área ocupada na área Urbana de Maceió (%)
Rio Reginaldo	5.220,86	5.042,10	25,40%
Pratagy	19.477,39	4.422,20	22,28%
Rio Jacarecia	3.334,27	3.304	16,64%
Riacho do Silva	3.343,04	3.224,70	16,24%

Rio Sapucaia	21.849,29	1.729,90	8,71%
Rio Mundaú	413.140,56	1.328,90	6,69%
Rio Meirim	26.507,25	638,36	3,21%

Fonte: Semarh (2007).

Figura 12 - Bacias Hidrográficas abrangidas pela área urbana de Maceió.



Fonte: Elaboração do Autor.

3.3 Aspectos Socioeconômicos

Segundo IBGE, calcula-se que a população estimada para Maceió, trata-se de aproximadamente 1.031.597 habitantes para o ano de 2021. É importante frisar que acompanhando as cidades brasileiras, a população urbana de Maceió obteve um aumento significativo em relação a rural, dados do censo de 1970, dão conta que Maceió possuía uma população de 263.270 habitantes, dos quais 4,63% habitavam a zona rural do município, já no ano de 2010, com uma população de 932.748, apenas 0,07% reside na zona rural da capital.

No ano de 2010 foi calculado pelo Atlas do Desenvolvimento Humano que a população de Maceió possuía em 2010 um índice IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) de 0,721, em uma escala que vai desde 0 até 1, desta forma, considerado alto. Tal índice era de 0,584 (considerado baixo) no ano de 2000, indicando um aumento de 23,45% no período de 10 anos.

Ainda de acordo com Atlas de Desenvolvimento Humano, no que se refere à educação, em relação ao ano de 2010, o município tem melhorado seus percentuais, ultrapassando em alguns aspectos a média Estadual, como na porcentagem de pessoas de 15 a 17 anos com ensino fundamental completo (Maceió: 49,7% e Alagoas: 39,56%), e na porcentagem de pessoas de 18 a 20 anos com ensino médio completo, que ultrapassa até a média nacional (Maceió: 42,62%, Alagoas: 25,86%, Brasil: 41:01%).

Porém de acordo com o Censo Escolar para os anos de 2013 e 2014, Maceió diminuiu as taxas de evasão escolar tanto no ensino fundamental quanto no ensino médio, sendo nesta última, a diminuição mais relevante, passando de 14,3% em 2013 para 12,2% em 2014, indo na contramão das taxas à nível estadual e nacional como demonstra no Quadro 8 .

Quadro 8 - Taxas de evasão Escolar em Nível Nacional, Estadual e Municipal.

Territorialidade	Ens. Fundamental (%) 2013	Ens. Médio (%) 2013	Ens. Fundamental (%) 2014	Ens. Médio (%) 2014
Brasil	3,4	10,9	3,6	11,2
Alagoas	5,9	14,1	5,9	13,7
Maceió	7,1	14,3	6,9	12,2

Fonte: Atlas Brasil (2021)

No que concerne à economia, o IBGE afirma que Maceió possui o 6º maior PIB entre as capitais do Nordeste, e colabora com 0,32% para o PIB nacional (Quadro 9).

Quadro 9 - Municípios e seu Produto Interno Bruto per capita, participação no PIB Nacional (2019), e Índices de Desenvolvimento Municipal (2010).

Capital	PIB (x mil reais)	Participação no PIB Nacional (%)	PIB per capita	IDHM (2010)
Fortaleza	67.412.733	0,91	25.254,44	0,754

Salvador	63.804.120	0,86	22.213,24	0,759
Recife	54.691.223	0,74	33.232,26	0,772
São Luiz	32.103.746	0,43	29.135,32	0,768
Natal	24.855.507	0,34	28.113,21	0,763
Maceió	23.411.869	0,32	22.976,51	0,721
Teresina	22.017.655	0,30	25.458,50	0,751
João Pessoa	20.846.770	0,28	25.768,09	0,763
Aracajú	17.534.513	0,24	26.688,23	0,77
Brasil	7.389.131.000	-	-	-

Fonte: IBGE, Sistema de Recuperação Automática (2021).

Em se tratando de geração de emprego, Silva (2013), afirma que um setor que merece destaque na caracterização econômica de Maceió, é o setor de turismo, que no fim de 2010, era responsável por 10.690 empregos formais, o que representa 65,7% dos empregos gerados pelo turismo em Alagoas, e 6,7% dos empregos formais na capital.

Segundo Simões (2012) o setor industrial, Alagoas como um todo tem pouca representatividade. Historicamente se constituiu, sobretudo em Maceió, um setor comercial e de serviços que serve a todo o Estado, as poucas indústrias alagoanas fora do setor sucroalcooleiro estão preponderantemente localizadas em Maceió, dentre elas, a Braskem, e a Sococo, eleita a maior beneficiadora de coco-da-baía do mundo.

3.4 Procedimentos Metodológicos

Segundo Nascimento (2016), o método tem como função principal descrever detalhadamente as experiências e os modelos adotados na investigação científica. Para Marconi e Lakatos (2003, p. 83), o método consiste no conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo – conhecimentos válidos e verdadeiros – traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista.

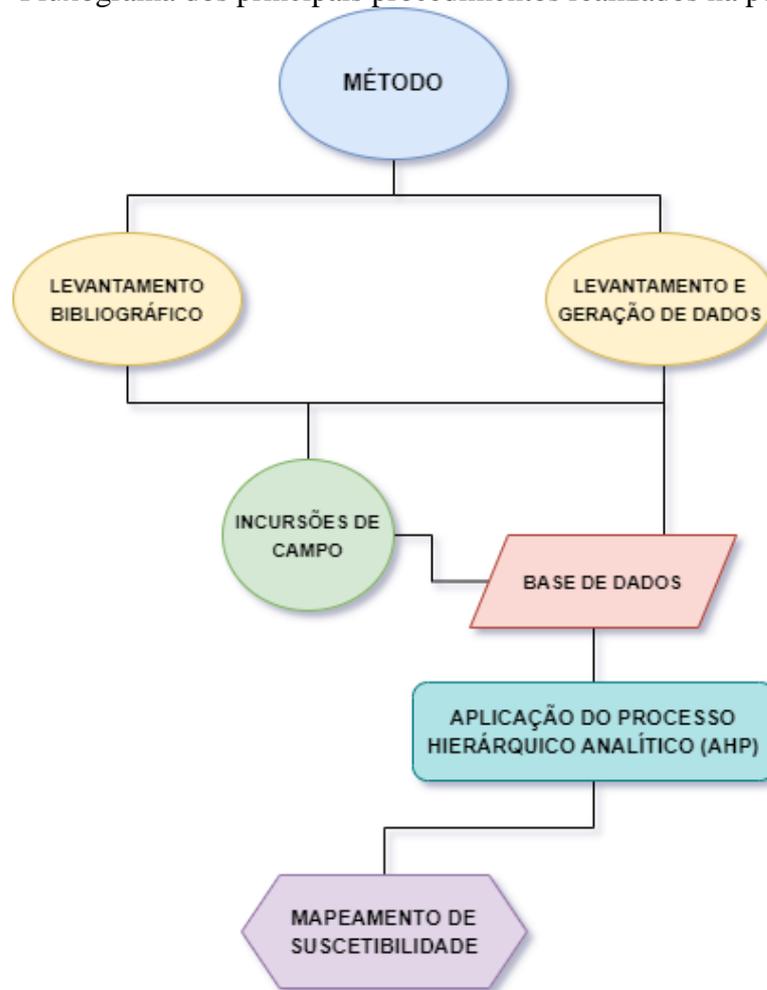
Neste sentido, o estudo se sustenta no pensamento sistêmico baseando-se em análise do comportamento dinâmico da paisagem, avaliando diversos elementos, físicos e socioeconômicos, integrados e correlacionados e tem como a unidade de área a zona urbana do município de Maceió Alagoas. Esta pesquisa utiliza a adaptação da proposta metodológica de Libalt (1971) para a produção, estruturação e operacionalização das análises, que envolvem níveis de pesquisa geográfica fundamentada no tratamento qualitativo e

quantitativo, com aplicação de dados numéricos passíveis de representação cartográfica por meio de mapeamentos visuais dando vida ao produto final da pesquisa.

Em conjunto com a proposta elaborada por Libault (1971), esta pesquisa trará uma metodologia embasada em um método de análise de tomada de decisão multicritério, que segundo Costa (2006, apud. ALVES, 2015) buscam a modelagem e solução de problemas com várias opções, critérios e importâncias distintas. Sendo assim um importante instrumento no que tange a tomada de decisões por grau de importância de fatores, tendo seu uso cada vez mais difundido.

A metodologia adotada para o embasamento do estudo se deu a partir de procedimentos realizados pontualmente. A princípio foi realizada a fase de coleta de informações bibliográficas para o embasamento teórico-conceitual, em seguida, a elaboração da base de dados físico-ambientais provenientes de fontes primárias e secundárias, como também as atividades de campo com a finalidade de se obter a precisão da base de dados. Por fim, foram aplicados os procedimentos que consistem na Análise Multicritério de Apoio a Decisão (MCDA), especificamente no uso do AHP e da Álgebra de Mapas mediante a utilização da Média Ponderada, uma vez que por meio deste tipo de análise, pode-se considerar diversos critérios no estudo de uma situação complexa, auxiliando na tomada de decisão. A representação dos principais procedimentos realizados na pesquisa está descrito em um cartograma simplificado representado na Figura 13.

Figura 13 - Fluxograma dos principais procedimentos realizados na pesquisa.



Fonte: Autor.

3.5 Materiais Utilizados

3.5.1 Da base de dados cartográfica

Para a elaboração desta pesquisa, fora realizada a aquisição dos dados por meio de arquivos vetoriais, cartas planialtimétricas, imagens de satélite fornecidos por órgãos públicos. Diante disto, optou-se por obter uma escala de mapeamento compatível a 1:25.000 que de maneira satisfatória atendem as necessidades quanto ao nível de detalhamento através de dados matriciais, vetoriais e estatísticos tabulados e disponibilizados por órgãos públicos e pesquisas realizadas anteriormente na área de estudo.

3.5.2 Dos dados matriciais

3.5.2.1 Cartas topográficas

Em relação as cartas topográficas, foram utilizadas cartas planialtimétricas da Petrobrás (1965), na escala de 1:25.000, elaboradas pela Cruzeiro do Sul S.A. Engenharia de Aerolevantamentos, que abrangem a totalidade do município de Maceió.

3.5.2.2 Imagens de satélite

Apoiado nas cartas topográficas, também foram utilizadas imagens do satélite CBERS-04A, com resolução espacial de dois (02) metros na banda pancromática; e oito (08) metros nas bandas multiespectrais, ambas disponibilizadas pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

No quadro 10 a seguir é possível verificar as principais características do referido satélite.

Quadro 10 - Características das imagens do Satélite CBERS-04A.

Caraterística	WPM	MUX	WFI
Bandas Espectrais	0,45-0,52 μ m (B) 0,52-0,59 μ m (G) 0,63-0,69 μ m (R) 0,77-0,89 μ m (NIR) 0,45-0,90 μ m (PAN)	0,45-0,52 μ m (B) 0,52-0,59 μ m (G) 0,63-0,69 μ m (R) 0,77-0,89 μ m (NIR)	0,45-0,52 μ m (B) 0,52-0,59 μ m (G) 0,63-0,69 μ m (R) 0,77-0,89 μ m (NIR)
Largura de faixa imageada	92 km	95 km	684 km
Resolução Espacial (Nadir)	2 m (pancromática) 8 m (multiespectral)	16,5 m	55 m
Visada Lateral de Espelho	não	não	não
Taxa Bruta de Dados	1800.8 Mbps 450.2 Mbps	65 Mbps	50 Mbps
Revisita	31 dias	31 dias	5 dias

Fonte: INPE (2021).

3.5.3 Dados vetoriais

Em relação aos dados vetoriais que compõe a base de dados da pesquisa, foram utilizados:

- Malha Municipal de Maceió do IBGE para o ano de 2022 no formato Shapefile (.shp), na escala de 1:250.000, como delimitador da área de estudo que, neste caso, é a área urbana do município de Maceió.

- Malha de Bairros de Maceió do IBGE para o ano de 2022 no formato Shapefile (.shp), como delimitador da Zona Urbana e Zona Rural adotados no Plano Diretor de Maceió de 2005.
- Rede hidrográfica do IBGE para o ano de 2022 no formato Shapefile (.shp), na escala de 1:250.000, para os cursos hídricos, e para as bacias hidrográficas fora utilizada a base da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) no ano de 2007 em formato Shapefile (.shp).
- Precipitação Pluviométrica Média Anual do Estado de Alagoas que consta no acervo digital do Zoneamento Agroecológico de Alagoas produzido pela Embrapa Solos.
- Índice Xerotérmico do Estado de Alagoas elaborado pelo Instituto do Meio Ambiente de Alagoas seguindo a metodologia de Assis (2015, p. 75) para os dados da Sudene (1990) de pluviometria e temperatura referentes à série de 1912 a 1990.
- Curvas de nível com equidistâncias de 10 metros e pontos cotados, extraídas das cartas topográficas já mencionadas. Estes dados são importantes para a descrição de dados referentes ao relevo, e foram imprescindíveis para a elaboração do mapa de declividade da área em questão.
- Uso do solo e cobertura vegetal, gerado a partir da imagem de satélite CBERS-4A, apoiado ao Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE do ano de 2013 para definição das classes, assim como das respectivas cores evidenciadas no mapa temático.
- Mapa de Unidades de Solos oriundos de Calheiros (2004). Tem função importante, tanto na caracterização da área de estudo, quanto na elaboração dos mapeamentos suscetibilidade.
- Mapa Geomorfológico oriundos de Calheiros (2004). Tem função importante, tanto na caracterização da área de estudo, quanto na elaboração dos mapeamentos suscetibilidade.

De posse da base de dados apoiado nas ferramentas de geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), foram identificados cinco parâmetros como essenciais para a realidade local a partir da elaboração dos mapas temáticos das unidades geomorfológicas, o mapa litológico juntamente aos mapas de solos, a intensidade pluviométrica e a declividade, para se adotar como arcabouço técnico para a identificação e elaboração dos mapas de suscetibilidade a movimentos de massas e inundações.

No tocante as unidades litológicas foram compiladas e adaptadas com base nos mapeamentos efetuados por Richter *et al.* (1975): cartas geológicas da bacia sedimentar Sergipe-Alagoas, Maceió (SV-25-V-C-IV-2) na escala 1:25.000; e Dantas e Calheiros (1986): mapa geológico do estado de Alagoas, na escala 1:250.000. Diante disto, a atualização das

classes seguiu a orientação taxonômica estabelecida por Feijó (1994) em estudos desenvolvidos na bacia Sergipe Alagoas, pela qual essas classes foram mapeadas.

Em relação as unidades geomorfológicas, as classes foram mapeadas com base nos estudos elaborados por Goes (1979), Costa (1980), Nou *et al.* (1983), Marques (1987), Lima *et al.* (1996) e Lima (1990). Para tanto, utilizaram-se as cartas topográficas, nas escalas 1:25.000, com equidistância de 10 metros; e cartas geológicas, na escala 1:25.000. A partir das curvas em nível com equidistância de 10 metros e os pontos cotados, foi possível elaborar o Modelo Digital de Elevação (MDE) e, em seguida as classes de declividade da área de estudo. De posse dos referidos dados e com o auxílio dos mapas temáticos relativos à distribuição das formas de relevo, elementos litológicos, pedológicos e o uso de solo e cobertura vegetal, delimitaram-se as unidades morfológicas da área de estudo, em detalhe compatível com escala 1:25.000.

Para elaboração das unidades de solos, adotaram-se como referência os estudos desenvolvidos por Jacomine *et al.* (1975), Wake e Souza (1983) e Brasil (2012). Tendo em vista os objetivos delineados no presente estudo, realizou-se a extrapolação das classes de solos dos mapas elaborados pela Embrapa Solos, na escala de 1:100.00, correspondente ao Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas. Além das condições pedológicas existentes, adotaram-se como critério os aspectos litológicos e morfológicos, já que a referida área de estudo apresenta certa homogeneidade entre essas variáveis definidoras das classes de solos.

A intensidade pluviométrica é um parâmetro importante na avaliação do objeto estudado, pois, segundo Crepani et al (2001, p. 15):

[...] permite a quantificação empírica do grau de risco a que está submetida uma unidade de paisagem, pois situações de intensidade pluviométrica elevada, isto é, alta pluviosidade anual e curta duração do período chuvoso, podem ser traduzidas como situações onde a quantidade de água disponível para o “runoff” é muito grande, e, portanto, é maior a capacidade de erosão.

Deste modo, para a elaboração do mapa de intensidade pluviométrica foram utilizados os dados vetoriais em formato Shapefile (.SHP) da Precipitação Pluviométrica Média Anual para o Estado de Alagoas e o Índice Xerotérmico do Estado de Alagoas.

A pluviometria média anual é oriunda do acervo digital do Zoneamento Agroecológico de Alagoas, elaborado pela Embrapa Solos (BARROS *et al.* 2012); já o Índice

Xerotérmico foi elaborado pelo Instituto do Meio Ambiente de Alagoas, seguindo a metodologia de Assis (2015, p. 75), para os dados da Sudene (1990) de pluviometria e temperatura referentes à série de 1912 a 1990.

Mediante ao fato, a construção do plano de informação referente à Intensidade Pluviométrica seguiu a definição de Crepani, Medeiros e Palmeira (2004), os quais afirmam que, para uma determinada área, o quociente do valor da pluviosidade média anual (em mm) e a duração do período chuvoso (em meses) resultam no aludido índice, e se expressa na seguinte fórmula:

$$IP = \frac{PMA}{(NDC/30)}$$

Onde:

IP = Intensidade Pluviométrica

PMA = Pluviosidade Média Anual

NDC = Número de Dias com Chuva

Convém mencionar que o número de dias foi convertido em meses, dividindo-se o total de dias por 30. Dessa maneira, foram obtidas faixas de intensidade pluviométrica que variaram de 200 a 350 mm/mês, classificados em seis faixas com intervalos de 25 mm/mês.

O mapa de declividade foi produzido a partir das cartas topográficas nas escalas 1:25.000 (PETROBRÁS, 1965). O shapefile correspondente às curvas em nível foi convertido para vetor do tipo ponto e unido aos pontos cotados. Em seguida, adotou-se a TIN (Triangulated Irregular Network) como algoritmo de interpolação para produção do Modelo Digital de Elevação, com resolução espacial de 10 metros.

A partir da obtenção das cenas multiespectrais do satélite CBERS-04A foi possível elaborar o plano de informação de Uso do Solo. A elaboração deste tema se deu através do processo de vetorização manual em tela usando o software QGIS, versão 3.28. A composição multiespectral adotada no processo de classificação foi calibrada para o RGB 3-2-1 (cores verdadeiras), respectivamente.

3.6 Definição de Pesos e Notas

Apoiados nos procedimentos que consistem a na Análise Multicritério de Apoio Decisão (MCDA), especificamente no uso do AHP que permite comparar e avaliar diferentes

opções com base em critérios e subcritérios ponderados, fora necessário definir pesos e notas para participarem da integração dos dados através da álgebra de mapas para os mapeamentos de suscetibilidades a Movimentos de Massa e Inundações/Alagamentos.

3.6.1 Variáveis Ambientais dos Movimentos de Massa

Para esta avaliação optou-se por definir cinco variáveis ambientais para participaram da integração mediante a álgebra de mapas, sendo elas: declividade, solos, geomorfologia, pluviometria e geologia. Mediante a definição das referidas variáveis, fez-se o uso do método AHP, que apoiado na metodologia descrita anteriormente, estabeleceu o peso que cada variável tem na avaliação por meio da comparação par a par, conforme descrita no quadro 11.

Quadro 11 - Matriz de Comparação par a par para definição dos pesos das variáveis dos Movimentos de Massa.

	Declividade	Solos	Geomorfologia	Intensidade Pluviométrica	Geologia
Declividade	1	2	2	4	7
Solos	1/2	1	1	2	5
Geomorfologia	1/2	1	1	2	5
Intensidade Pluviométrica	1/4	1/2	1/2	1	2
Geologia	1/7	1/5	1/5	1/2	1

Fonte: Elaboração do autor.

Diante do exposto, convém mencionar que a comparação par a par retornou uma razão de consistência de 0%, o que atende a metodologia proposta, visto que, avaliações que retornam acima de 10% necessitam serem revistas.

3.6.1.1 Declividade

A declividade tem um grau de importância considerável na avaliação, visto que ela remete a informações no tocante a estrutura topográfica do terreno. Deste modo, levando-se em consideração sua relevância para os movimentos de massa, esta variável possui um peso de 40,8% na avaliação, onde as notas definidas para as classes de declividade aumentam gradualmente de modo que a inclinação do terreno aumenta, conforme consta na Tabela 1.

Tabela 1 - Determinação das notas para a variável declividade.

Classe	Nota
Plano	0
Suave Ondulado	3
Ondulado	5
Forte Ondulado	7
Montanhoso	9
Escarpado	10

Fonte: (Embrapa, 1979).

3.6.1.2 Unidades de Solos

Os grupos de solos possuem diversas características que podem levar ao entendimento de qual é o suscetível a movimentos de massa, a partir da proposta de Pedron (2005), foram considerados para distribuição das notas: profundidade, expansividade, drenagem, e suscetibilidade a erosão.

- Profundidade dos solos - se refere à profundidade do solo desde a superfície até o topo da rocha;

- Expansividade - Caracteriza a presença e quantidade de argilas expansivas no perfil de solo. Solos muito expansivos podem causar diversos danos às construções urbanas, tais como: rachaduras, fissuras em fundações, rompimento de tubulações, além de instabilidade de taludes (MORAIS, J. J. O., 2017);

- Drenagem - se relaciona à capacidade do solo de drenar a água, ou seja, o quanto o solo demora em remover de sua superfície o excesso de água;

- Suscetibilidade a erosão - o quanto o solo está sujeito aos efeitos erosivos, considerando-se para esta análise a sua erodibilidade natural.

Desta forma, esta variável possui peso de 21,9% na avaliação, e levando em consideração as características adotadas para avaliação da suscetibilidade dos solos, foram determinadas as notas de avaliação descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Determinação das notas para a variável de unidades de solos.

Classe	Nota
Neossolos Quartzarênicos	0

Gleissolos	0
Latossolo Amarelo Distrófico	3
Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	10

Fonte: (Elaboração do autor).

3.6.1.3 Geomorfologia

A ação humana tem sido um dos principais agentes modificadores do meio ambiente ao longo da história. À medida que a população humana cresce e avança tecnologicamente, aumenta-se também o impacto sobre os elementos ambientais alterando o equilíbrio e dinâmica dos processos naturais. Um dos elementos ambientais que sofrem uma grande quantidade de modificações é o relevo, sendo o principal fator condicionante na forma de uso do território, pois suas características podem determinar a viabilidade ou não de uma determinada ocupação.

Dentre as atividades desenvolvidas possuem impacto significativo na modificação do relevo terrestre, estão às escavações, que envolvem cortes nas encostas e retirada de material, as construções de infraestruturas, a urbanização e sobretudo a supressão de vegetação nativa. Deste modo, a geomorfologia tem aplicabilidade direta no planejamento urbano uma vez que, a alteração do relevo propicia a criação, indução, intensificação ou modificação dos processos geomorfológicos.

Mediante o exposto, o peso dado para a variável equivale a 21,9%, onde as classes têm suas notas distribuídas conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3 - Determinação das notas para a variável unidades geomorfológicas.

Classe	Nota
Terraços	0
Cordões Praiais	0
Restinga	0
Interflúvios	1
Alagadiços de Maré	1
Colinas	1
Rampas de Colúvio	3
Encostas	10
Falésias Fósseis	10

Vales Fluviais	10
----------------	----

Fonte: (Elaboração do autor).

3.6.1.4 Intensidade Pluviométrica

A intensidade pluviométrica é uma variável ambiental importante quando se trata de movimentos de massa, pois refere-se à quantidade de chuva que cai em um determinado período de tempo que desempenha um papel crítico no desencadeamento de movimentos de massa tendo influência direta na saturação do solo levando à diminuição da resistência do solo e tendo como consequência sua erodibilidade.

Deste modo, o peso equivalente a esta variável é de 10,5%, com suas notas expressas conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4 - Determinação das notas para a variável intensidade pluviométrica.

Classe	Nota
200 – 225 mm/mês	7
225 – 250 mm/mês	7
250 – 275 mm/mês	8
275 – 300 mm/mês	9
300 – 325 mm/mês	10
325 – 350 mm/mês	10

Fonte: (Elaboração do autor).

3.6.1.5 Geologia

A geologia é uma variável ambiental fundamental para entender os movimentos de massa. Ela se refere às características e propriedades do substrato rochoso e do solo presentes em uma determinada área. A composição geológica pode influenciar significativamente a ocorrência e a natureza dos movimentos de massa.

Alguns dos principais aspectos da geologia que são relevantes para os movimentos de massa incluem: tipo de rocha, estrutura geológica e permeabilidade.

Compreender esses aspectos geológicos pode ajudar na identificação de áreas propensas a movimentos de massa e na implementação de medidas de prevenção e mitigação

adequadas. Para tanto esta variável possui um peso de 4,9%, com suas notas descritas na Tabela 5.

Tabela 5 - Determinação das notas para a variável geologia

Classe	Nota
Formação Muribeca	0
Sedimentos de Praia e Aluvião	0
Formação Barreiras	10

Fonte: (Elaboração do autor).

3.6.2 Variáveis Ambientais das Inundações/Alagamentos

No tocante as inundações/alagamentos, optou-se por definir quatro variáveis ambientais para participaram da integração mediante a álgebra de mapas, sendo elas: Uso do solo, declividade, intensidade pluviométrica e solos, onde foi possível estabelecer o peso que cada variável tem na avaliação através da comparação par a par (Quadro 12) que retornou uma razão de consistência de 3%, o que atende a metodologia proposta.

Quadro 12 - Matriz de Comparação par a par para definição dos pesos das variáveis das Inundações/Alagamentos.

	Uso do Solo	Declividade	Intensidade Pluviométrica	Solos
Uso do Solo	1	2	1	2
Declividade	1/2	1	2	2
Intensidade Pluviométrica	1/3	1/2	1	3
Solos	1/2	1/2	1/3	1

Fonte: Elaboração do autor.

3.6.2.1 Uso do Solo e Cobertura Vegetal

O uso do solo e a cobertura vegetal são, de fato, produtos socioeconômicos que representam como a sociedade utiliza o espaço geográfico e desempenham um papel fundamental como indicadores ambientais na caracterização da dinâmica territorial em várias escalas. De acordo com Moura e Freitas (2004), o uso do solo é intensificado de acordo com os interesses econômicos e políticos, ficando a qualidade de vida à margem, o que acarreta grandes desequilíbrios sociais e, sobretudo ao meio ambiente.

O uso do solo refere-se à forma como as atividades humanas estão distribuídas e organizadas no espaço, enquanto a cobertura vegetal representa a presença e distribuição das diferentes formações vegetais em determinada área.

Esses produtos são utilizados para entender a relação entre as atividades humanas e a paisagem, fornecendo informações valiosas sobre a ocupação do território, o desenvolvimento urbano, a expansão agrícola, a preservação de áreas naturais, entre outros aspectos. Eles ajudam a identificar tendências e padrões espaciais, auxiliando na tomada de decisões para o planejamento territorial, o monitoramento ambiental e o desenvolvimento sustentável.

Considerando o exposto acima, essa variável obteve 32,9% de peso na avaliação, e as notas de suas classes estão descritas na tabela abaixo:

Tabela 6 - Determinação de notas para a variável uso do solo e cobertura vegetal.

Classe	Nota
Remanescentes de Vegetação	1
Praia	1
Eucalipto	1
Pastagem	4
Capoeira	5
Outras Culturas	10
Cana-de-Açúcar	6
Solo Exposto	7
Área Edificada	9
Corpos D'água	10

Fonte: Elaboração Própria.

3.6.2.2 Declividade

A declividade trata-se de uma variável ambiental se suma importância ao analisar a suscetibilidade a alagamentos e inundações, pois a mesma refere-se à inclinação do terreno e desempenha um papel crucial na forma como a água escoar e se acumula em determinada área. Em geral, terrenos com declividade mais acentuada têm uma capacidade maior de drenagem, pois a água tende a escoar mais rapidamente. Por outro lado, áreas com declividade baixa ou plana têm menos capacidade de escoamento, o que aumenta o risco de acúmulo de água e a ocorrência de alagamentos.

Além da declividade, outros fatores também podem influenciar a ocorrência de alagamentos e inundações, como a capacidade de armazenamento e impermeabilização do solo, a cobertura vegetal, o sistema de drenagem urbana e a intensidade das chuvas.

Considerando o exposto acima, esta variável obteve um peso de 28,2%, e as notas encontram-se expressas na Tabela 7.

Tabela 7 - Determinação das notas para a variável declividade.

Classe	Nota
Plano	10
Suave Ondulado	7
Ondulado	5
Forte Ondulado	4
Montanhoso	3
Escarpado	1

Fonte: (Elaboração do autor).

3.6.2.3 Intensidade Pluviométrica

Esta variável ambiental possui papel fundamental para a compreensão e prevenção de alagamentos e inundações, pois refere-se à quantidade de chuva que cai em um determinado período de tempo, desempenhando um papel crucial nos processos hidrológicos, uma vez que chuvas intensas podem levar a um rápido aumento do volume de água em rios, córregos e sistemas de drenagem. Quando a intensidade da chuva excede a taxa de infiltração do solo ou a capacidade de absorção do sistema de drenagem, a água começa a se acumular, resultando em alagamentos e, em casos mais extremos, em inundações.

Em áreas urbanas, onde a superfície é predominantemente impermeável devido à presença de infraestruturas urbanísticas, a intensidade pluviométrica desempenha um papel ainda mais crítico. A água passa a ter dificuldade de infiltrar-se no solo e flui rapidamente sobre as superfícies pavimentadas, aumentando o escoamento superficial e sobrecarregando os sistemas de drenagem.

Neste caso, esta variável ambiental obteve um peso de 26,6% na avaliação, e as notas de suas classes estão descritas na Tabela 8:

Tabela 8 - Determinação das notas para a variável intensidade pluviométrica.

Classe	Nota
200 – 225 mm/mês	7
225 – 250 mm/mês	7
250 – 275 mm/mês	8
275 – 300 mm/mês	9
300 – 325 mm/mês	10
325 – 350 mm/mês	10

Fonte: (Elaboração do autor).

3.6.2.4 Solos

As unidades de solos podem ser consideradas como variáveis ambientais relevantes para o estudo e a compreensão da suscetibilidade a alagamentos e inundações, pois os solos desempenham um papel crucial na regulação do ciclo hidrológico, afetando a infiltração, a retenção e o escoamento da água.

Alguns tipos de solo possuem alta capacidade de infiltração, permitindo que a água percole com facilidade ajudando assim a dirimir a probabilidade da ocorrência de alagamentos e inundações, já que a água é absorvida pelo solo e pode ser armazenada nas camadas mais profundas, sendo os solos arenosos e argilosos bem drenados exemplos de solos com boa capacidade de infiltração.

Por outro lado, solos com baixa capacidade de infiltração, como solos argilosos compactados ou solos impermeabilizados por pavimentos e construções, podem contribuir para o aumento do escoamento superficial tendo dificuldade em absorver água, resultando em maior volume de água escoando sobre a superfície.

O conhecimento dessas características das unidades de solo se faz útil para a gestão e o planejamento adequados das áreas suscetíveis a alagamentos e inundações. Deste modo, esta variável ambiental obteve um peso de 12,3% e notas de cada classe encontram-se descritas na Tabela 9.

Tabela 9 - Determinação das notas para a variável unidades de solos.

Classe	Nota
Neossolos Quartzarênicos	1
Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	3

Latossolo Amarelo Distrófico	4
Gleissolos	9

Fonte: (Elaboração do autor).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Mapeamento das Unidades Geológicas da Área Urbana de Maceió

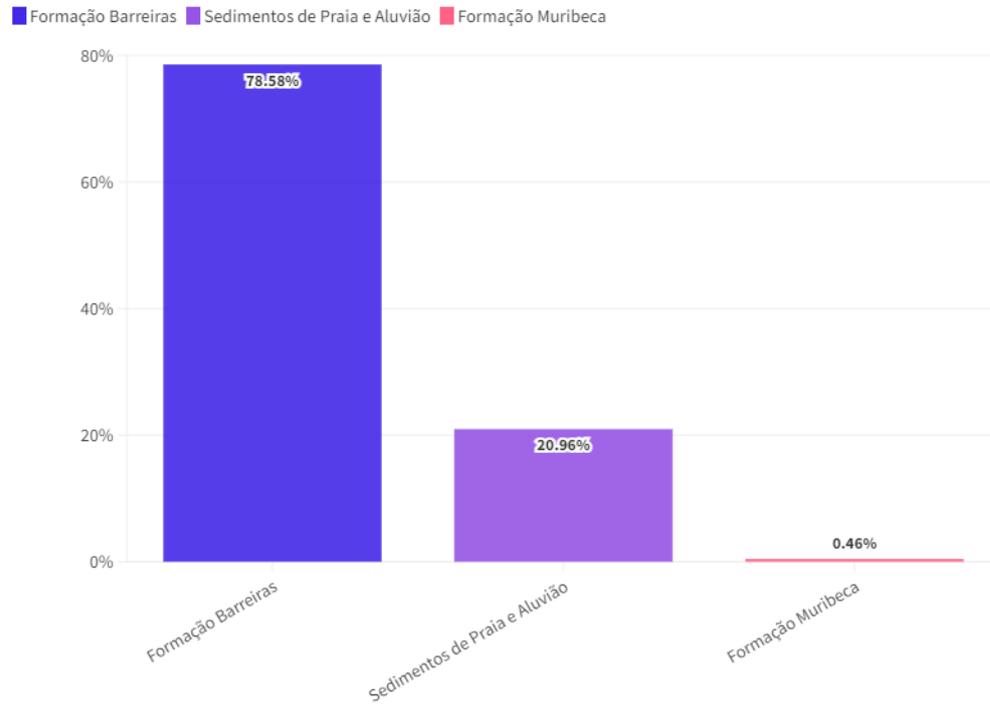
Através do mapeamento das unidades geológicas (Figura 13) verificou-se que a unidade mais predominante da área em análise é a Formação Barreiras, com 15.558,33 ha da área de estudo, o que representa 78,58% da área urbana de Maceió. A geologia da área em análise se divide em mais três unidades geológicas: os Sedimentos de Praia e Aluvião, sendo esta, a segunda mais abrangente na área de estudo, com 4.154,20 ha, o equivalente a 20,96% da zona urbana, além de uma pequena porção a oeste da zona urbana caracterizada como Formação Muribeca, com apenas 91,27 ha (0,46% da zona urbana de Maceió), conforme o Quadro 13 e Figuras 14 e 15.

Quadro 13 - Planimetria do mapa de Unidades Geológicas.

Classe	Área (ha)	%
Formação Barreiras	15.572,00	78,58%
Sedimentos de Praia e Aluvião	4.154,20	20,96%
Formação Muribeca	91,27	0,46%
TOTAL	19.817,47	100.00%

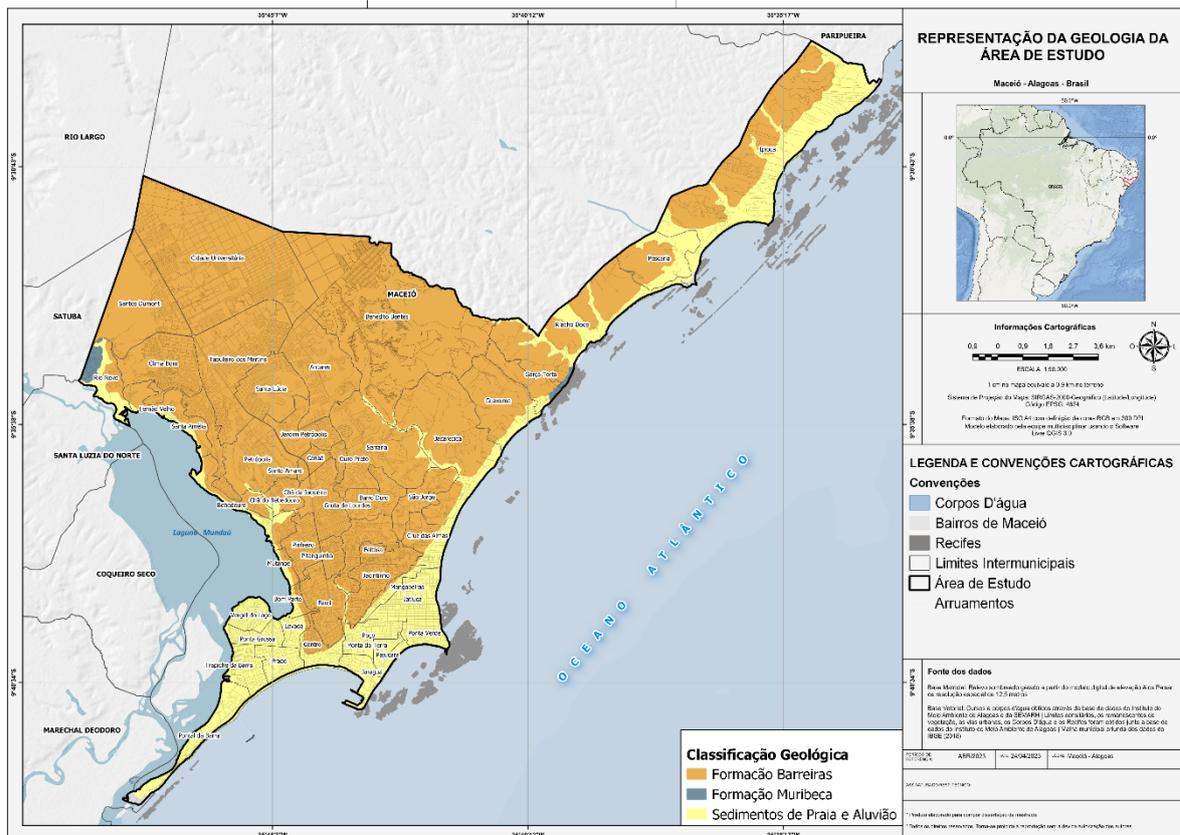
Fonte: Adaptado de Calheiros (2004).

Figura 14 – Representação da distribuição da porcentagem das unidades Geológicas da área urbana de Maceió.



Fonte: Elaboração do Autor

Figura 15 - Unidades Geológicas da área urbana de Maceió.



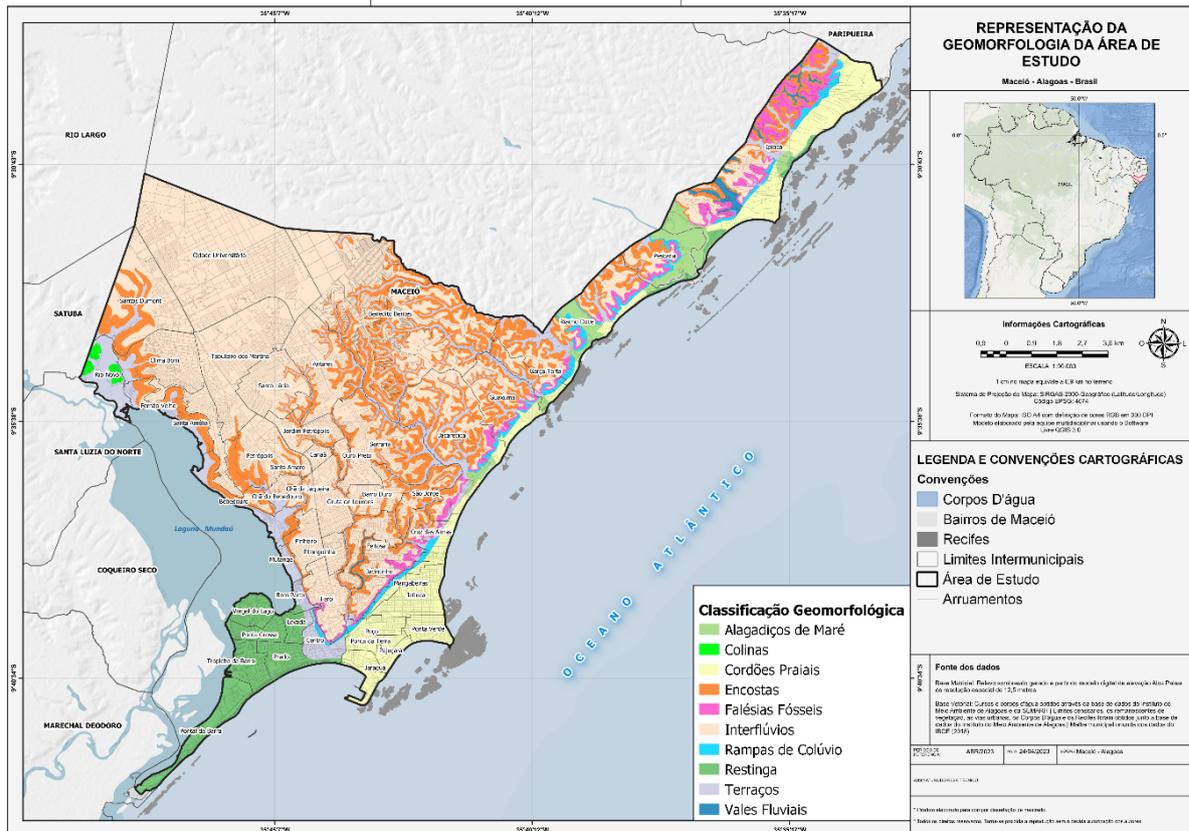
Fonte: Adaptado de Calheiros (2004).

4.2 Mapeamento das Unidades Geomorfológicas da Área Urbana de Maceió

No tocante ao mapeamento geomorfológico (Figura 16) da área em análise, possível verificar que o relevo de maior predominância na área de estudo se refere aos Interflúvios que corresponde a um total de 9.599,45 ha, representando 49,63% do território urbano de Maceió, e que em grande parte já se encontra ocupado/edificado e impermeabilizado, o que juntamente com a ocorrência de uma bacia endorréica na região, colaboram significativamente para um maior número de ocorrências de alagamentos nesta região (Quadro 14).

Já a segunda classe mais abrangente na zona urbana de Maceió, são as encostas, com 3.374,43 ha, o equivalente 17,45% da referida zona, o que, do ponto de vista da suscetibilidade a movimentos de massa, é um fator relevante a ser observado, visto que as encostas são áreas naturalmente instáveis, e por consequência são as feições mais suscetíveis ao referido evento. (Figura 17)

Figura 16 - Unidades Geomorfológicas da área urbana de Maceió.



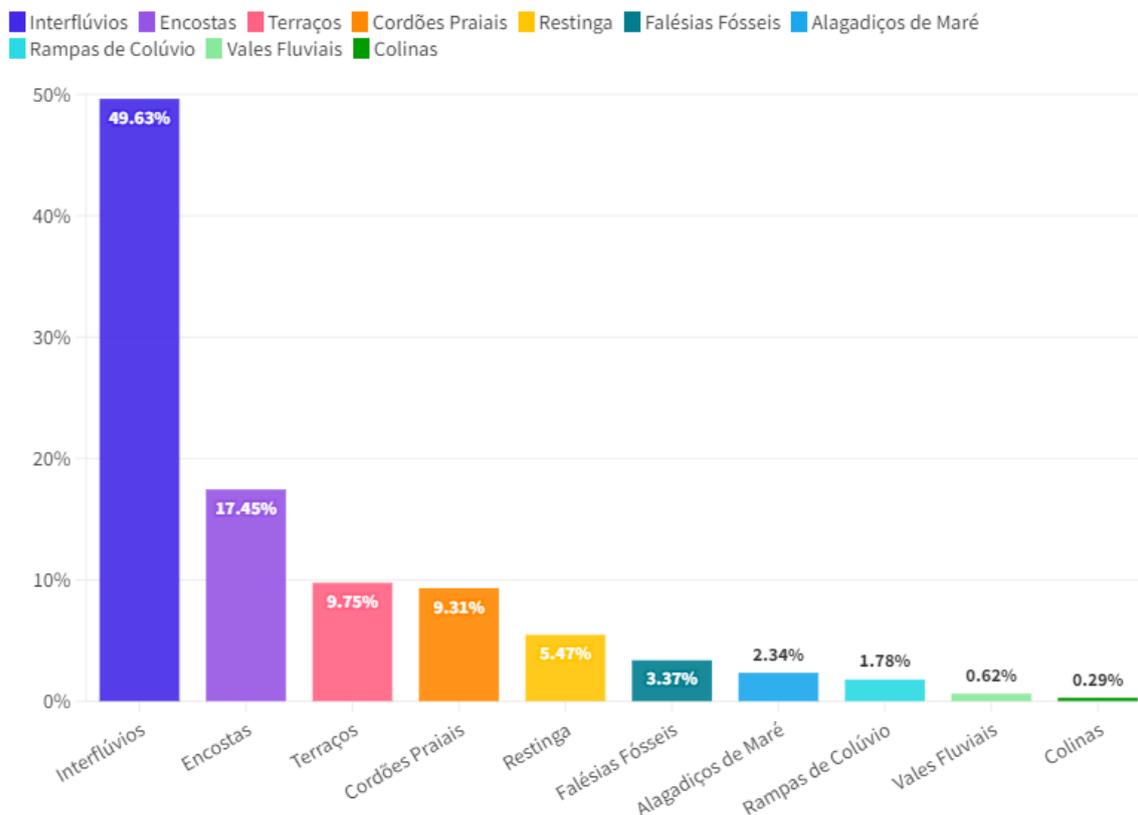
Fonte: Adaptado de Calheiros (2004).

Quadro 14 - Planimetria do mapeamento das Unidades Geomorfológicas da área urbana de Maceió.

Classe	Área (ha)	%
Interflúvios	9.599,45	49,63%
Encostas	3.374,43	17,45%
Terraços	1.886,37	9,75%
Cordões Praiais	1.799,90	9,31%
Restinga	1.058,69	5,47%
Falésias Fósseis	650,99	3,37%
Alagadiços de Maré	452,86	2,34%
Rampas de Colúvio	343,76	1,78%
Vales Fluviais	119,90	0,62%
Colinas	55,34	0,29%
TOTAL	19.341,69	100,00%

Fonte: Adaptado de Calheiros (2004).

Figura 17 – Representação da distribuição da porcentagem das classes Geomorfológicas da área urbana de Maceió.



Fonte: Elaboração do Autor

4.3 Mapeamento das Unidades de Solos da Área Urbana de Maceió

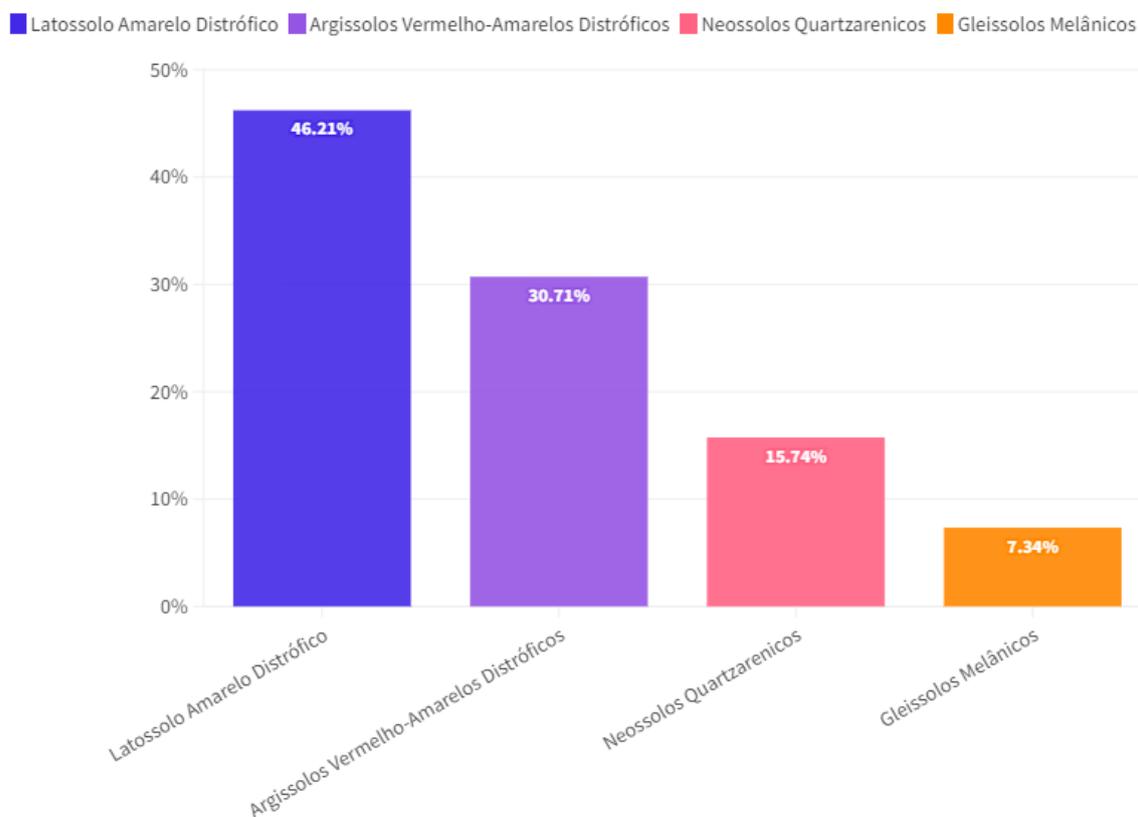
No que se refere a mapeamento das unidades de solos, a área urbana de Maceió possui um total de quatro grupos de solos, identificados como: Latossolos, Argissolos, Neossolos e os Gleissolos, sendo o Latossolo Amarelo Distrófico o mais abrangente com 9.153,40 hectares de área mapeada, seguido pelos Argissolos, que representam 6.083,40 ha de área, o que representa 45,12% e 30,71 % da área urbana de Maceió (Quadro 15 e Figuras 18 e 19).

Quadro 15 - Planimetria do mapeamento das Unidades de Solos da área urbana de Maceió.

Classe	Área (ha)	%
Latossolo Amarelo Distrófico	9.140,35	46,21%
Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	6.075,06	30,71%
Neossolos Quartzarênicos	3.113,56	15,74%
Gleissolos Melânicos	1.451,62	7,34%
TOTAL	19.780,59	100,00%

Fonte: Elaboração do Autor

Figura 19 – Representação da distribuição da porcentagem das Unidades de Solos da área urbana de Maceió.

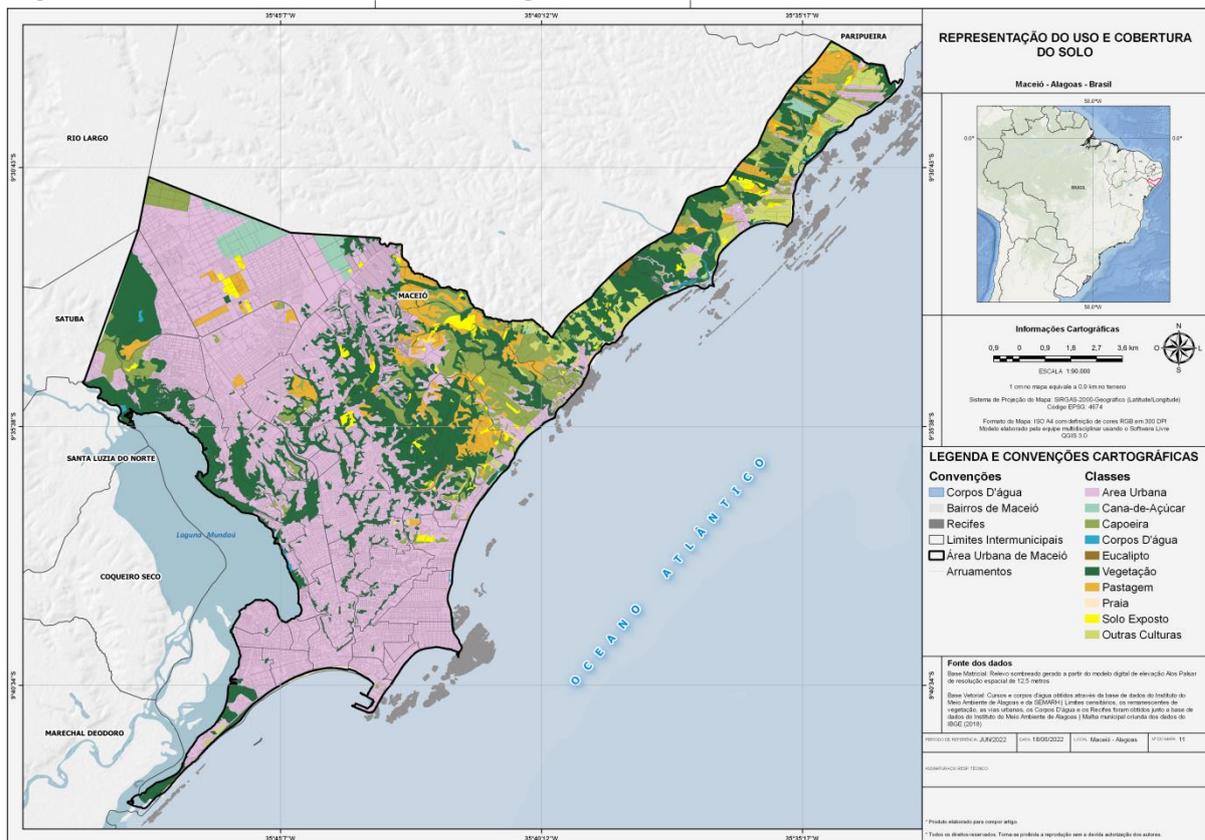


Fonte: Elaboração do Autor

4.4 Mapeamento de Uso do Solo e Cobertura Vegetal

O mapeamento de uso e ocupação do solo da área urbana de Maceió apresenta 10 classes, sendo elas: área edificada, cana-de-açúcar, capoeira, corpos d'água, eucalipto, remanescente de vegetação, pastagem, solo exposto e outras culturas, sendo a área edificada a mais predominante com 10.287,00 correspondentes a 51.91% da área urbana de Maceió (Quadro 16 e Figura 20 e 21), isso implica dizer que a zona urbana da capital, se encontra em grande parte impermeabilizada por edificações, o que influencia diretamente no fenômeno dos alagamentos e também colaboram com o de deslizamento, objetos deste estudo.

Figura 20 - Uso do Solo e Cobertura Vegetal área urbana de Maceió.



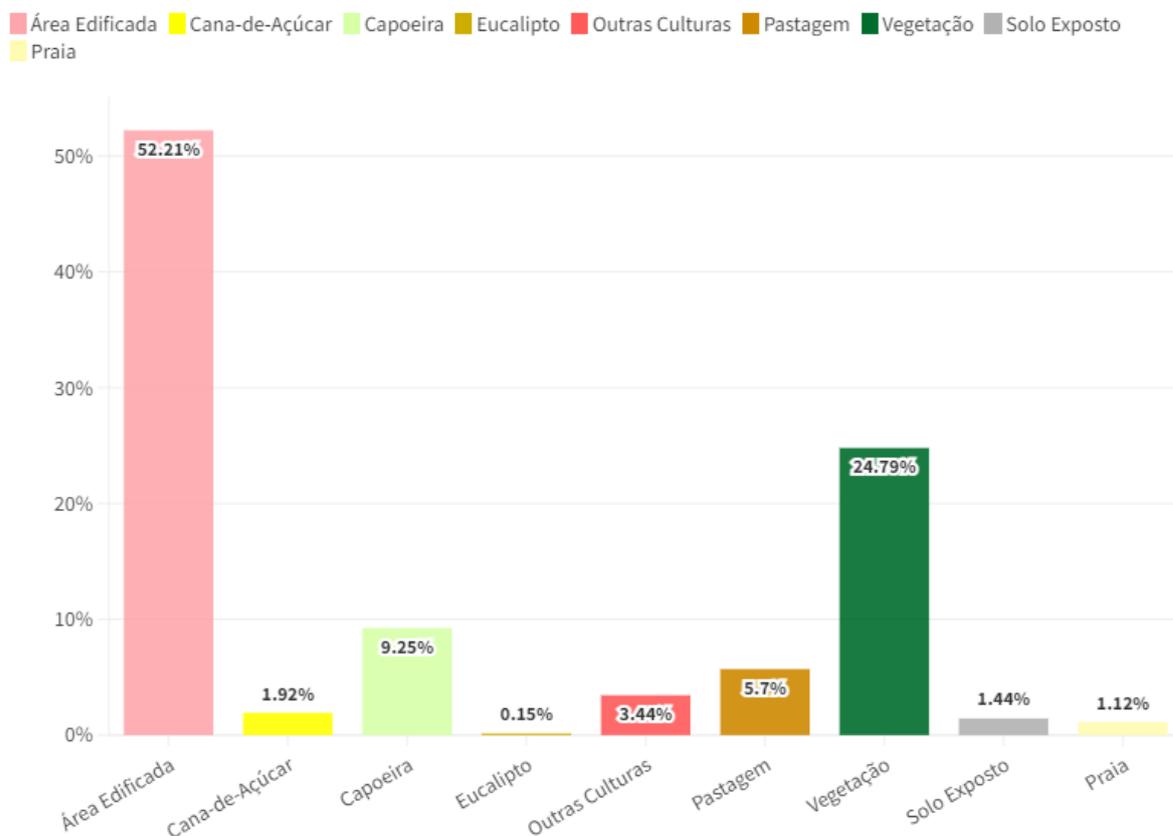
Fonte: Elaboração do Autor

Quadro 16 - Planimetria do Uso do Solo e Cobertura Vegetal Área Urbana de Maceió.

Classe	Área (ha)	%
Área Edificada	10.287,00	51,91%
Remanescentes de Vegetação	4.884,80	24,65%
Capoeira	1.821,86	9,19%
Pastagem	1.122,50	5,66%
Outras Culturas	676,97	3,42%
Cana-de-Açúcar	377,51	1,90%
Solo Exposto	282,78	1,43%
Praia	220,57	1,11%
Corpos D'água	115,20	0,58%
Eucalipto	28,87	0,15%
TOTAL	19.818,55	100,00%

Fonte: Elaboração do Autor.

Figura 21 – Representação da distribuição da porcentagem das classes do Uso do Solo e Cobertura Vegetal da área urbana de Maceió.



Fonte: Elaboração do Autor

A segunda classe mais abrangente na zona urbana de Maceió, são os remanescentes de vegetação, com uma área total de 4.884,80 hectares, o equivalente a 24,65% do mapeamento. Cabe salientar, que esta é uma característica que também foi levada em consideração para determinação das áreas de risco a deslizamento de massa e a alagamentos, uma vez que a vegetação é um atenuante importante para os fenômenos analisados, agindo como estabilizadora de encostas onde ocorrem os movimentos de massa, e como áreas permeáveis onde ocorrem os alagamentos, permitindo a infiltração da precipitação nestas áreas, o que também ocorre em áreas de capoeira, em menor nível, uma vez que as capoeiras, de forma geral, são áreas que passam por um processo de regeneração da sua vegetação, que por sua vez, ocorre posteriormente a um dano ou uso intensivo, à exemplo do pastoreio, silvicultura, e monoculturas em geral.

No tocante as atividades agrossilvopastoris realizadas na Zona Urbana de Maceió, e identificadas através deste mapeamento, verificou-se que dentre elas, a pastagem é a de maior abrangência, com 1.122,50 ha, o equivalente a 5,66%, mas somadas, essas atividades representam 2.205,85 ha, ou seja, 11,13% da zona urbana de Maceió.

4.5 Intensidade Pluviométrica

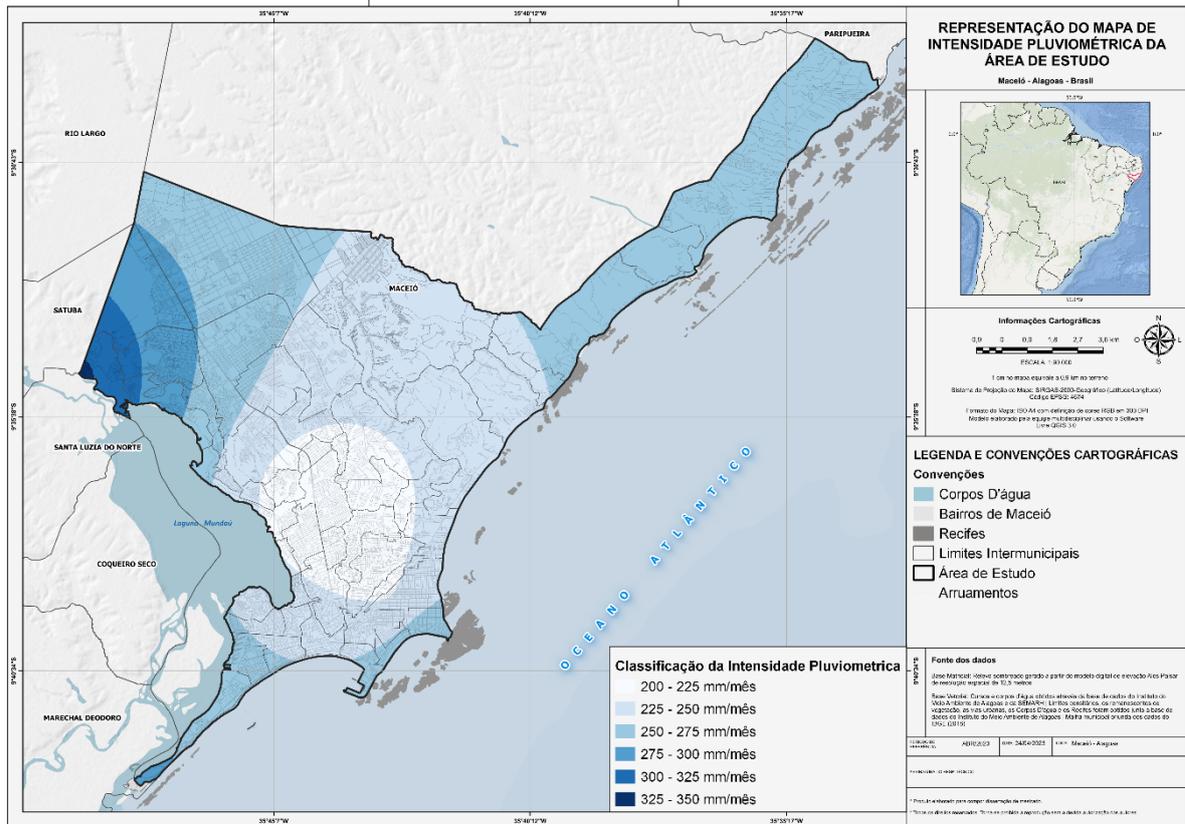
O dado da intensidade pluviométrica para o contexto dessa pesquisa é de fundamental importância, uma vez que a precipitação em curto espaço de tempo, propicia os acontecimentos dos fenômenos em análise, sendo em alguns casos condição essencial para sua ocorrência, como por exemplo, nos alagamentos. Destarte, através do Quadro 17, observa-se que, em 40,50% do território da zona urbana de Maceió predomina uma precipitação de 225 a 250 mm/mês, aumentando essa intensidade em direção aos litorais norte e sul, e aos bairros da Cidade Universitária, Clima Bom e Rio Novo, sendo maior em porção deste último, com precipitações de 325 a 350 mm/mês representados nas figuras 22 e 23.

Quadro 17 - Planimetria da Intensidade Pluviométrica.

Classe	Área (ha)	%
200 – 225	2.670,91	13,48%
225 – 250	8.027,00	40,50%
250 – 275	7.213,58	36,40%
275 – 300	1.362,23	6,87%
300 – 325	522,81	2,64%
325 – 350	21,91	0,11%
TOTAL	19.818,44	100,00%

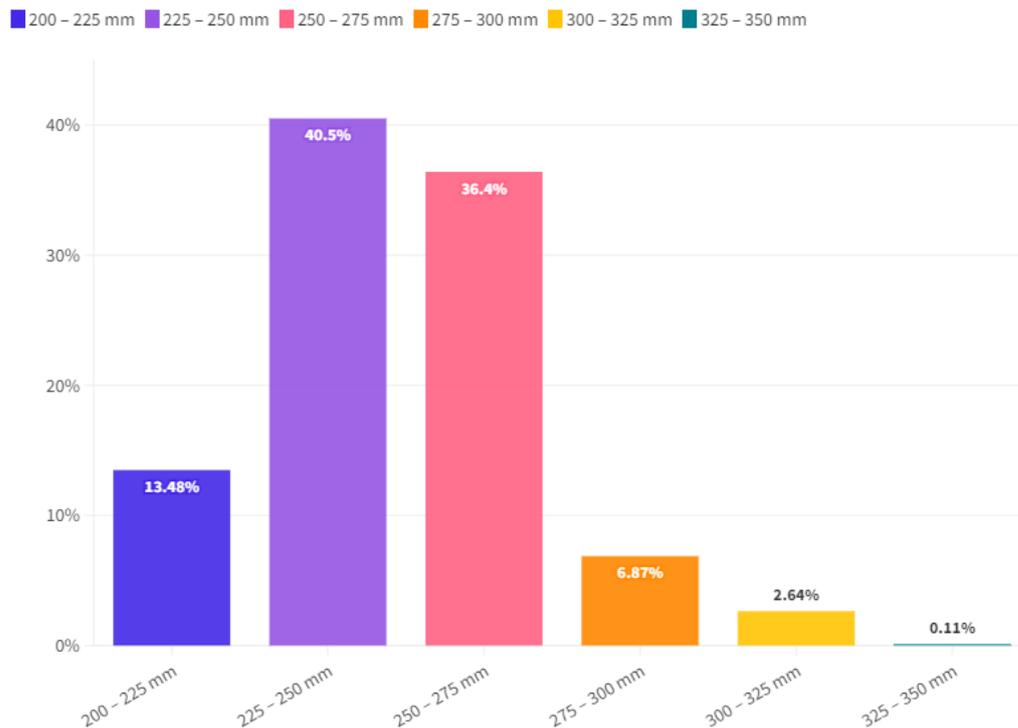
Fonte: Elaboração do Autor.

Figura 22 - Intensidade Pluviométrica na Zona Urbana de Maceió.



Fonte: Elaboração do Autor.

Figura 23 – Representação da distribuição da porcentagem de Intensidade Pluviométrica da área urbana de Maceió.



Fonte: Elaboração do Autor

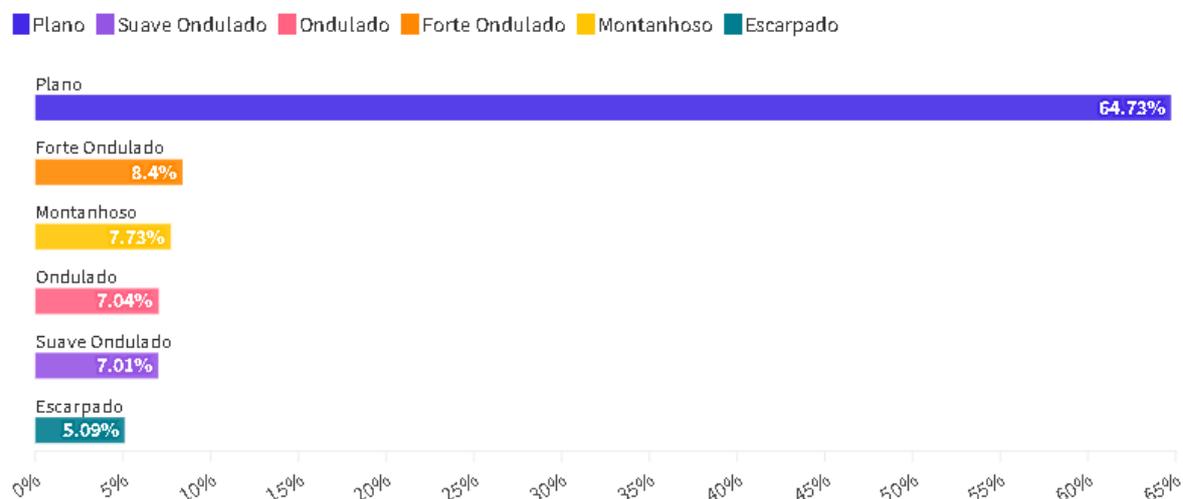
precária em relação a infraestrutura, geralmente pelas populações mais pobres, que ficam sujeitas aos riscos inerentes a instabilidade dessas áreas, no total, são 5.600,17 ha de área com relevo entre ondulado e escarpado, o que representa 28,26% da área de estudo exposto na figura 25.

Quadro 18 - Planimetria do mapa de declividade.

Classe	Área (ha)	%
Plano	12.826,93	64,73%
Suave Ondulado	1.388,86	7,01%
Ondulado	1.395,21	7,04%
Forte Ondulado	1.663,92	8,40%
Montanhoso	1.532,00	7,73%
Escarpado	1.009,04	5,09%
TOTAL	19.815,96	100.00%

Fonte: Elaboração do Autor.

Figura 25 – Representação da distribuição da porcentagem de Declividade da área urbana de Maceió

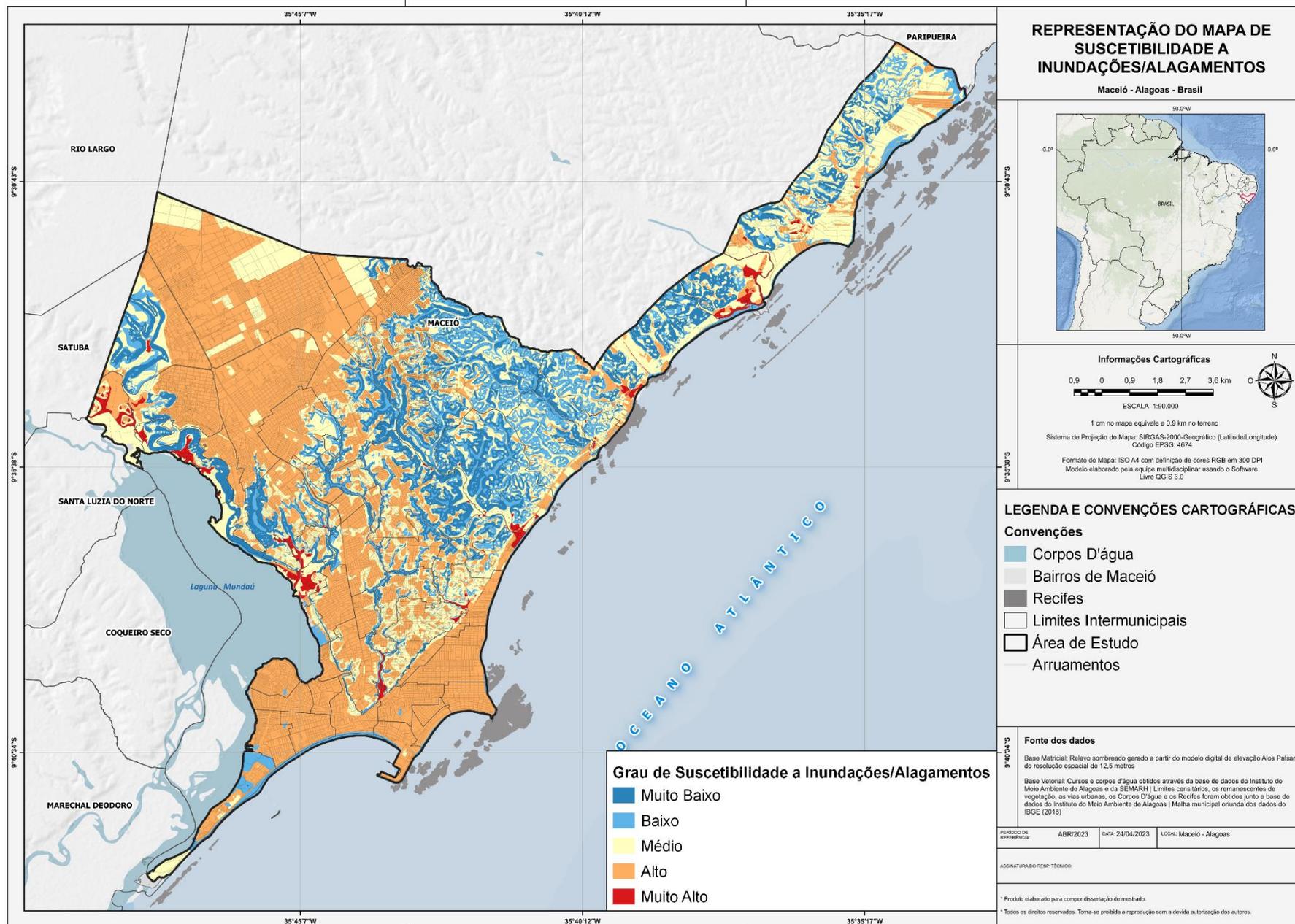


Fonte: Elaboração do Autor

4.6 Suscetibilidade a inundações e alagamentos.

Ao fim do uso da média ponderada na integração das variáveis, chegou-se ao resultado primeiramente do mapa de suscetibilidade a alagamentos, onde suas classes foram categorizadas em graus 5 (cinco) graus de suscetibilidade, indo de muito baixo a muito alto, conforme figuras 26 e 27 e quadro 19.

Figura 26 - Suscetibilidade a Inundações/Alagamentos.



Fonte: Elaboração do Autor.

Quadro 19 - Planimetria do mapa de Suscetibilidade a Inundações/Alagamentos e intersecção com uso do solo.

Grau de Suscetibilidade	Classe de Uso	Área (ha) de sobreposição	% em relação aos graus de suscetibilidade	Área (ha) do total da classe de uso	% em relação a área total da classe de uso
Muito Baixo	Área Edificada	24,37	0,85%	10.287,00	0,24%
	Cana-de-Açúcar	0,86	0,03%	377,51	0,23%
	Capoeira	145,90	5,10%	1.821,86	8,01%
	Eucalipto	16,17	0,56%	28,87	56,01%
	Outras Culturas	14,12	0,49%	676,97	2,09%
	Pastagem	166,06	5,80%	1.122,50	14,79%
	Vegetação	2.490,40	87,00%	4.884,80	50,98%
	Solo Exposto	2,25	0,08%	282,78	0,80%
	Praia	2,38	0,08%	220,57	1,08%
	TOTAL	2.862,51	100,00%	19.702,86	-
Baixo	Área Edificada	147,22	6,00%	10.287,00	1,43%
	Cana-de-Açúcar	5,39	0,22%	377,51	1,43%
	Capoeira	638,91	26,03%	1.821,86	35,07%
	Eucalipto	5,35	0,22%	28,87	18,53%
	Outras Culturas	81,27	3,31%	676,97	12,00%
	Pastagem	345,09	14,06%	1.122,50	30,74%
	Vegetação	991,50	40,39%	4.884,80	20,30%
	Solo Exposto	43,67	1,78%	282,78	15,44%
	Praia	196,52	8,01%	220,57	89,10%
	TOTAL	2.454,92	100,00%	19.702,86	-
Médio	Área Edificada	1.737,60	31,14%	10.287,00	16,89%
	Cana-de-Açúcar	367,39	6,58%	377,51	97,32%
	Capoeira	844,07	15,13%	1.821,86	46,33%
	Eucalipto	6,85	0,12%	28,87	23,73%
	Outras Culturas	490,10	8,78%	676,97	72,40%
	Pastagem	606,45	10,87%	1.122,50	54,03%
	Vegetação	1.356,60	24,31%	4.884,80	27,77%
	Solo Exposto	164,16	2,94%	282,78	58,05%
	Praia	6,38	0,11%	220,57	2,89%
	TOTAL	5.579,60	100,00%	19.702,86	-
Alto	Área Edificada	8.128,00	95,55%	10.287,00	79,01%
	Cana-de-Açúcar	1,24	0,01%	377,51	0,33%
	Capoeira	187,87	2,21%	1.821,86	10,31%
	Eucalipto	0,00	0,00%	28,87	0,00%
	Outras Culturas	89,55	1,05%	676,97	13,23%
	Pastagem	3,45	0,04%	1.122,50	0,31%
	Vegetação	26,63	0,31%	4.884,80	0,55%
	Solo Exposto	67,75	0,80%	282,78	23,96%

	Praia	2,00	0,02%	220,57	0,91%
	TOTAL	8.506,49	100,00%	19.702,86	-
Muito Alto	Área Edificada	246,46	93,40%	10.287,00	2,40%
	Cana-de-Açúcar	0,00	0,00%	377,51	0,00%
	Capoeira	2,58	0,98%	1.821,86	0,14%
	Eucalipto	0,00	0,00%	28,87	0,00%
	Outras Culturas	1,02	0,39%	676,97	0,15%
	Pastagem	0,36	0,14%	1.122,50	0,03%
	Vegetação	8,62	3,27%	4.884,80	0,18%
	Solo Exposto	4,71	1,78%	282,78	1,67%
	Praia	0,13	0,05%	220,57	0,06%
	TOTAL	263,88	100,00%	19.702,86	-

Fonte: Elaboração do Autor.

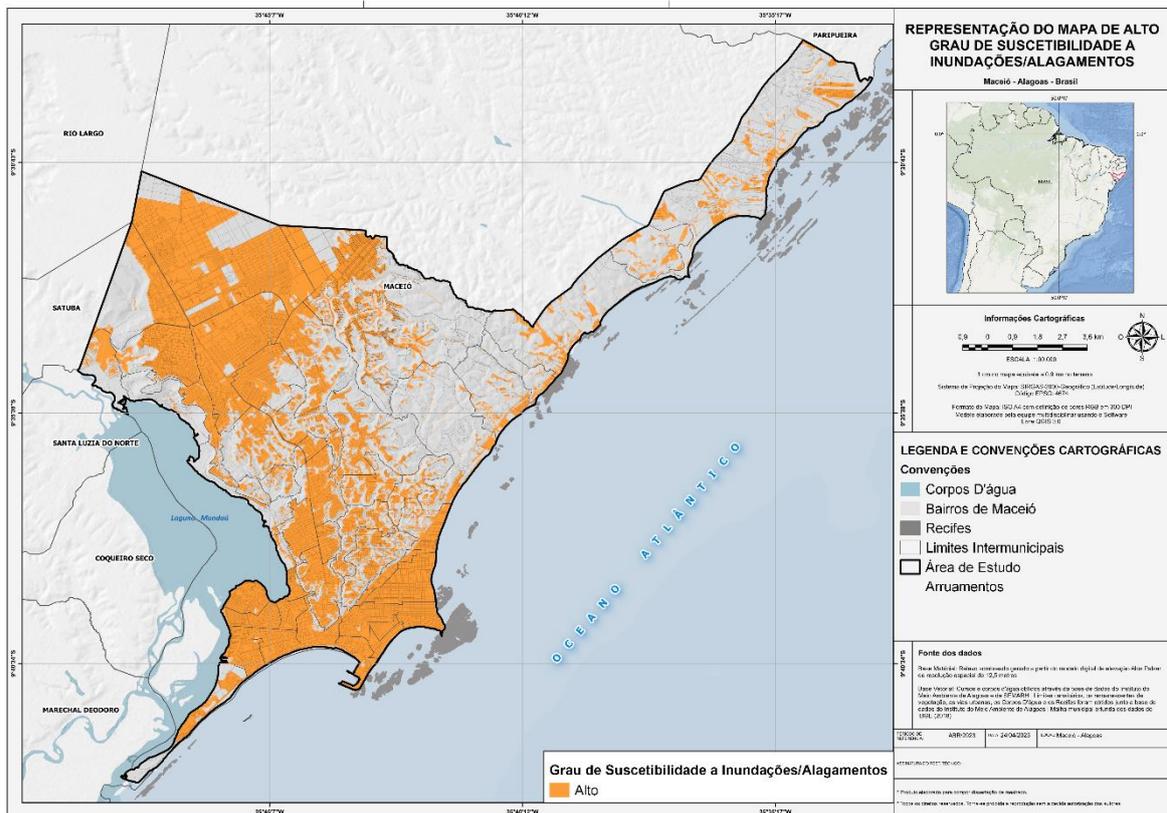
Figura 27 – Representação da distribuição da porcentagem dos graus de Suscetibilidade a Inundações/Alagamentos em relação ao Uso do Solo e Cobertura Vegetal na Área Urbana de Maceió.



Fonte: Elaboração do Autor

Ao observar o quadro acima, observa-se que é predominante as áreas com alto grau de suscetibilidade a alagamentos, que são áreas com quase todas as condições favoráveis a ocorrência deste fenômeno. Com uma área total de 8.506,49 ha, dos quais 95,55% está relacionada com áreas edificadas, ou seja, 79,01% da área edificada de Maceió é suscetível a alagamentos em função das suas condições ambientais, no entanto, é importante salientar que este dado não indica que ocorrem alagamentos nestas áreas, visto que existem infraestruturas de drenagem urbana que buscam evitar a ocorrência do fenômeno, mas sim, que são áreas suscetíveis e que necessitam de atenção e instalação de infraestruturas de drenagem adequadas. As referidas áreas se localizam, sobretudo na planície costeira da capital e nos tabuleiros aplanados. (Figura 28)

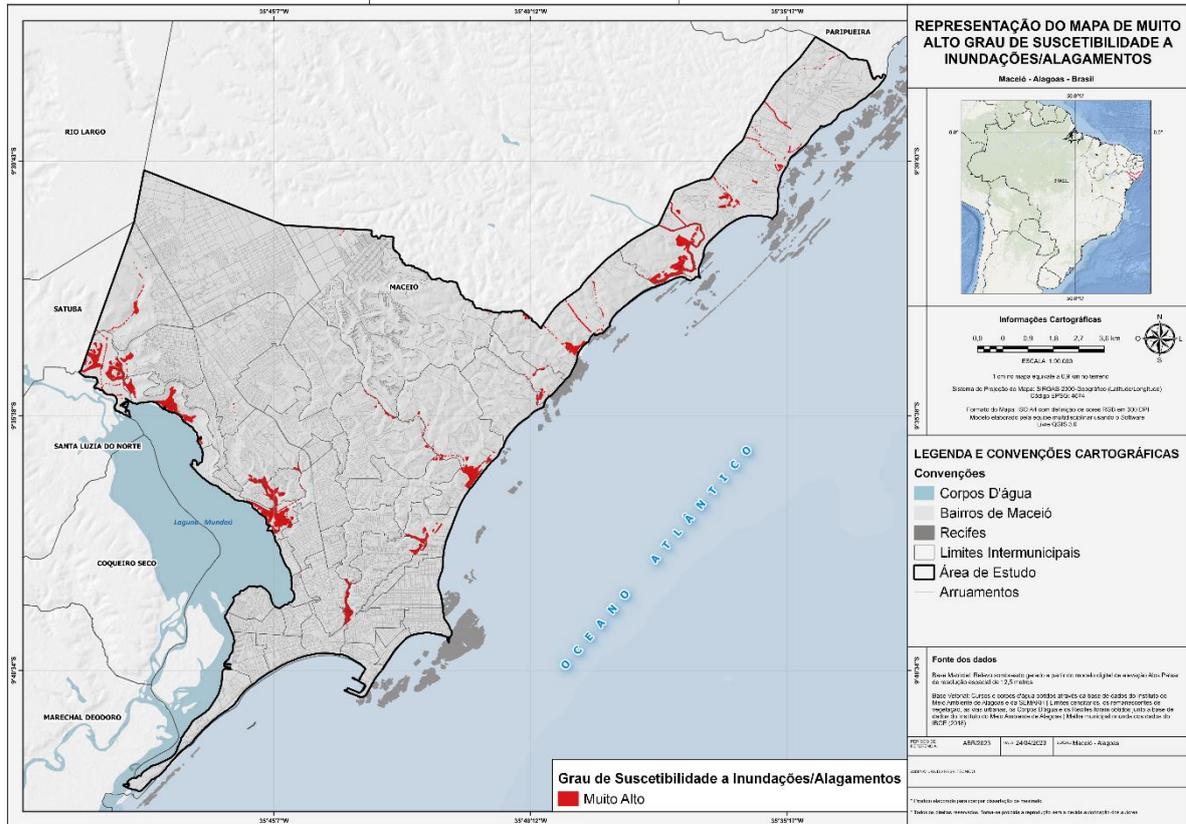
Figura 28 – Representação do Alto Grau de Suscetibilidade a Inundações/Alagamentos.



Fonte: Elaboração do Autor.

No que se refere ao grau de muito alta suscetibilidade, que são áreas que reúnem todas as condições necessárias para a ocorrência de inundações e/ou alagamentos, elas se encontram fortemente relacionadas com as planícies de inundação, e edificações localizadas nas margens de rios, laguna ou próximas a estuários. São 246,46 ha desta classe, dos quais 93,40% estão em áreas edificadas e 3,27% em áreas de vegetação. (Figura 29)

Figura 29 - Representação do Alto Grau de Suscetibilidade a Inundações/Alagamentos.



Fonte: Elaboração do Autor.

Com o objetivo de validar o resultado, e aproveitando o período de início da quadra chuvosa na área de estudo, foram realizadas coletas de registros fotográficos em mídias digitais, como também visitas de campo, sobretudo nas áreas identificadas com Alto e Muito Alto grau de Suscetibilidade a Inundações/Alagamentos, onde foi possível identificar eventos nas planícies de inundação, edificações localizadas nas margens de rios, laguna, áreas impermeabilizadas em pontos estratégicos dos bairros da área urbana de Maceió, fidelizando desta forma o mapeamento através das evidências a seguir:

Figura 30 e 31 - Eventos hidrológicos localizados nos bairros Bom Parto e Farol.



Fonte: G1

Figura 32 e 33 - Eventos hidrológicos localizados nos bairros Santa Lúcia e Bebedouro.



Fonte: G1 e Tribuna de Alagoas

Figura 34 e 35 - Eventos hidrológicos localizados nos bairros Ponta Verde e Jacarecica.



Fonte: G1

Figura 36 e 37 - Eventos hidrológicos em áreas localizadas no bairro da Levada.



Fonte: Sputink e Jornal de Alagoas

Figura 38 e 39 - Eventos hidrológicos em áreas localizadas nos bairros Mangabeiras e Jatiúca



Fonte: G1

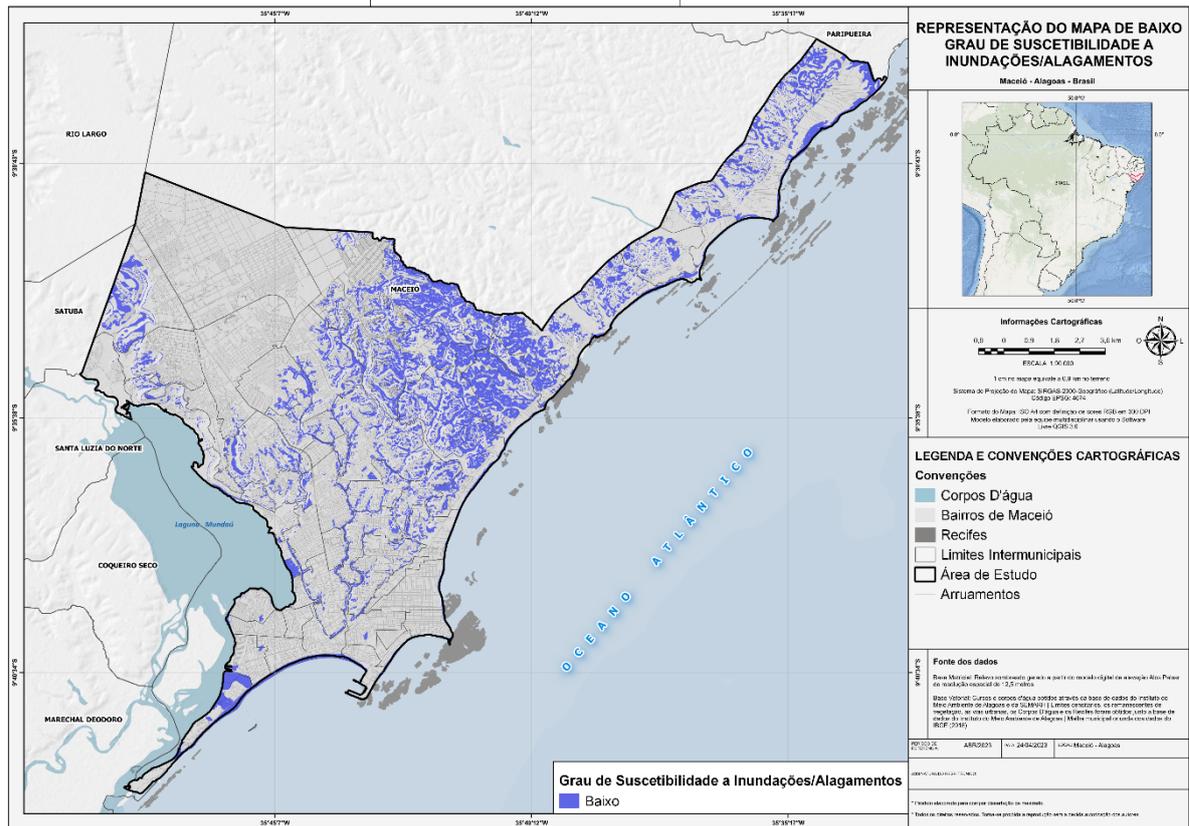
Figura 40 e 41 - Eventos hidrológicos em áreas localizadas nos bairros Tabuleiro do Martins e Poço.



Fonte: Sputink e Jornal de Alagoas

constitui como a principal atenuante com 991,50 ha, o que representa 40,39% da área desta classe, no entanto, é acompanhada também pelas classes da capoeira (26,03%), e da pastagem (14,06%), que embora não permitam uma infiltração tão eficiente como em áreas de vegetação, ainda possuem essa característica. (Figura 43)

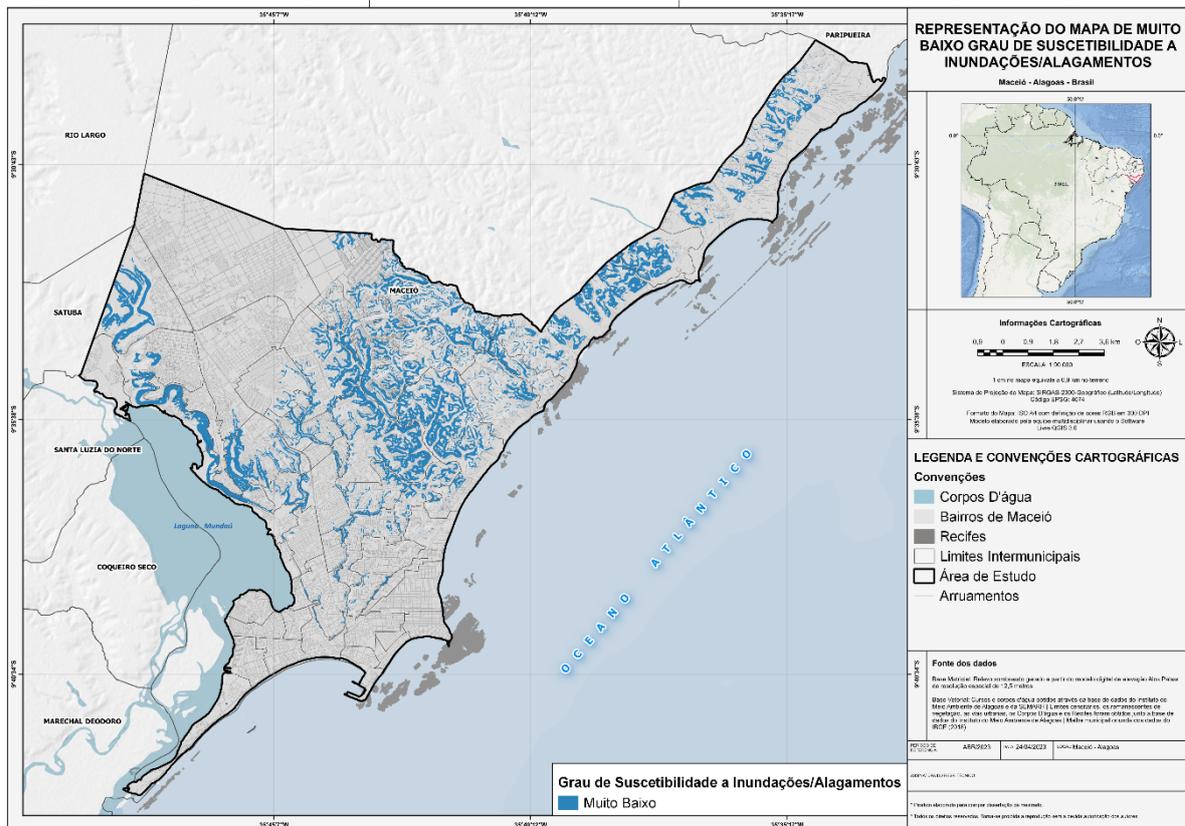
Figura 43 - Representação do Baixo Grau de Suscetibilidade a Inundações/Alagamentos.



Fonte: Elaboração do Autor.

Por fim, a classe da muita baixa suscetibilidade possui uma área total de 2.862,51 ha, o que representa 14,55% do mapeamento, dos quais 87% desse valor está associado com áreas de vegetação, seguido pela pastagem com 5,80%, e da capoeira, com 5,10%, são áreas com declividade acentuada, geralmente próximas de encostas, onde a água dificilmente fica retida. (Figura 44)

Figura 44 - Representação Muito Baixo Grau de Suscetibilidade a Inundações/Alagamentos.



Fonte: Elaboração do Autor.

4.7 Suscetibilidade a Movimentos de Massa

Para os movimentos de massa, diferentemente da integração para alagamentos, a variável uso do solo foi substituída pela geologia, e através da média ponderada na integração, chegou-se aos resultados expostos através do Quadro 20 e das figura 45 e 46 a seguir:

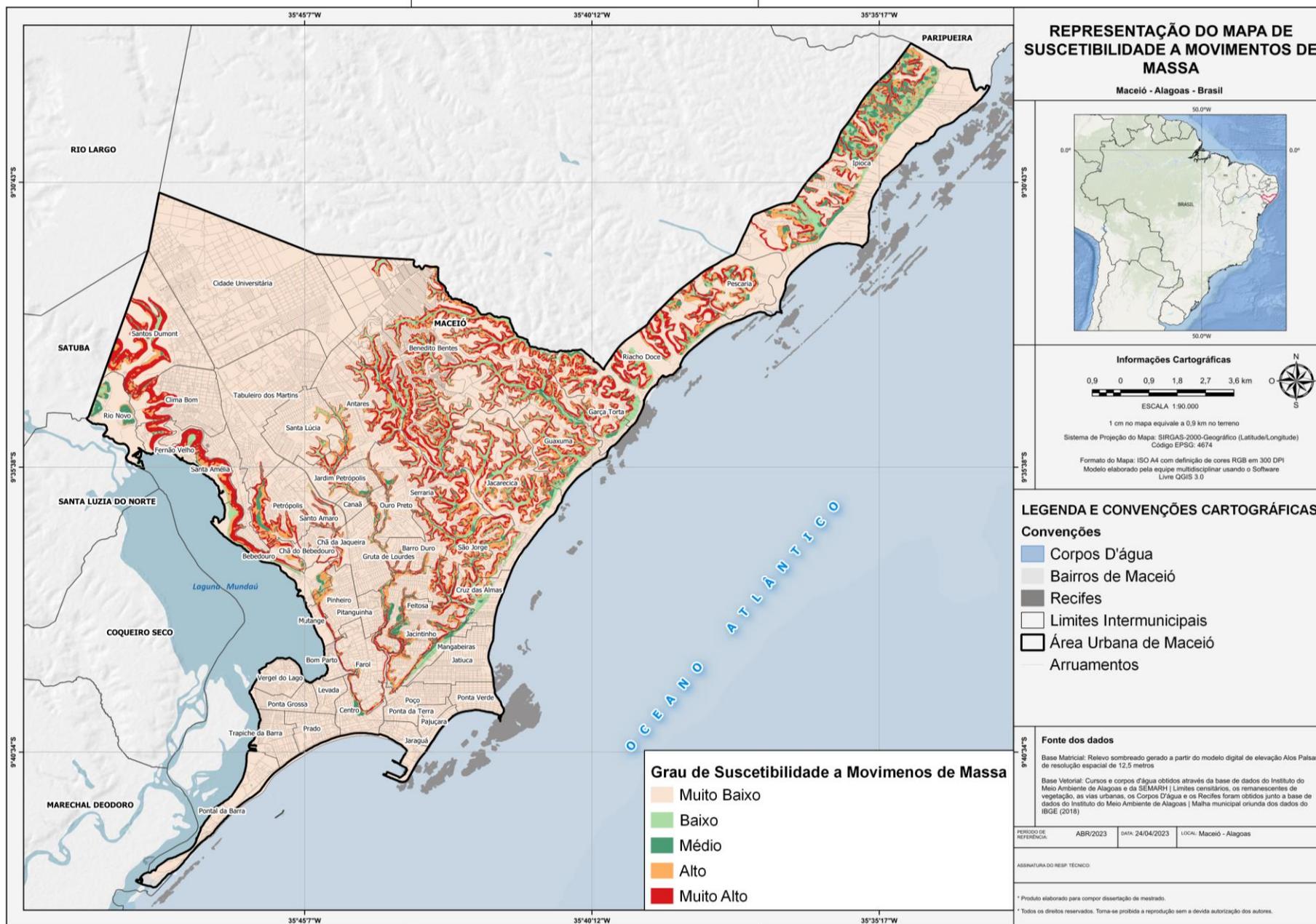
Quadro 20 - Planimetria do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa, e da intersecção com o uso do solo.

Grado de Suscetibilidade	Classe de Uso do Solo	Área (ha) de sobreposição	% em relação aos graus de suscetibilidade	Área (ha) do total da classe de uso	% em Relação a área total da classe de uso
Muito Baixo	Área Edificada	9176,20	65,57%	10.287,00	89,20%
	Caná-de-Açúcar	333,44	2,38%	377,51	88,33%
	Capoeira	827,67	5,91%	1.821,86	45,43%
	Eucalipto	7,72	0,06%	28,87	26,74%
	Outras Culturas	519,10	3,71%	676,97	76,68%
	Pastagem	638,54	4,56%	1.122,50	56,89%
	Vegetação	2.088,10	14,92%	4.884,80	42,75%

	Solo Exposto	183,89	1,31%	282,78	65,03%
	Praia	220,57	1,58%	220,57	100%
	TOTAL	4.819,03	100,00%	19.702,86	-
Baixo	Área Edificada	192,51	21,17%	10.287,00	1,87%
	Cana-de-Açúcar	11,81	1,30%	377,51	3,13%
	Capoeira	167,11	18,37%	1.821,86	9,17%
	Eucalipto	2,27	0,25%	28,87	7,86%
	Outras Culturas	35,78	3,93%	676,97	5,29%
	Pastagem	82,27	9,05%	1.122,50	7,33%
	Vegetação	405,81	44,62%	4.884,80	8,31%
	Solo Exposto	11,95	1,31%	282,78	4,23%
	Praia	0,00	0,00%	220,57	0,00%
	TOTAL	909,51	100,00%	19.702,86	-
Médio	Área Edificada	216,96	25,24%	10.287,00	2,11%
	Cana-de-Açúcar	12,17	1,42%	377,51	3,22%
	Capoeira	149,89	17,44%	1.821,86	8,23%
	Eucalipto	6,10	0,71%	28,87	21,13%
	Outras Culturas	29,52	3,43%	676,97	4,36%
	Pastagem	87,47	10,18%	1.122,50	7,79%
	Vegetação	340,05	39,56%	4.884,80	6,96%
	Solo Exposto	17,43	2,03%	282,78	6,16%
	Praia	0,00	0,00%	220,57	0,00%
	TOTAL	859,59	100,00%	19.702,86	-
Alto	Área Edificada	369,95	23,19%	10.287,00	3,60%
	Cana-de-Açúcar	11,35	0,71%	377,51	3,01%
	Capoeira	274,70	17,22%	1.821,86	15,08%
	Eucalipto	7,27	0,46%	28,87	25,18%
	Outras Culturas	43,76	2,74%	676,97	6,46%
	Pastagem	146,32	9,17%	1.122,50	13,04%
	Vegetação	713,63	44,73%	4.884,80	14,61%
	Solo Exposto	28,61	1,79%	282,78	10,12%
	Praia	0,00	0,00%	220,57	0,00%
	TOTAL	1.595,59	100,00%	19.702,86	-
Muito Alto	Área Edificada	331,71	14,17%	10.287,00	3,22%
	Cana-de-Açúcar	5,74	0,25%	377,51	1,52%
	Capoeira	402,49	17,20%	1.821,86	22,09%
	Eucalipto	5,50	0,24%	28,87	19,05%
	Outras Culturas	48,80	2,09%	676,97	7,21%
	Pastagem	167,96	7,18%	1.122,50	14,96%
	Vegetação	1.337,10	57,14%	4.884,80	27,37%
	Solo Exposto	40,90	1,75%	282,78	14,46%
	Praia	0,00	0,00%	220,57	0,00%
	TOTAL	2.340,20	100,00%	19.702,86	-

Fonte: Elaboração do Autor.

Figura 45 - Suscetibilidade a movimentos de massa.



Fonte: Elaboração do Autor.

Figura 46 – Representação da distribuição da porcentagem dos graus de Suscetibilidade a Movimentos de Massa em relação ao Uso do solo e Cobertura Vegetal na área urbana de Maceió.



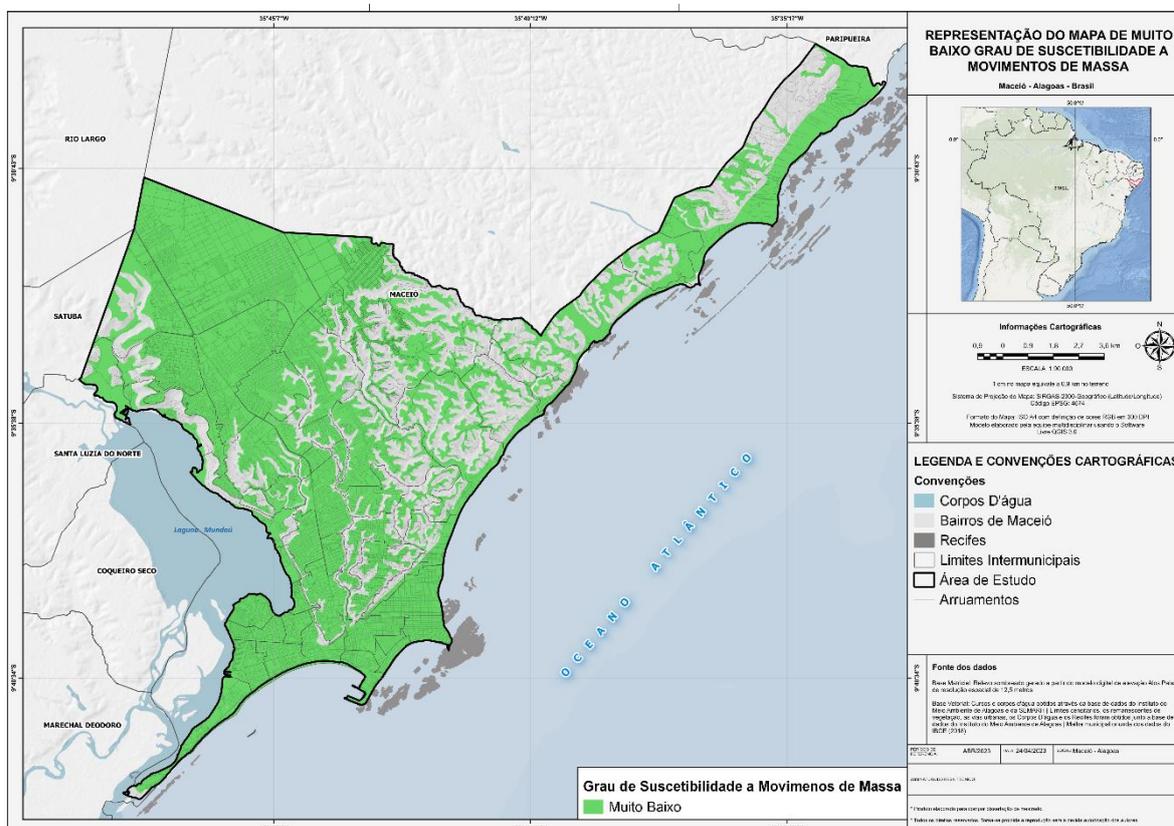
Fonte: Elaboração do Autor

A partir da avaliação do quadro e mapa acima, foi possível constatar que o grau muito baixo, referente as áreas que não possuem características para a ocorrência do fenômeno em questão, são predominantes na área de estudo, são 13.995,23 ha, o que representa 71,04% do mapeamento, isso implica dizer que a zona urbana de Maceió, considerando suas características ambientais, em sua maior parte não é suscetível ou possui um grau muito baixo de risco a deslizamentos.

No que se refere à intersecção do grau muito baixo com o uso do solo, esta classe está predominantemente relacionada com as áreas edificadas, em um total de 9.176,20 ha, o que representa 65,57% do grau, e 89,20% do mapeamento de uso do solo. Isto implica dizer que a expansão urbana se deu preferencialmente sobre áreas livres deste risco, o que não exclui o fato de que, de acordo com o mapeamento, existirem um total de 918,62 hectares de

área com grau de suscetibilidade de médio a muito alto, isso é equivalente a 8,93% da zona urbana da capital. (Figura 47)

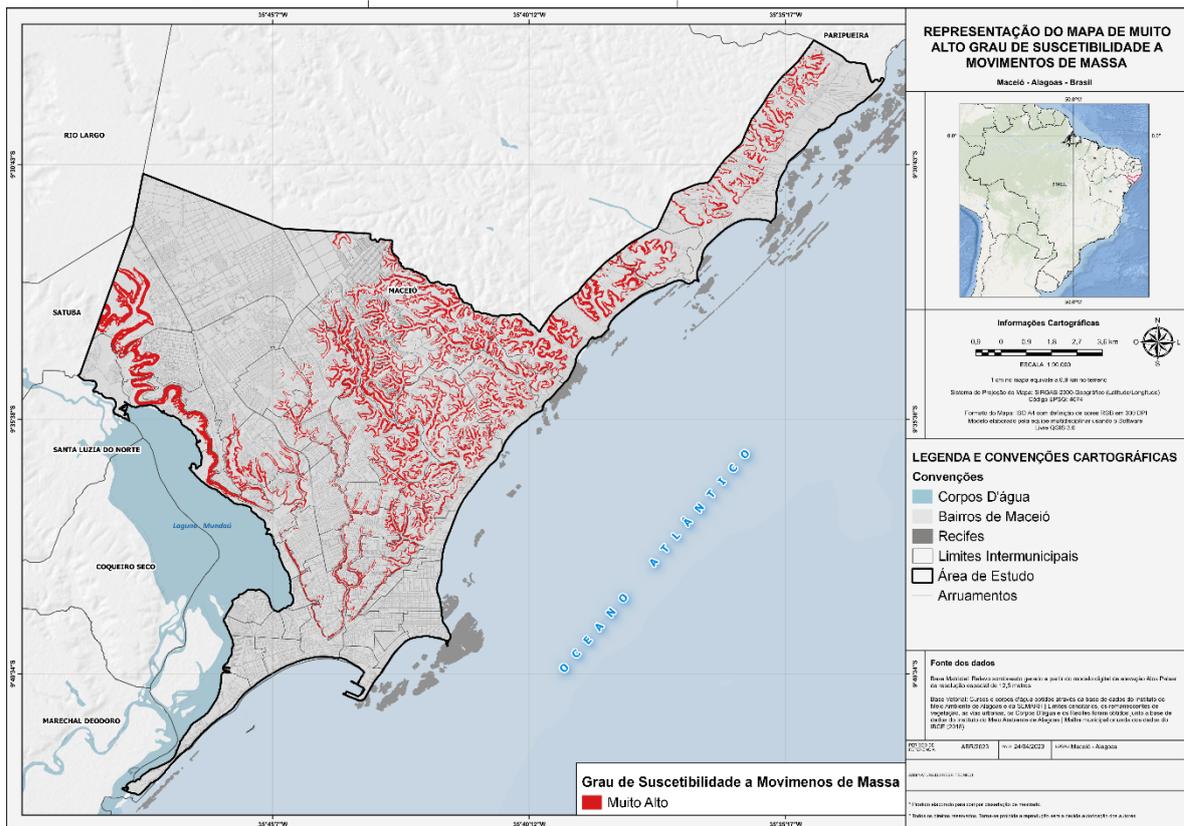
Figura 47 - Representação do Muito Baixo Grau de Suscetibilidade a Movimentos de Massa.



Fonte: Elaboração do Autor.

No tocante ao grau muito alto, que se refere aquelas com maior grau de suscetibilidade a ocorrência de deslizamentos de massa, por reunirem a totalidade, ou os fatores mais importantes para a ocorrência dos fenômenos, foram identificadas um total de 2.340,20 ha nestas condições, o que representa 11,88% da área total do mapeamento. De forma geral, são encostas das formações barreiras, de declividade mais acentuadas, e de solos argilosos, se identifica um total de 331,71 ha de área edificada neste grau de suscetibilidade. No entanto, cabe destacar que, embora a vegetação seja condição importante para a não ocorrência do fenômeno, por si só, ela não é suficiente para impossibilitar o evento, isso é evidenciado pela ocorrência do grau muito alto de suscetibilidade em áreas onde existe vegetação, totalizando uma área de 1.337,10, o que representa 57,14% deste grau de suscetibilidade, e 27,37% dos remanescentes de vegetação da zona urbana de Maceió. (Figura 48)

Figura 48 – Representação do Muito Alto Grau de Suscetibilidade a Movimentos de Massa.



Fonte: Elaboração do Autor.

Através de visitas de campo na área de estudo, sobretudo nos bairros onde se inserem as áreas identificadas com Muito Alto e Alto grau de Suscetibilidade a Movimentos de Massa, pôde-se identificar e registrar ocupações humanas localizadas em áreas de encosta, topos de talude, supressão de vegetação natural nas encostas, validando desta forma o mapeamento através das evidências a seguir:

Figura 49 e 50 - Ocupações humanas em encosta nos bairros Bom Parto e Mangabeiras.



Fonte: Autor

Figura 51 e 52 - Ocupações humanas em encosta nos bairros Jacintinho.



Fonte: Autor

Figura 53 e 54 - Ocupações humanas em encosta nos bairros Jacintinho e Feitosa



Fonte: Autor

Figura 55 e 56 - Ocupações humanas em encosta nos bairros Mangabeiras e Feitosa.



Fonte: Autor

Figura 57 e 58 - Ocupações humanas em encosta nos bairros Farol.



Fonte: Autor

Figura 59 e 60 - Ocupações humanas em encosta nos bairros Chã da Jaqueira e Chã de Bebedouro.

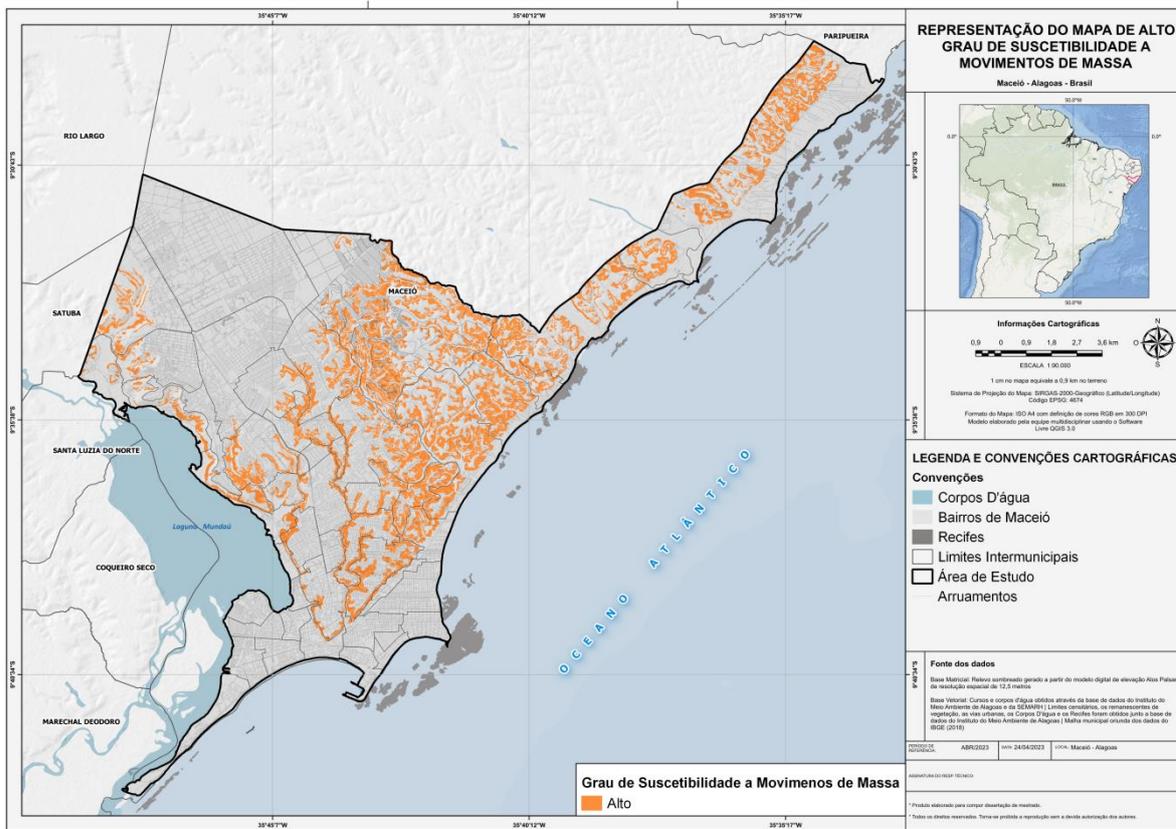


Fonte: Autor

No que se refere ao grau alto de suscetibilidade, que são áreas com a maioria das condições necessárias para a ocorrência do fenômeno, foram contabilizados 1.595,59 ha, o que representa 8,10% da área total do mapeamento, e destes, 44,73% relacionado com a vegetação, seguido pela área edificada, com 369,95 ha (23,19%), possuindo ainda uma relação considerável com a capoeira, em uma área de 274,70 ha, o que representa 17,22% do mapeamento. Figura 61

A forte relação que os graus de suscetibilidade a deslizamento de massa possuem com as áreas vegetadas, também podem ser explicadas pelo fato de os remanescentes de vegetação estarem maioritariamente localizados sobre encostas, uma vez que as atividades agrossilvopastoris não buscam essas áreas pela dificuldade na sua mecanização, o que diminui a produtividade e o lucro.

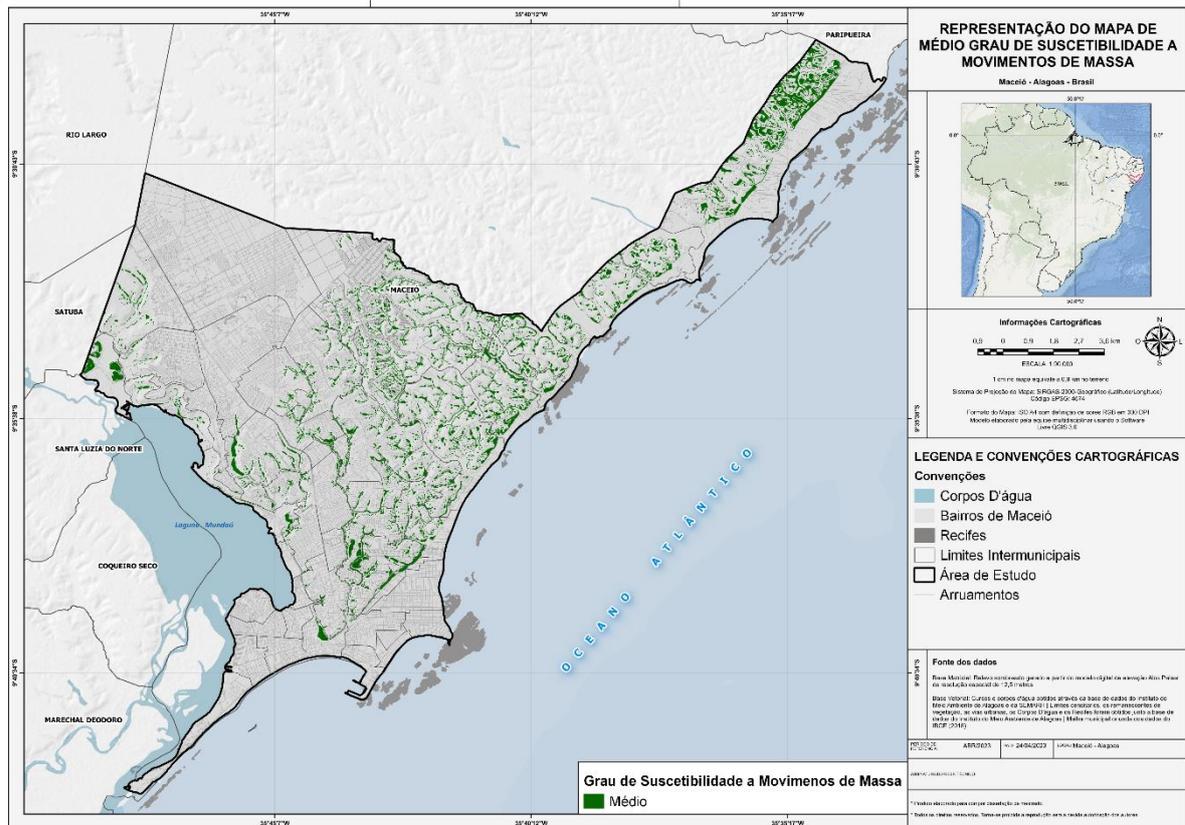
Figura 61 - Representação do Alto Grau de Suscetibilidade a Movimentos de Massa.



Fonte: Elaboração do Autor.

Desta forma, o médio grau de suscetibilidade, que se tratam de áreas que possuem um risco intermediário para a ocorrência do fenômeno, representa 4,36% do mapeamento, o equivalente a 859,59 ha, dos quais 216,96 ha (25,24%) são áreas edificadas, que embora não sejam de risco alto ou muito alto, possuem características de relativo peso para a ocorrência dos fenômenos ou para sentir os impactos dos mesmos, uma vez que observando a Figura 21, constata-se que estas áreas estão localizadas logo abaixo das encostas, em trecho denominado rampa de Colúvio, que são áreas suavemente inclinadas com depósito de sedimentos advindos das encostas, e que embora maior parte dessa classe possua vegetação (39,56%), a segunda mais abrangente, é a já mencionada área edificada, o que inspira cuidados. (Figura 62)

Figura 62 - Representação Muito Alto Grau de Suscetibilidade a Movimentos de Massa.



Fonte: Elaboração do Autor.

Por fim, o grau baixo se refere aquele que possui poucas características que propiciem o deslizamento de massa, que constitui um total de 909,51 ha, o equivalente a 4,62% da zona urbana de Maceió. Esta classe guarda relação principalmente com as planícies fluviais e costeira da área de estudo, que por sua vez, possuem um relevo plano ou suave ondulado, e em grande parte recoberto por vegetação, o que diminui ainda mais o risco a deslizamento de massa. (Figura 63)

Cabe salientar que, durante esta pesquisa não foram excluídas da análise as áreas que passam pelo processo de subsidência resultado da extração de sal-gema pela empresa Braskem, identificando e quantificando também as edificações, que embora tenham sido desocupadas, ou até mesmo demolidas, se encontravam em situação de risco, seja de deslizamento (maior parte na encosta do Mutange) ou de inundação/alagamento.

Por fim, os dados mostram que a Zona Urbana de Maceió possui uma maior suscetibilidade a inundações/alagamentos do que a deslizamento de massa, e por isso, as políticas públicas municipais precisam ter um olhar mais atento e realizar mais ações voltadas a esta questão, tais como obras de infraestrutura e drenagem urbana, mas sem descuidar das situações que deixam a população mais vulnerável a deslizamentos, sendo este um ponto de relevante interesse no seu planejamento urbano, que também deve ser levado em consideração na revisão do principal instrumento para gestão e planejamento urbano, o Plano Diretor Municipal, que no momento da elaboração deste trabalho, se encontra em um atraso de 8 (oito) anos na sua revisão que, segundo o Estatuto da Cidade (Lei Nacional nº 10.257/2001) deve ser realizada no prazo de 10 (dez) anos após a última publicação (2005).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, R. de A. **Relatório da análise climática do estado de Alagoas**. Maceió: Governo de Alagoas, Núcleo de Meteorologia e Recursos Hídricos, 1999. 31 f. Mimeografado.
- ALCANTARA-AYALA, I. **Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disaster in developing countries**. *Geomorphology*, v.47, 2002. P.107-124
- ANDRADE E.L. **Áreas de risco ambiental aos acidentes com transporte rodoviário de produtos perigosos no trecho alagoano da rodovia BR-101. Uma proposta metodológica**. Maceió. 2016. 194 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Alagoas.
- ANDRADE, E. de L. **Vulnerabilidade Socioespacial à Pandemia de Covid-19 em Maceió**. ed. Maceió: IGDEMA, 2020.
- ALEXANDRE, F. da S.; RAMOS, R. P. da S.; DEUS, R. A. S. G. de; GOMES, D. D. M. **Aerofotogrametria de pequeno formato aplicada a realização da cartografia básica da cidade de Palmeirina-PE**. In: Congresso Nacional de Geografia Física, 1, 2017, Campinas: [s.n.], 2017. p. 5565-5572.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **O comitê da bacia hidrográfica: o que é e o que faz?**. 1. ed. Brasília: SAG, 2011, 66p.
- ANTONIO, G. B. **Aplicabilidade de medidas de controle do escoamento superficial: distribuição espacial da bacia hidrográfica do rio Reginaldo, Maceió-AL**. 2017, Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2017.
- ARCASSA, W. de S. Richard Hartshorne: Entre o clássico e o moderno na geografia. **Anais [...] 15º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia**, Florianópolis, p. 1–15, 2016.

- AYALEW, L.; YAMAGISHI, H. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. **Geomorphology**, v. 65, n. 1, p. 15-31, 2005.
- AYALEW, L.; YAMAGISHI, H.; MARUI, H.; KANNO, T. Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications. **Engineering Geology**, v. 81, n. 4, p. 432-445, nov. 2005.
- BEZERRA, M. G. S. **Análise quantitativa da vulnerabilidade a inundações a partir de aerolevantamentos com VANT's multirrotadores no bairro de Marco, Belém-PA**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Cartográfica e de Agrimensura) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; PASSOS, E. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 1996 v. 2. 875 p.
- BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E.; HERRMANN, M. L. P.; SANTOS, G. F.; MENDONÇA, M.; SALAMUNI, E.; SUGUIO, K. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2003 v. 3 (p. 877-1436).
- BOAS, C.L.V. Análise da aplicação de métodos multicritérios de apoio à decisão (MMAD) na gestão de recursos hídricos. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/17775148-Analise-da-aplicacao-de-metodos-multicriterios-de-apoio-a-decisao-mmad-na-gestao-de-recursos-hidricos.html>>. Acesso em: 21 ago. 2022.
- BRIOZO, R. A e MUSETTI, M. A. **Método multicritério de tomada de decisão: Aplicação ao caso da localização espacial de uma Unidade de Emergência (UPA 24h)**. Gest. Prod. [conectados]. 2015, vol.22, n.4, pp.805-819. Epub 29 de setembro de 2015. ISSN 0104-530X. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X975-13>.
- CARVALHO, J C de; Et al. **Enchentes, Alagamentos e Inundações: Causas, Consequências e Soluções**. COBRAMSEG, 2014.
- CASTRO, A. L. C. Manual de desastres. Brasília, 2003.
- CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 21 de agosto de 2022.
- CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Movimento de Massa**. 2016. Disponível em: <https://www.cemaden.gov.br/>. Acesso em: 06/03/2023.
- CHORLEY, R. J. **Geomorphology and General Systems Theory**. In: theoretical papers in the hydrologic and geomorphic sciences. Washington, 1962.p. b1-b14.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, Edgard Blucher, 2ª edição, 1980.
- CHRISTOFOLETTI, A. A unidade morfoestrutural do Planalto de Poços de Caldas. **Notícias Geomorfológicas**. Campinas, v.13, n.26, p.77-85, 1973.
- COSTA, J. J. T. **O uso de vant no monitoramento ambiental: Estudo de caso do Rio M'Boicy**. 2017, 50 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (GEOGRAFIA - BACHARELADO) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2017.
- COSTA, H. G. **Auxílio multicritério à decisão: método AHP**. Rio de Janeiro: Abepro. 2006. Apud.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Degradação Ambiental**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, E. S. B.(Org.) Geomorfologia e Meio Ambiente. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 396 p.
- DANTAS, J.R.A.; CALHEIROS, M. E. de V. Estratigrafia e Geotecnia. In: BRASIL – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. (Mapa Geológico do Estado

- de Alagoas. Texto Explicativo. **Séries Mapas e cartas de síntese, n. 02, secção geológica, n. 02**). Recife: Brasil – Departamento Nacional de Produção Mineral, 1986. 8-90 pp. 1 Mapa, color., 90x110 cm. Escala 1:250.000.
- DAVIS, W. M. **The Geographical Cycle**. Geogr. Journ., London, v. 14, n. 5, p. 481-504, 1899.
- DIAS, A. D.; LEMOS, M. A. C. Abordagem determinística de estabilidade de talude natural em solo tropical de Luziânia-GO. In: GEOCENTRO 2019, **Anais...**, Brasília, DF, 24 e 25 de outubro de 2019.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. Brasília, 2018.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento em Recife. Mapa pluviométrico do estado de Alagoas. In: **Zoneamento agroecológico de Alagoas**. Recife: Convênio SEAGRI-AL, EMBRAPA, Solos, nº 10200.09/0134-5. 2012.
- FEIJÓ, F. J. Bacia de Sergipe Alagoas. Rio de Janeiro. Geociências: **Revista da PETROBRÁS**, Rio de Janeiro, 8(1): 149 – 161, jan./mar., 1994.
- FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico geomorfológica. In GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996, p. 123- 194.
- FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico geomorfológica. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. da (UFRS) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 3. Ed. Rio de Janeiro, 2000 p. 123-194.
- FIALHO, E. S., IMBROISI, E. G. A influência dos fragmentos verdes intraurbanos no campo térmico no Alto Rio Joana – RJ. In: Encontro de Geógrafos da América Latina, 10, São Paulo, **Anais...** São Paulo: USP, 2005, p. 5170-5188, Cd-Rom.
- FIORI, A. P.; CARMIGNANI L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. 2. Ed. Curitiba: Ed. UFPR, 2009. 604p.
- FIGUEIRÓ, A. S.; VIEIRA, A; CUNHA, L. Patrimônio geomorfológico e paisagem como base para o geoturismo e o desenvolvimento local sustentável. **CLIMEP - Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 8, n. 1-2, p. 1-24, 2013.
- FONSECA, A. L. B. de AZEVEDO, L. M. P. **Climatologia**. In: BRASIL, MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA SECRETARIA GERAL, PROJETO RADAMBRASIL. Folhas SC.
- FREDDO, D. S. M. **Mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa no perímetro e zona de expansão urbana do município de dois vizinhos – PR**. Pato Branco. 2021. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná,
- FREITAS, R. R. L. Mapeamento de risco a movimentos de massa e inundação em áreas urbanas do município de Moreno-PE. Recife. 2016. 259 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco).
- GAVA, A. et al. **Geologia**: Mapeamento regional. In: BRASIL, MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, SECRETARIA GERAL, PROJETO RADAMBRASIL. Folhas SC. 24/25 Aracaju/Recife. Rio de Janeiro: 1983. p. 27-252 (Série: LRN. V. 30).
- GRACIOSA, M.C.P. Modelo de seguro para riscos hidrológicos com base em simulação hidráulico-hidrológica como ferramenta de gestão do risco de inundações. 2010. 191 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Carlos, São Carlos, 2010.
- GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C.B.; GUERRA, A. J. T. Encostas urbanas como unidades de gestão e planejamento, a partir do estudo de áreas a sudoeste da cidade do Recife-PE. **Revista de Geografia**, v. 24, n.3, p. 242-267, 2007.
- GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa. Anais... 2005.

- GONÇALVES, L.M.C.; ORLANDI, R.P. **Vegetação: as regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos - estudo fitogeográfico**. In: BRASIL, MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, SECRETARIA GERAL, PROJETO RADAMBRASIL. Folhas SC. 24/25 Aracaju/Recife. Rio de Janeiro, 1983. p. 573-652. (Série: LRN. V. 30).
- GUIDICINI, G., NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo. Edgard Blücher; Ed. da Universidade de São Paulo, 1984. 194p.
- GUIMARÃES JÚNIOR, S. A. M.; CAVALVANTE, S. Q. C. **Avaliação do uso da terra nas áreas de preservação permanente hídricas do município de Maceió - Alagoas – Brasil**. Contexto Geográfico. v. 2, n.4, p51-68.2017.
- GRILO, R. C.; ENAMI, L. Gestão de bacias hidrográficas com o uso de modelo preditivo de erosão dos solos e sistema de informação geográfica. **Revista UNAR**. Araras, v. 2, n. 1, p. 21-33, jul/dez. 2008.
- IBGE, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Banco de Dados Agregados, Censo Demográfico e Contagem da população, disponível em: <goo.gl/VNhoq5>. **Acesso em:** 22 junho de 2022.
- IBGE, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Censo Demográfico: 2010. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <goo.gl/fzJVGv> **Acesso em:** 22 de junho de 2022
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. **Ocupação de encostas**. Coord. Cunha, M. A. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991.
- KISH, R. T.; CENTENO, J. A. S. Avaliação da Rede de Coleta de Dados Pluviométricos no estado de Alagoas. **I Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, Recife-PE, p.211-215, 1992.
- KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F. Identificação dos riscos. **Emergência**, Novo Hamburgo, Ed. 25, p. 48-52, mar./abr. 2011.
- KOZCIAK, S. **Análise Determinística da estabilidade de Vertentes na Bacia do Rio Marumbi – Serra do Mar – Paraná**. 141 p. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2005.
- LEE, J. G. et al. A watershed-scale design optimization model for stormwater best management practices. **Environmental Modelling e Software**, v. 37, p. 6-18, 2012.
- LIPORACI, S. R. et al. Estudos da erosão/assoreamento no ambiente urbano, visando planejamento, gestão e controles ambientais dos usos e ocupações da Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho em São Carlos/SP. In: **Anais do VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Vitória, 1º a 5 de setembro de 2002.
- LIMA, L. S. **Os impactos ambientais no entorno da nascente do rio piranhas em Bonito de Santa Fé-PP**. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia)– unidade acadêmica de ciências sócias, Universidade Federal de Campina Grande,Cajazeiras, 2015.
- LONDERO, A. L. et al. Impact of broad-based terraces on water and sediment losses in no-till (paired zero-order) catchments in southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 18, n. 3, p. 1159–1175, 2017.
- LOPES, C. S. D.; BARROS, M. V. F. Análise de risco social e tecnológico em gráfica de pequeno porte em Londrina/PR/Brasil. In: LOURENÇO, L. **Multidimensão e territórios de risco**. Guimarães: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2014. p. 469-473. Disponível em: . **Acesso em:** 25 abr. 2016.
- MELO, T. DOS A. T. de; COUTINHO, A. P.; SANTOS, J. B. F. dos; CABRAL, J. J. da S.P.; ANTONIO, A. C. D; LASSABATERE, L. Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 53-72, jul/set. 2016.
- MINEROPAR (MINERAIS DO PARANÁ S/A). **Mapeamento Geológico Geotécnico da Porção Leste da Serra do Mar do Estado do Paraná**. MINEROPAR (Minérios do Paraná S/A), 2011. 91p.

- MORAES, A. C. R. **Geografia - Pequena História Crítica**. 5. ed. São Paulo: HUCITEC, 2007-. ISSN 1519-1265.
- MORAIS, J. J. O. **Caracterização Geotécnica da Expansividade de um Solo Argiloso do Município de Paulista-PE**. 2017. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <https://bitly.co/Gs0J>. Acesso em: 26 jan. 2023.
- NORÉN, V.; HEDELIN, B.; NYBERG, L. BISHOP, K. Flood riskassessment – Practices in flood prone Swedish municipalities. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 18, p. 206-217, 2016.
- PASSOS, E. Classificação fitogeomorfológica de ecossistemas florestais numa porção do setor oriental do Estado do Paraná. **Tese de Doutorado** - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, 2000. 244p.
- PEDRON, F. de A. *et al.* Solos urbanos. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 34, n. 5, p. 1647–1653, 2004.
- PEGORARO, A. J.; PHILIPS, J. W.; Quadrirotores/Microdrone como Portadores de Geosensores aplicados ao Cadastro Territorial. In: XV Simpósio de Sensoriamento Remoto, 04-05, 2011, Curitiba. **Anais SBSR**. Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2011. Disponível em: <http://mar.tecnico.unicamp.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.05.18.33/doc/p0521.pdf>.
- PENTEADO M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro, IBGE, 1974. 158p.
- PEREIRA, G. C.; SILVA, B. N. Geoprocessamento e urbanismo. In: GERARDI, L. H. de O.; MENDES, I. A. (org.). **Teoria, Técnicas, Espaços e Atividades temas de Geografia contemporânea**. 1. ed. Rio Claro: Programa de Pós-graduação em Geografia - UNESP, 2001. p. 97–137.
- PEREIRA, L. B. F.; DIAS, A. D.; WIND, L. M.; SILVA JÚNIOR, A. C. Novas abordagens na avaliação da segurança de taludes de terra. In: GEOCENTRO 2017, Goiânia, **Anais...**, 2017.
- PINESE, J. F.; RODRIGUES, S. C. **O método de análise hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio piedade (MG)**. Geography Department, University Of Sao Paulo, [s.l.], p.4-26, 2012. Geography Department, University of Sao Paulo. <http://dx.doi.org/10.7154/rdg.2012.0023.0001>.
- PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S. C. Considerações a respeito dos condicionantes utilizados em pesquisas envolvendo movimentos de massa. **Geoinfá**, v. 5, n. 1, p. 102-124, 2013
- PIRES, E. V. R. *et al.* **Geprocessamento aplicado a análise do uso e ocupação da terra para fins de planejamento ambiental na bacia hidrográfica do córrego prata – Três Lagoas (Ms)**. Revista Geonorte, Mato Grosso do Sul, v. 2, n. 4, p.1519-1528, jun. 2012.
- REBELO, F. **Geografia Física e Riscos Naturais**. Imprensa da Universidade de Coimbra, 2010 p. 215.
- RISTIĆ, V.; MAKSIN, M.; NENKOVIĆ-RIZNIĆ, M.; BASARIĆ, J. Land-use evaluation for sustainable construction in a protected area: A case of Sara Mountain National Park. **Journal of Environmental Management**, v. 206, p. 430-445, 2018.
- RODRIGUES, A. A. **Uso de Veículos Aéreos não Tripulados para Mapeamento e Avaliação de Erosão Urbana**. Goiânia: - Universidade Federal de Goiás, 2016. Dissertação de Mestrado.
- RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da. **Planejamento e gestão ambiental: subsídios da geocologia das paisagens e da teoria geossistêmica**. Fortaleza: Edições UFC, 2013. 370 p.:Il.

- ROSA, R. Geotecnologias geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, v. 16, n. 2, p. 81-90. 2005.
- ROSSETTI, L.A.F.G.; PINTO, S.A.F.; ALMEIDA, C.M. Geotecnologias aplicadas à caracterização das alterações da cobertura vegetal intra urbana e da expansão urbana da cidade de Rio Claro (SP). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 1-11.
- ROSS, J. L. S. Considerações a respeito da importância da geomorfologia na questão dos limites territoriais. In: **Revista do departamento de Geografia**. Nº 2. São Paulo: USP, 1983.
- SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: Guerra, A. J. T.; Silva, A. S.; Botelho, R. G. M. (Ed.) **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. Cap. 7, p. 229-268.
- SANTOS, 2006. (2017 apud. MORAIS, M et al.). **Análise da vulnerabilidade ambiental em áreas protegidas: o caso da APA do Maracanã – São Luís/MA**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Anais... SBGF, Campinas, 2017.
- SEDEC – SECRETARIA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL. **Política Nacional de Defesa Civil**. Brasília, 2007.
- SOUZA, A. B. de; SANTOS, M. da S.; CINTRA, M. A. de C. T. Análise de Decisão Multicritérios (MCDA): uma revisão rápida sobre os critérios utilizados na Avaliação de Tecnologias em Saúde. **Jornal Brasileiro de Economia da Saúde**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 64–74, 2018.
- SIDLE, R. C., PEARCE, A. J., O' LOUGHLIN, C. L. **Hillslope stability and Land Use**. **American Geoph.** Union, Washington D.C., 140 p. 1985.
- SIMÕES, L. **Enciclopédia dos municípios alagoanos**. 3. ed. Maceió: Instituto Arnon de Mello, 2012.
- SILVA, A. M. A. da (org.). **Economia de Maceió: diagnóstico e proposta para construção de uma nova realidade**. 1. ed. Brasília: UFAL, 2013.
- SILVA, E. L.; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; JÚNIOR, O. A. C. Emprego de modelo de susceptibilidade a escorregamentos rasos para gestão de riscos de desastres no município de Vitória-ES. **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 1, p. 119-132, 2013.
- SILVA R.M.; BELTERRAIN M.C.N. ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São Paulo. Considerações sobre métodos de decisão multicritério. Disponível em: <www.bibl.ita.br/xiencita/Artigos/Mec03.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2022.
- SILVA, D. C.; TOONSTRA, G. W. A.; SOUZA, H. L. S.; PEREIRA, T. Á. J. **Qualidade de ortomosaicos de imagens de VANT processados com os softwares APS, PIX4D e PHOTOSCAN**. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 5, 2014, Recife. Anais [...]. Recife: UFPE, 2014. p. 747-754.
- SILVA, P.; ZIVIERI, J. N.; TOSTES, F. A. **O ensino e a aprendizagem da aerofotogrametria, no cenário das geotecnologias, nos cursos de engenharia civil**, 2010.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publication in Climatology, Laboratory of Climatology, Centerton, v. 8, n.1. 1955.
- TRUDEAU, M. P.; RICHARDSON, M.; Empirical assessment of effects of urbanization on event flow hydrology in watersheds of Canada's Great Lakes-St Lawrence basin. **Journal of Hydrology**, v. 541, Part B, p. 1456-1474, 2016.
- UNISDR – THE UNITED NATIONS INTERNACIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction**. 2017a. Disponível em: <<http://www.preventionweb.net/english/professional/terminology/>>. Acesso em: 12 mar. 2023.
- VIEGAS, J. C. **Diagnóstico dos agentes e processos atuantes na fragmentação da paisagem na bacia hidrográfica do rio Pericumã, ambiente de Amazônia Maranhense**. Presidente Prudente: UNESP-FCT, 2015. Dissertação de Mestrado.

- VIEIRA, A. S. et al. A análise multicriterial no apoio à gestão ambiental. **Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais**, [s.l.], v. 6, n. 1, p.142-156, 9 abr. 2015. Escola Superior de Sustentabilidade. <http://dx.doi.org/10.6008/spc2179-6858.2015.001.0012>.
- XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro, 8249-2072, 2001.
- YALCIN, A. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. **Catena**, Amsterdam, v. 72, n. 1, p. 1-12, jan. 2008.
- ZAIDAN, R.T. **Geoprocessamento Conceitos e Definições**. Revista de Geografia – PPGeo - UFJF. Juiz de Fora, v.7, n.2, jul/dez p.195-201, 2017.
- ZÊZERE, J. L. **Dinâmica de vertentes e risco geomorfológico**. Centro de Estudos Geográficos, Relatório N.º41, Lisboa. 2005.
- ZHANG, J. et al. Seeing the forest from drones: Testing the potential of lightweight drones as a tool for long-term forest monitoring. **Biological Conservation**, [s.l.], v. 198, p. 60-69, jun. 2016. Elsevier BV.