



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ANTÍLIO FERNANDES FILHO

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO À CRIAÇÃO DE MAPA DE
SUSCETIBILIDADE AOS MOVIMENTOS DE MASSA: O CASO
DO MORRO DO BAIRRO DE MÃE LUIZA.**

NATAL-RN
2017

Antônio Fernandes Filho

Geoprocessamento aplicado à criação de mapa de suscetibilidade aos movimentos de massa: o caso do morro do bairro de Mãe Luiza

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Monografia, submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Lacerda Almeida

Coorientadora: Profa. Dra. Maria de Fátima

Alves de Matos

Natal-RN

2017

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Sistema de Bibliotecas – SISBI
Catalogação da Publicação na Fonte - Biblioteca Central Zila Mamede

Fernandes Filho, Antílio.

Geoprocessamento aplicado à criação de mapa de suscetibilidade aos movimentos de massa: o caso do morro do bairro de Mãe Luiza / Antílio Fernandes Filho. - 2017.

56 f. : il.

Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Bacharelado em Engenharia Civil. Natal, RN, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Lacerda Almeida.

Coorientador: Prof.^a Dr.^a Maria de Fátima Alves de Matos.

1. Deslizamento de terra - Monografia. 2. Geoprocessamento - Monografia. 3. Mapa de suscetibilidade - Monografia. 4. Álgebra de Mapas - Monografia. I. Almeida, Marcos Lacerda. II. Matos, Maria de Fátima Alves de. III. Título.

RN/UFRN/BCZM

CDU 528.481

Antônio Fernandes Filho

Geoprocessamento aplicado à criação de mapa de suscetibilidade aos movimentos de massa: o caso do morro do bairro de Mãe Luiza

Trabalho de conclusão de curso na modalidade Monografia, submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em dia 02 de junho de 2017:

Prof. Dr. Marcos Lacerda Almeida – Orientador

Profa. Dra. Maria de Fátima Alves de Matos – Coorientadora

Prof. Dr. Olavo Francisco dos Santos Junior – Examinador interno

Natal-RN

2017

DEDICATÓRIA

"Dedico especialmente a minha mãe, essa guerreira que sempre fez o que pôde para que esse meu sonho fosse possível, e, em memória, ao meu querido pai, que sonhava, talvez até mais que eu mesmo, com essa conquista, essa vitória também é sua, e sei que torce por mim, onde quer que esteja."

Ao meus pais

"Para os crentes, Deus está no princípio das coisas. Para os cientistas, no final de toda reflexão."

(Max Planck)

RESUMO

Geoprocessamento aplicado à criação de mapa de suscetibilidade aos movimentos de massa: o caso do morro do bairro de Mãe Luiza.

Esta pesquisa sugere o emprego da avaliação multicritério auxiliada pelo Sistema de Informações Geográficas (SIG) para elaboração de um cenário georreferenciado com suscetibilidade aos movimentos de massas, utilizando-se do método da Combinação Linear Ponderada, pois esse método usa operações de álgebra de mapas e modelagem cartográfica para a representação contínua da paisagem e, desta forma, possibilita o recebimento de pesos pelos fatores de acordo com a importância para o objetivo pretendido, que, nesse caso, é a suscetibilidade aos movimentos de massa. Para isso, foram levados em consideração a declividade, a litologia, a hipsometria bem como o uso e a ocupação do solo. A cada uma dessas características foi atribuído um peso e por meio da álgebra de mapas, associada à lógica fuzzy (também conhecida como lógica aproximada), foi possível determinar espacialmente o risco potencial de um deslizamento. O procedimento foi executado em software que integra dados referenciados espacialmente, o programa usado foi o software livre QGIS, e o banco de dados utilizado foi obtido de diferentes órgãos. Dados topográficos: curvas de nível a cada dois metros – prefeitura de Natal; Dados geológicos: mapa litológico – CPRM; Dados sobre o uso e ocupação do solo: imagem de satélite – INPE e Google Earth. A produção do Mapa de Risco baseada em análise de vários critérios mostrou-se eficiente, destacando-se o fato de a classe “altíssimo risco” ter englobado a área onde houve deslizamento.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Deslizamento de terra; Mapa de suscetibilidade; Álgebra de Mapas.

ABSTRACT

Geoprocessing applied to the creation of map of susceptibility to mass movements: the case of the hill of the neighborhood of Mãe Luiza.

This research suggests the use of the multicriteria evaluation aided by the Geographic Information Systems (GIS) to elaborate a georeferenced scenario with susceptibility to mass movements using the Weighted Linear Combination method, since this method uses map algebra operations and Cartographic modeling for the continuous representation of the landscape and, in this way, allows the reception of weights by the factors according to the importance for the intended purpose, which, in this case, is the susceptibility to mass movements. For this, slope, lithology, hypsometry as well as land use and occupation were taken into account. Each of these characteristics was assigned a weight and through the map algebra associated with fuzzy logic (also known as approximate logic), it was possible to determine spatially the potential risk of a slip. The procedure was performed in software that integrates spatially referenced data, the software used was the free software QGIS, and the database used was obtained from different organs. Topographic data: level curves every two meters - prefecture of Natal; Geological data: lithographic map - CPRM; Data on land use and occupation: satellite image - INPE and Google Earth. The production of the Risk Map based on a multi-criteria analysis proved to be efficient, highlighting the fact that the "very high risk" class encompassed the area where there was slippage.

Keywords: Geoprocessing; Landslide; Susceptibility map; Map Algebra.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	9
1.1 - Considerações Iniciais.....	9
1.2 – Justificativa.....	11
1.3 – Objetivos Gerais	16
2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	17
2.1 – Introdução.....	17
2.2 – Localização da área de estudo	17
2.2 – Aspectos Fisiográficos e Climatológicos	18
2.2.1 – Geomorfologia.....	18
2.2.2 – Cobertura do solo/Vegetação	18
2.2.3 – Clima	19
3 – REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
3.1 – Considerações iniciais	22
3.2 – Deslizamento de terras no contexto dos Desastres Naturais	23
3.3 - Modelo Digital de Elevação (MDT)	23
3.4 – Geoprocessamento.....	24
3.5 – Movimentos de Massa.....	25
3.6 – Estabilidade de Taludes	28
3.7 – Áreas de Risco	30
4 – METODOLOGIA.....	31
5 – MATERIAS.....	33
5.1 – Dados sobre o Uso e a Ocupação do Solo	33
5.2 Dados geológicos.....	34
5.3 Dados topográficos	34
5.4 Dados climatológicos	35

6 – FERRAMENTAS.....	38
6.1 – Quantum GIS.....	38
6.2 – Autocad Civil 3D.....	38
6.3 – ArcGIS.....	39
7 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
7.1 - Considerações Iniciais.....	39
7.2 - Ocupações Irregulares	40
7.3 - Topografia.....	41
7.4 - Geologia	44
7.5 - Uso e ocupação do Solo	45
7.6 - Mapa de Suscetibilidade aos Movimentos de Massa.....	46
8 – CONCLUSÃO.....	50
REFERERÊNCIAS	51

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Considerações Iniciais

Observamos nessas últimas quatro décadas a um abrupto processo de urbanização da população brasileira. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (2000), o último senso populacional revelou que 82% da população brasileira habita em áreas urbanas. Essa concentração populacional nos maiores centros urbanos do país não foi acompanhada de políticas públicas eficazes para o uso e ocupação do solo. Com isso, a população em maior estado de vulnerabilidade social passa a ocupar áreas naturalmente não adequadas ou, suscetíveis a desastres naturais e que são ocupadas com preceitos técnicos não padronizados. (SANTOS, 2005)

O homem utilizou, no decorrer do processo de antropização do espaço geográfico, muitas vezes, os recursos naturais de forma intensa, proporcionando desequilíbrios que comprometem a estabilidade do ecossistema. A forma de ocupação utilizada não leva em consideração características básicas como a declividade, os tipos de solo, a geologia e geomorfologia, por exemplo. No começo, a ocupação se dava em áreas mais baixas, próximas ao leito dos rios, no entanto, mais tarde, em função do intenso crescimento das cidades, foram subindo as encostas. (SANTOS, 2005)

Avaliando a realidade das encostas em zonas urbanas, assim como a circunstância das habitações nessas localidades, percebe-se que as pessoas que ocupam essas áreas convivem em constante ameaça de riscos de escorregamentos. Essa permanente ameaça vivida pelas pessoas que habitam as regiões de encostas é justificada pelos periódicos deslizamentos que costumam acontecer, principalmente, no período das chuvas. Como exemplo, os casos ocorridos em janeiro de 2011 na região serrana do Rio de Janeiro, deixando mais de 800 mortos e milhares de desabrigados. (OLIVEIRA, 2014)

No município de Natal não é diferente. A população que vive nas encostas da capital potiguar, mais precisamente no morro de Mãe Luiza, convive com a falta de segurança motivada pelo receio dos deslizamentos que podem acontecer a qualquer instante. Tal insegurança é potencializada entre os meses de março a julho, pois nesses meses é maior o volume de precipitação pluviométrica e, desta forma, é aumentada a possibilidade de deslizamentos de terra, fazendo com que a população fique sempre alerta.

A crescente demanda pelos recursos naturais no planeta Terra, devido ao aumento da população mundial, tem coagido observações frequentes do uso e ocupação do solo com a finalidade de entender os padrões e forma como o espaço geográfico é organizado. Uma vez que essa forma como o espaço se organiza é afetada por constantes mudanças em virtude da ação antrópica (RODRÍGUEZ, 2005, p. 17).

O aprimoramento do mapeamento dos solos adquiriu grande influência das geotecnologias (SARMENTO et al., 2007), colaborando para otimizar a coleta de informações in loco, aperfeiçoar a precisão da demarcação das unidades de mapeamento, promover a disponibilização da obra final e aumentar as aplicações. (ARONOFF, 1991; 2000; HEMPEL et al., 2006).

Aplicação de mitigação está comumente associada à prevenção de acontecimentos como deslizamentos e enchentes, assim como elaboração de planos de uso e ocupação do solo além da identificação de áreas suscetíveis aos deslizamentos de terra. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto são rotineiramente empregadas para ponderar dados de satélites e proporcionar o entendimento de processos e a identificação de padrões e semelhanças dentre as incógnitas de maior interferência para os acontecimentos. Complementarmente, dados geológicos, geomorfológicos e climatológicos devem ser aglutinados para a avaliação da possibilidade de se considerar uma área de risco ou não (MANSOURIAN et al., 2005).

Com a finalidade de estimar a suscetibilidade a deslizamentos, técnicas que envolvam geoprocessamento e sensoriamento remoto foram alvitradas nas duas últimas décadas e, em regra, aglutinam cartas geográficas de cobertura do solo com outras representações que possuam dados geomorfológicos, topográficos ou geológicos. Não incluindo as características peculiares da geografia local, a diferença entre as análises a respeito do mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos jaz na maneira como os dados são combinados, a técnica utilizada para ponderar cada uma das respectivas informações características de cada mapa, a informação de satélite utilizada e a maneira de arranjo escolhido (MANFRÉ et al., 2012).

Conforme COUTINHO (1998), a análise do meio ambiente por meio do emprego de algoritmos matemáticos presentes nos SIG, revelou-se mais eficaz para a visualização e delimitação de padrões análogos.

Sendo assim, os sistemas atualmente presentes no geoprocessamento em meio digital, e, em especial, nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), cuja aplicação tem corroborado

em significativos resultados no campo da administração municipal, no setor de transportes, planejamento urbano e regional, além de estudos ambientais, podem compor ferramentas importantes, ligeiras e eficazes para a elaboração dos mapas de suscetibilidade aos deslizamentos de terra por meio de procedimentos que usam a concatenação de mapas sobre o meio físico. Igualmente, a interpolação de informações pontuais em softwares tem proporcionado a confecção de modelos digitais do terreno próximos da realidade e, por conseguinte, otimizando uma análise mais particularizada da conformação da topografia para fins geotécnicos. Por último, o uso de banco de dados digital aliado ao Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode facilitar a conservação e a visualização de parâmetros vantajosos à Geotecnia georreferenciados, possibilitando de maneira ágil e eficiente a noção mais completa de uma região. (Esse parágrafo foi feito com minhas palavras para finalizar a justificativa)

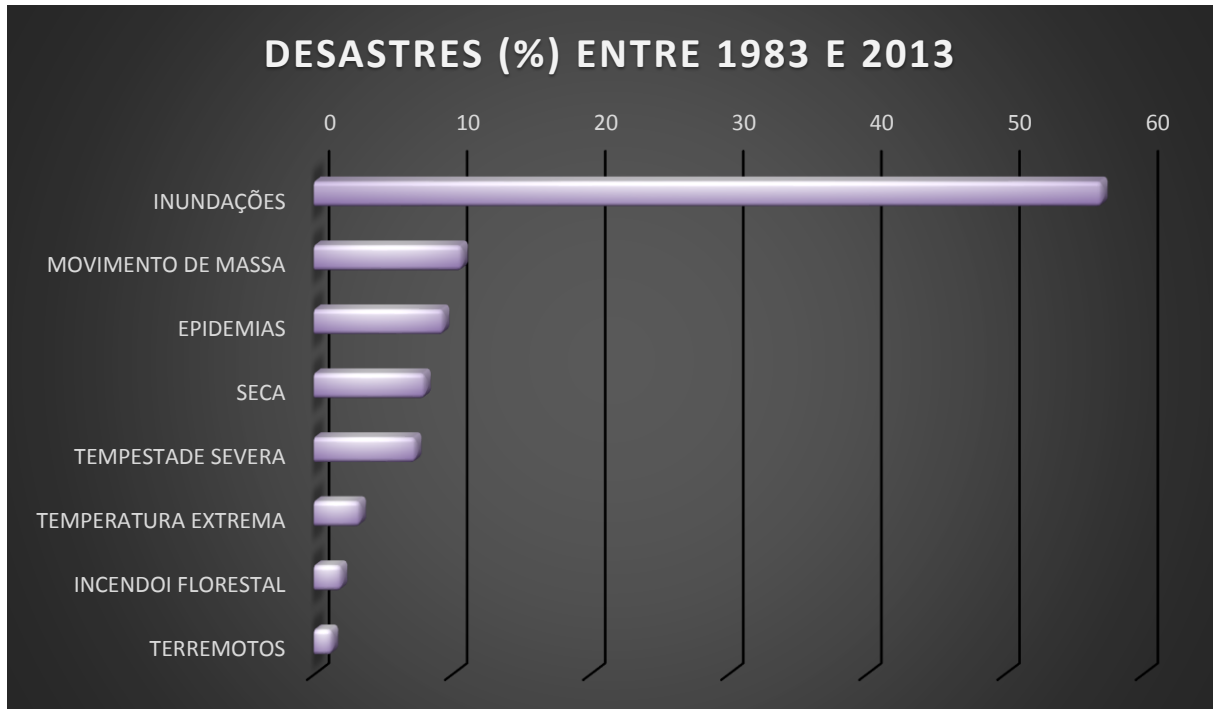
1.2 – Justificativa

Os desastres naturais, nas últimas décadas, tornaram-se não apenas mais frequentes como também mais intensos. Segundo o Relatório de Desastres Mundiais (World Disaster Report) de 2011, 4.022 desastres ocorreram entre os anos de 2001 e 2010, vitimando mais de 1 milhão de pessoas. O elevado crescimento da população, urbanização acentuada e industrialização aliados à ocupação não ordenada das cidades culminaram no surgimento de elevada concentração populacional nas regiões onde há suscetibilidade aos deslizamentos de terra, tal fato pode ser um dos fatores responsáveis pela ampliação do número de vítimas de desastres naturais. (MANFRÉ, 2015)

Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, entre 1991 e 2010, o Brasil apresentou em torno de 454 apontamentos de fatos envolvendo movimentos de massa, atingindo mais de 2 milhões de vítimas. As más condições das moradias em áreas de risco, representadas por aterros não estáveis ou taludes em declives íngremes, aumentam a vulnerabilidade de áreas naturalmente frágeis. (BRASIL, 2013)

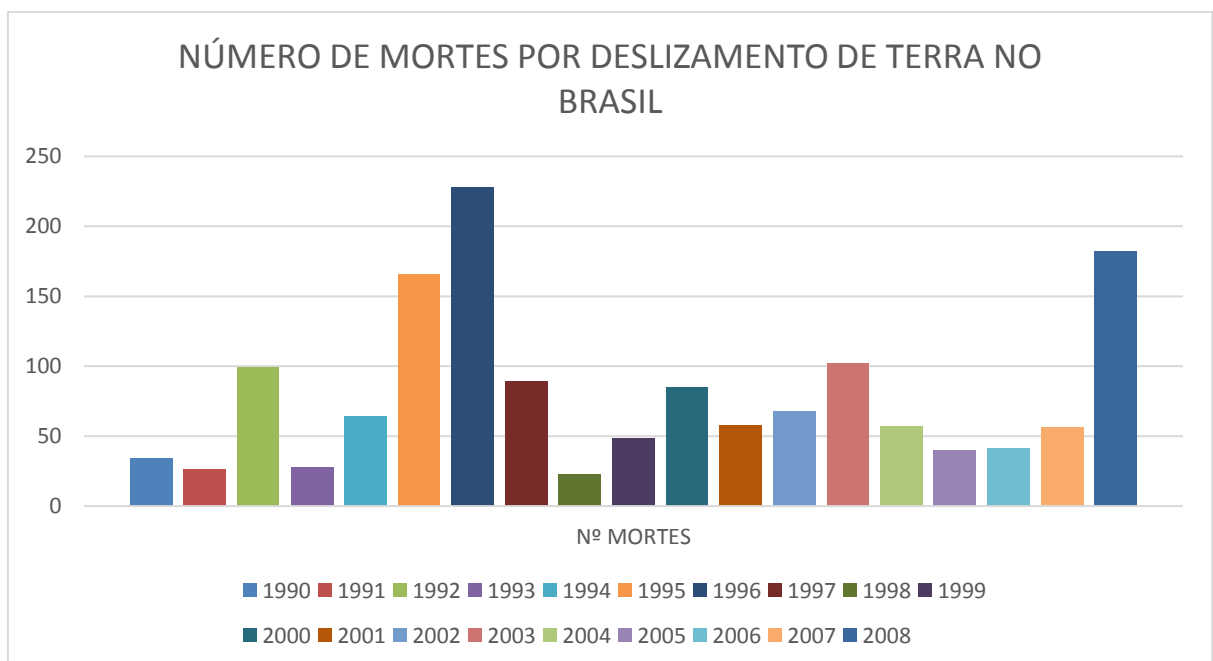
Entre 1983 e 2013, 10% de todos os desastres naturais ocorridos no Brasil foram relativos aos movimentos de massa (Figura 1). Apenas no ano de 1996 morreram 225 pessoas vítimas desse tipo de desastre (Figura 2). (TOMINAGA, 2009)

Figura 1: Desastres Naturais que ocorreram no Brasil entre 1983 e 2013.



Fonte: Adaptado de Tominaga et. al. (2009)

Figura 2: Vítimas fatais devido aos deslizamentos de terra no Brasil entre os anos 1988 e 2008.



Fonte: Adaptado de Tominaga et. al (2009)

Estima-se que milhares de mortes e dezenas de bilhões de reais a cada ano como sendo os estragos provenientes dos desastres naturais envolvendo movimentos de massa em todo o mundo. (VANACÔR, 2006)

Apenas no ano de 1993, os deslizamentos causaram direta ou indiretamente 2.517 mortes fatais no mundo todo, pedendo apenas para os terremotos e as inundações. Já em nível nacional, tem-se notícia que os escorregamentos provocam acidentes em municípios brasileiros, frequentemente, com mortes, que se somam aos danos econômicos associados às instabilizações de taludes em obras como rodovias ou ferrovias. (FILHO e WOLLE, 1996).

Deslizamentos ocorridos em 2014 (Figuras 3, 4 e 5), no bairro de Mãe Luiza em Natal (RN), após chuvas intensas e concentradas, resultaram em significativos danos a pessoas e propriedades. Nisto, diversos trechos de rodovia, que estavam ao longo dos cortes foram soterrados. O tráfego foi interrompido e ocorreram diversas avarias à rodovia, com felicidade este desastre não resultou em vítimas fatais.

Figura 3: Vista aérea do deslizamento de terra ocorrido em junho de 2014 em Natal/RN.



Fonte: Jornal Tribuna do Norte.

. O desastre que culminou na abertura de uma cratera com mais de dez hectares no bairro de Mãe Luiza foi provocado por diversos fatores. Segundo engenheiros civis e geólogos da Defesa Civil, o repentino volume de águas pluviais que caiu em um curto intervalo de tempo não foi o excepcional motivo para o deslizamento de terra, muito embora tenha sido imprescindível para a ocorrência do acidente. Uso e ocupação irregular do solo, lixo colmatando os sistemas de drenagem pluviais e o rompimento de tubulações de rede de água também são apontados como fatores que colaboraram para o sinistro que alcançou em torno de cem famílias na região. (TRIBUNA DO NORTE, 2014)

Figura 4: Vista panorâmica do deslizamento de terra ocorrido em junho de 2014 em Natal/RN



Fonte: Jornal Tribuna do Norte.

Figura 5: Carro soterrado pelo deslizamento de terra ocorrido em junho de 2014 em Natal/RN.



Fonte: TV Tribuna – YouTube.

O professor de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Ermínio Fernandes, destacou na época que a área arrasada possui características semelhantes com a região da Zona de Proteção Ambiental situada no entorno, a ZPA 10. Ermínio participou da elaboração de um estudo a respeito das ZPAs da cidade de Natal requerido pelo Ministério Público do Estado do Rio Grande do Norte (MPRN). “Aquela é uma área de dunas e é sensível com risco de rápida erosão por causa da declividade”, disse ele em entrevista ao Jornal Tribuna do Norte publicado no dia 21/09/2014.

Segundo Ermínio Fernandes, o fator de maior relevância no conjunto foi a abundância de chuvas que caiu em Natal durante o dia anterior ao desastre assim como a ocupação inadequada do terreno bem como problemas na captação e condução de águas pluviais e até mesmo lixo presente nos bueiros. De acordo com a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (Emparn), foram mais de 300 milímetros entre os dias 13 e 14 de junho de 2014, tal medida equivale à média esperada para o respectivo mês.

Fatalidades que tem envolvimento com os deslizamentos de terra apresentam-se com grande importância no âmbito tanto nacional como internacional, sendo, desta forma indispensável a necessidade de pesquisas que proporcionem um conhecimento prévio nas

regiões que se encontrem em risco de deslizamentos, das peculiaridades de cada área sob risco e na intervenção humana com a finalidade de diminuir ou remediar os impactos causados por tal evento natural. É de extrema relevância o desenvolvimento de pesquisas que realizem a avaliação do risco.

1.3 – Objetivos Gerais

Avaliar e compreender a utilização de ferramentas do Geoprocessamento por meio da análise quantitativa e qualitativa dos produtos de Sensoriamento Remoto e do Sistema de Informações Geográficas no gerenciamento dos riscos ambientais que tenham relação com movimentos de massas.

2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

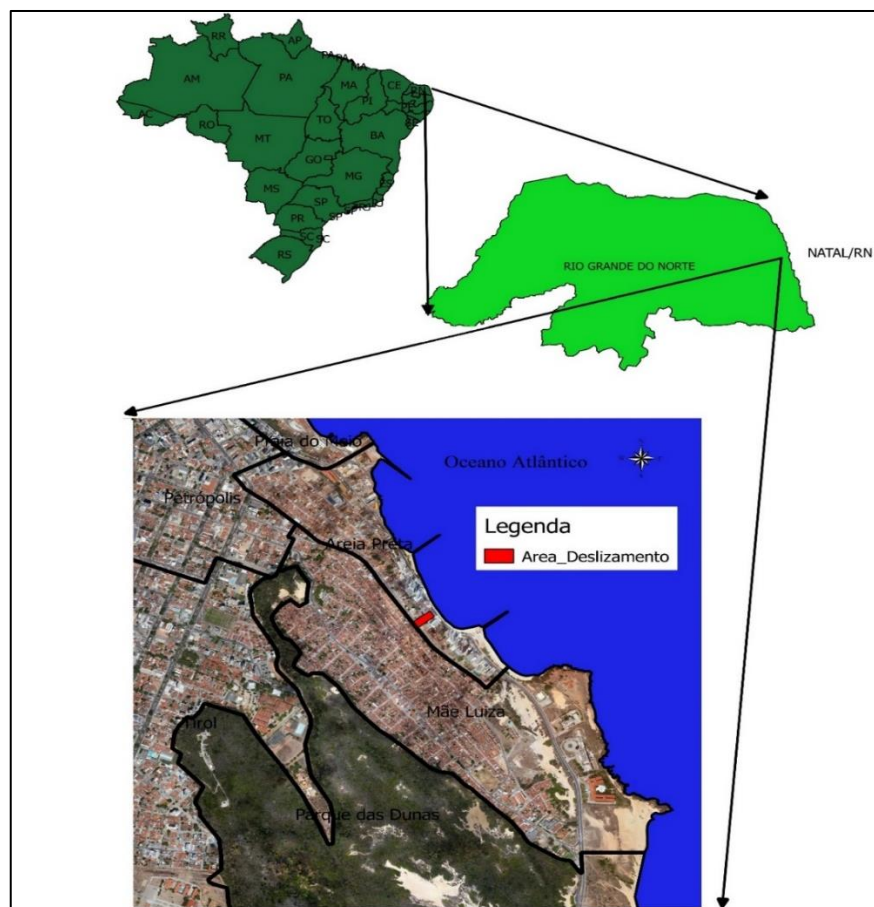
2.1 – Introdução

Deslizamentos ocorridos em 2014, no bairro de Mãe Luiza em Natal (RN), após chuvas intensas e concentradas, resultaram em significativos danos a pessoas e propriedades. Nisto, diversos trechos de rodovia, que estavam ao longo dos cortes foram soterrados. O tráfego foi interrompido e ocorreram diversas avarias à rodovia, com felicidade este desastre não resultou em vítimas fatais.

2.2 – Localização da área de estudo

A área de estudo localiza-se na região litorânea do Rio Grande do Norte, especificamente na cidade do Natal, compreendendo parte dos bairros de Areia Preta, Petrópolis, Tirol, Mãe Luiza e Parque das Dunas. (Figura 6 e 7)

Figura 6: Mapa de localização da área de estudo aos movimentos de massa.



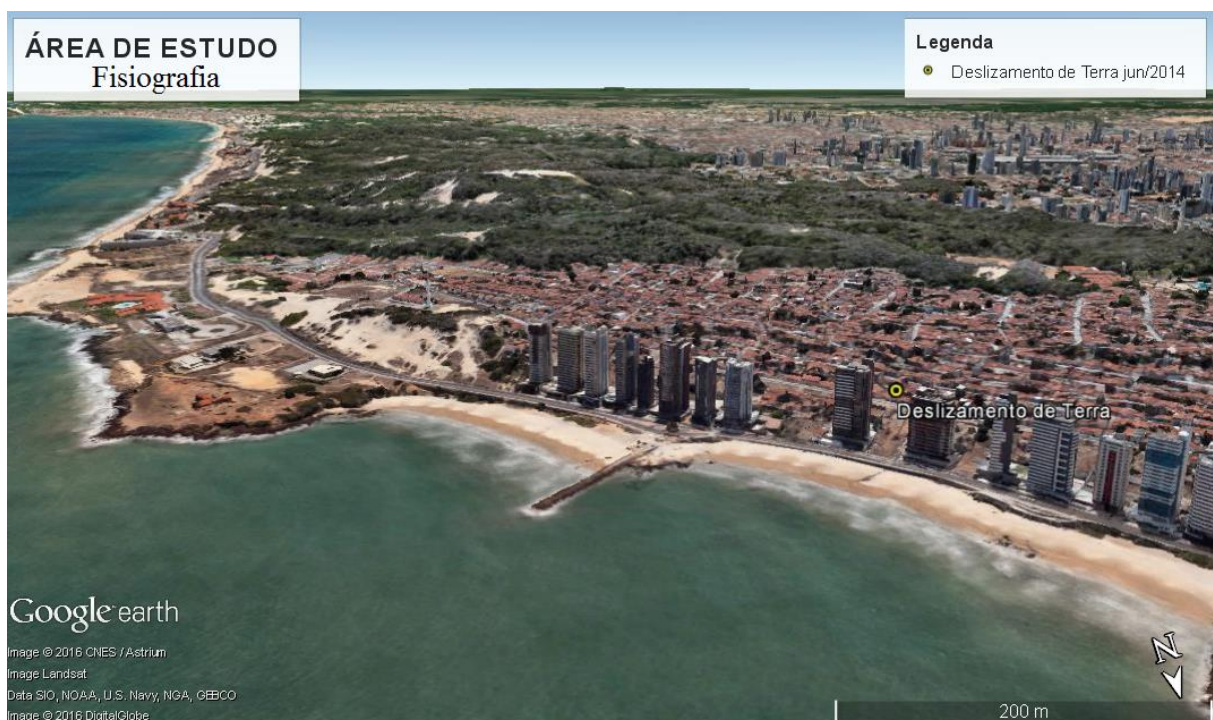
Fonte: Autor

2.2 – Aspectos Fisiográficos e Climatológicos

2.2.1 – Geomorfologia

A área é um campo de dunas fixas por vegetação (Figura 7) localizado na porção oriental da área de estudo, englobando o Parque das Dunas (campo de dunas com aproximadamente 8,5 km de extensão e largura média de 2,0 km, limitado ao Norte pelo bairro de Mãe Luíza e ao Sul pelo bairro de Ponta Negra) e possuem altitudes variando de 80 a 125 m (JESUS, 2002), coloração amarelo-esbranquiçada, estando fixos por vegetação.

Figura 7: Vista panorâmica da área de estudo.



Fonte: Google Earth

2.2.2 – Cobertura do solo/Vegetação

A área de estudo abrange o Parque das Dunas além de parte dos Bairros de Mãe Luíza, Tirol, Areia Preta e Petrópoles. A parte a ser estudada desses bairros é justamente a que faz fronteira com o Parque das Dunas. A área que compreende esses bairros (excetuando o Parque das Dunas, que além de Bairro é uma Unidade de Conservação) está toda antropizada, portanto, sem fauna e flora nativa.

Segundo destaca o IDEMA em seu portal sobre a UC-Parque das Dunas, a cobertura vegetal dessa Unidade de Conservação é representada, em sua maior parte, pela mata de duna litorânea (Figura 8), caracterizada por espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas, registrando

ainda a ocorrência de praias e sopés de dunas, e formação vegetal tabuleiro litorâneo. Nela predominam espécies peculiares da mata atlântica, além de algumas espécies de caatinga e tabuleiro, com destaque para a mescla-de-cheiro, antúrio selvagem e pau-brasil, as quais conferem ao ambiente grande diversidade e exuberância. A flora reúne mais de 270 espécies arbóreas distintas e 78 famílias, representada por mais de 350 espécies nativas. A fauna nativa do Parque é típica do ecossistema costeiro terrestre formado pela Mata Atlântica. De acordo com levantamento preliminar, a fauna do Parque está representada por cerca de 180 espécies dentre mamíferos, répteis, aves e invertebrados como borboletas, aranhas e escorpiões.

Figura 8: Depósitos eólicos litorâneos vegetados.



Fonte: IDEMA – Parque das Dunas

2.2.3 – Clima

O clima da região objeto de pesquisa deste trabalho que compreende parte dos bairros de Areia Preta, Mãe Luiza e o Parque das Dunas é semelhante ao clima da capital potiguar, sendo o clima é quente e úmido pertencente ao litoral oriental juntamente com as estações pluviométricas de São José de Mipibu e Canguaretama, totalizando 5% da área estadual. A estação pluviométrica de Natal apresenta um excedente de água de 1040 mm, distribuídos de

fevereiro a julho. Anuário Estatístico do Rio Grande do Norte (RIO GRANDE DO NORTE, 1999)

Já o índice de insolação possui uma média que varia entre 2.935 e 2.954 horas, segundo os dados da SUDENE, e que foram citados no Plano de Manejo do Parque das Dunas (RIO GRANDE DO NORTE, 1983).

2.2.4 – Geologia

A geologia da área é essencialmente formada por materiais de origem sedimentar, como toda a cidade de Natal. Entretanto, apresenta-se aqui uma descrição mais específica, desenvolvida por JESUS (2002).

Os sedimentos que afloram na área de estudo são os sedimentos cenozóicos, os quais compreendem os sedimentos Terciários e Quaternários. No Parque das Dunas é cabível observar o afloramento dos sedimentos da Formação Barreiras e de depósitos eólicos. Na parte ao leste encontram-se os arenitos da Formação Barreiras, os sedimentos praiiais, os arenitos de praia ou *beach rocks*. Essas unidades apresentam-se contíguas ao Parque da Dunas, tanto intervindo em sua evolução geológica, como proporcionando o tipo de uso e ocupação. (JESUS, 2002)

Divisão de geológica encontrados no Parque das Dunas, segundo (JESUS, 2002):

a) Sedimentos da Formação Barreiras

A sua definição ainda não é suficientemente específica. Inicialmente, sua conotação era apenas morfológica e se referia aos sedimentos cenozóicos que afloravam ao longo do litoral oriental brasileiro. Posteriormente, foram apresentadas definições relativamente mais detalhadas, entre as quais pode ser citada a de Cavalcanti et al. (1991), que descreve como sendo uma única unidade litoestratigráfica, sendo com quase certeza fluvial até litorânea. Segundo Alheiros & Lima Filho (1991), os sedimentos da Formação Barreiras são representados por:

1 - areias quartzosas a subarcosianas de coloração creme, medianamente selecionadas, com aspecto maciço, sobre as quais se desenvolvem, às vezes solos tipo argiloso com até dois metros de espessura, freqüentemente referidos como “coberturas de areias brancas”. Na base dessas areias, comumente se desenvolvem níveis endurecidos de ferro, que impermeabilizam as areias cremes e formam fontes nos períodos chuvosos ao longo dos cortes de estradas;

2 - areias quartzosas a subarcosianas, com cores vivas variando entre alaranjado, vermelho e roxo, em função dos diferentes estágios de oxidação que as colore. Apresentam grande porcentagem de pseudo-matriz argilosa, decorrente da decomposição dos grãos de feldspatos;

3 - argilas maciças e siltes, de cores variadas, sob a forma de camadas com espessura decimétrica, tendo a caulinita como argilomineral preponderante;

4 - diamictitos, com baixa densidade de cascalhos/seixos, onde a matriz, geralmente constituída por material argilo-arenoso avermelhado, suporta fragmentos subangulosos de quartzo, na dimensão cascalho e, mais raramente, seixos. A idade da Formação Barreiras não é exata, tendo sido aceita como Pliocênica a Pleistocênica, segundo Alheiros & Lima Filho (1991).

Geomorfologicamente, os sedimentos da Formação Barreiras apresentam-se dispostos no Parque das Dunas na forma de falésias cuja altura varia, aproximadamente, de 0,5 m a alguns metros de altura. São encontrados vários afloramentos da Formação Barreiras ao longo do Parque das Dunas, porém a grande parte encontra-se coberta pelas dunas. (JESUS, 2002)

b) Arenitos da Formação Barreiras

Esses arenitos são compostos, principalmente, por grãos de quartzo e polimíticos, angulosos a arredondados, mal selecionados de tamanho areia até matacão, cimentados por óxido de ferro. São encontrados constantemente formando saliências na costa, em razão de sua resistência à erosão pelos processos costeiros. Em outras palavras, são resultantes da oxidação dos sedimentos da Formação Barreiras. Geomorfologicamente, formam corpos de arenito sem um padrão de forma determinado. (JESUS, 2002)

c) Arenitos de Praia ou *Beach rocks*

São arenitos bem litificados com estratificações cruzadas acanaladas, tipo "espinha de peixe", e plano-paralelas, formadas na região do médio ou baixo estirâncio (Pereira 1999). São comumente conhecidos como "recifes de arenitos". Segundo postulado por Branner, primeiro pesquisador desses arenitos na costa brasileira a formação dos *beach rocks* ocorreu através da dissolução de carbonatos de cálcio das camadas arenosas. Esses arenitos apresentam grãos moderadamente selecionados a bem selecionados, com esfericidade equilibrada entre alta e

baixa, empacotamento frouxo, com grãos flutuantes; tais grãos variam de areia fina a areia grossa são mineralogicamente maduros. (JESUS, 2002)

Os *beach rocks* são compostos por quartzo, feldspatos opacos, minerais pesados e carapaças, ambos unidos por cimento carbonático criptocristalino. Pereira (1999) descreve uma seqüência de eventos diagenéticos que ocorre na formação dos *beach rocks*, a qual é mostrada abaixo.

I) Deposição das areias na região do estirâncio.

II) Cimentação.

III) Mudança de ambiente de água salgada para água doce.

IV) Exposição sub-aérea dos *beach rocks* e lixiviação do cimento já formado, gerando porosidade.

d) Sedimentos Praiais

São representados por areias de granulometria e cores variadas, predominantemente constituídos por quartzo, além de minerais pesados, micas, fragmentos de rocha e organismos diversos (DUARTE, 1995).

Os sedimentos praiiais são depositados ao longo das faixas de praia, estando dispostos paralelamente à linha de costa. (JESUS, 2002)

e) Depósitos Eólicos

Estes sedimentos são constituídos por areias quartzosas, com grãos subarredondados a subangulosos, bem selecionados, apresentando aspecto maciço. Os lençóis dunares são constituídos por agrupamento de dunas interligadas ou sobrepostas, que formam compartimentos de cristas e corredores dunares na direção dos ventos (SE/NE). (JESUS, 2002)

3 – REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 – Considerações iniciais

Pelo fato de o trabalho abranger diversos campos de conhecimento, e, desta forma, demandar uma extensa gama de referenciais teóricos, optou-se por explorar apenas a teoria que envolve a estabilidade de taludes e movimento de massas bem como a exposição de noções básicas sobre a conceituação que envolve o geoprocessamento, sensoriamento remoto e áreas de riscos.

3.2 – Deslizamento de terras no contexto dos Desastres Naturais

De acordo com a Codificação e Classificação Brasileira de Desastres (COBRADE) o deslizamento de terra, solo ou rocha, conhecido também como movimento de massas, é um dos tipos de desastres naturais pertencente ao grupo dos desastres geológicos. Os desastres naturais são divididos em cinco grupos:

- Geológicos: Que englobam os terremotos, movimentos de massa, erupções vulcânicas e erosão;
- Hidrológicos: Desastres que envolvem os alagamentos, enxurradas e inundações;
- Meteorológicos: São os desastres naturais que abrangem os sistemas regionais ou de grande escala como os ciclones, as frentes frias, tempestades ou até mesmo alteração extrema de temperaturas. Diferem dos desastres Climatológicos pelo tempo curto de ocorrência;
- Climatológicos: As secas, ou alteração de temperatura a exemplo do El Niño (fenômeno oceânico-atmosférico marcado pelo aquecimento não normal das águas superficiais do Oceano Pacífico em áreas Tropicais);
- Biológicos: Desastres relacionados às epidemias e às infestações ou pragas.

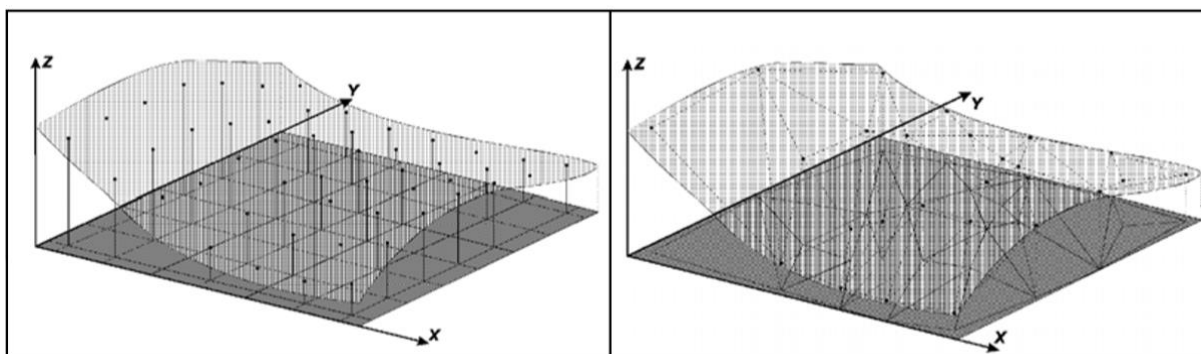
3.3 - Modelo Digital de Elevação (MDT)

Segundo Fraga et. al. (2003), o Modelo Digital do Terreno é uma simbolização algébrica da distribuição geográfica das propriedades relativas a um acontecimento associada a uma superfície real, que possui, além de outras aplicações, a geração de mapas de aparência e de declividade; elaboração de mapas topográficos digitais e a visualização da superfície terrestre três dimensões.

Um Sistema de Informação Geográfica entende que as informações de um MDT (modelo digital do terreno) podem ser representadas das seguintes formas: Imagens, Pontos 3D, Grade Regular Retangular, Isolinhas e Grade Irregular Triangular. Os Pontos em três dimensões representam o máximo e o mínimo em um mapa topográfico por meio de coordenadas tridimensionais x , y e z . Já as Isolinhas representam a delimitação das curvas de níveis, ou seja, a conformação do terreno (relevo), as isotermas representam variações de temperaturas, as isóbaras as pressões, dentre outros, são pares de pontos em duas dimensões: x e y . (RODRIGUES, 2005)

O TIN ou Triangular Irregular Network possui uma formação estrutural poliédrica formada por triângulos, na qual cada vértice do triângulo é um ponto da superfície interligado por três arestas. É também conhecido como Grade Irregular Triangular. (Figura 9)

Figura 9: Método TIN para elaboração de Modelo Digital de Terreno



Fonte: BERG, 2008

Nesse trabalho, o MDT usado para geração do mapa de risco à suscetibilidade de movimentos de massa foi gerado a partir das curvas de níveis. Sendo esta uma das principais fontes para geração de uma representação matemática contínua da distribuição espacial das variações de altitude numa área.

3.4 – Geoprocessamento

O geoprocessamento com a assistência da computação é uma aplicação prática com conhecimento científico adotada recentemente. No Brasil, são eram raras as pesquisas que empregam esse tipo estudo na preparação de mapas geotécnicos. Porém, a facilidade de alcance dos hardwares e dos softwares devido, sobretudo, aos custos cada vez mais baixos e a

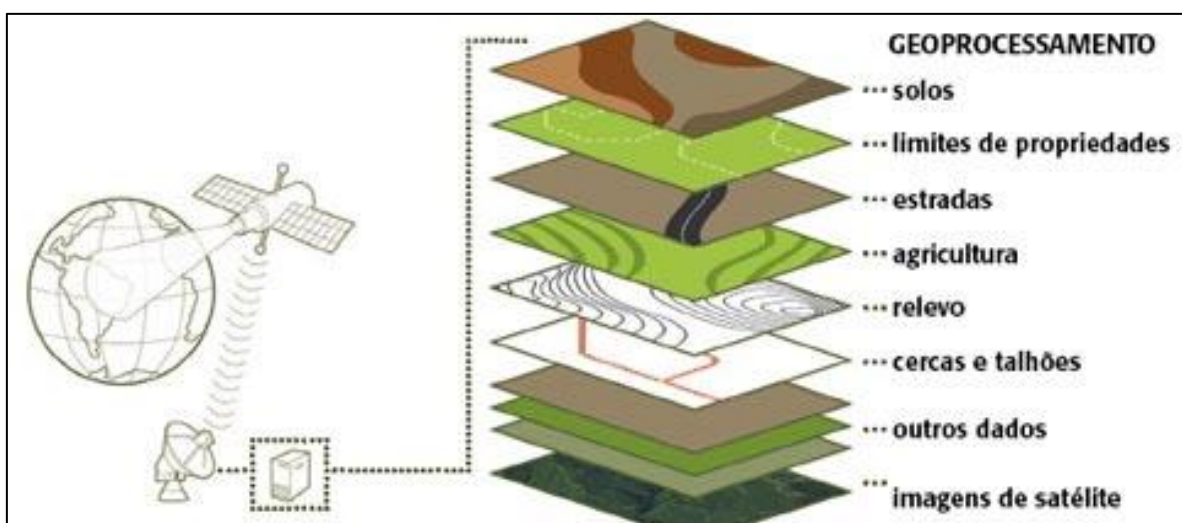
propagação de softwares propostos ao armazenamento e à manipulação de dados georreferenciados proporcionou uma formidável nova área de estudo à Geotecnia.

O geoprocessamento engloba processamento digital de imagens (Figura 10), cartografia digital e os sistemas informativos geográficos (ou sistemas de informação geográfica, ou mesmo sistema geográfico de informação). A cartografia digital refere-se à automação de projetos, captação, organização e desenho de mapas; enquanto que o sistema geográfico de informação se refere à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados, ou seja, um sistema de processamento de informação espacial. (MOURA, 2012).

Segundo Rosa e Brito (1996), geoprocessamento pode ser definido como o conjunto de ciências, tecnologias e técnicas empregadas na aquisição, armazenamento, gerenciamento, manipulação, cruzamento, exibição, documentação e distribuição de dados e informações geográficas.

Já Silva (2007), geoprocessamento pode ser conceituado como um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e o tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. Essas atividades são executadas por Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Eles são destinados ao processamento de dados georreferenciados desde a sua coleta até a geração de produtos como mapas, relatórios e arquivos digitais, oferecendo recursos para armazenamento, gerenciamento, manipulação e análise dos dados.

Figura 10: Ilustração esquemática da relação entre o geoprocessamento e o sensoriamento remoto.



3.5 – Movimentos de Massa

Os movimentos de massas são conhecidos como os mais relevantes processos naturais geomórficos que transformam a cobertura terrestre. Constituem-se no arrasto de materiais, solos e rochas declive abaixo devida às forças gravitacionais, desencadeados pela influência direta ou indireta de outros meios ou agentes que atuam de forma independente como o gelo, o ar ou principalmente a água. (BIGARELLA et al, 2003, p. 1026)

Conforme o mesmo autor, em materiais não consolidados, o ângulo de repouso médio é gira em torno dos 30°, este valor em porcentagem de inclinação equivale a 57,73%, entretanto essa mensuração alterna em detrimento do tamanho, da forma e do grau do tipo de material. Em linhas gerais, podemos afirmar que essa inclinação natural de repouso é maior à medida que o tamanho de grão que compõe o material aumenta, mais desigual for a forma dos grãos e quanto menor o grau de seleção. A inconstância de encostas com materiais consolidados tem relação com demais fatores, como a estruturação das rochas e posição das estruturas em relação à conformação do terreno. Outro fator que tem estreita relação com o ângulo de repouso natural dos taludes é a infiltração da água no regolito.

O direcionamento inicial que deu rumo ao cumprimento das avaliações está no fato de os movimentos de massa serem um processo de natureza geomorfológico de evolução de encostas que ocorre de forma natural. Assim sendo, avaliou-se as características naturais existentes nas encostas como sendo as responsáveis pelo surgimento dos deslizamentos e desmoronamentos. A ação do homem potencializa este processo. Para Silva (1969), o local de ocorrência dos movimentos de massa é determinado principalmente pela influência mútua entre a estrutura geológica, a conformação do relevo e as modificações ambientais antrópicas.


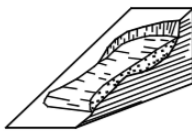

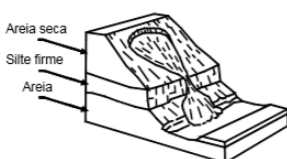
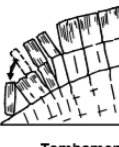
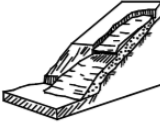



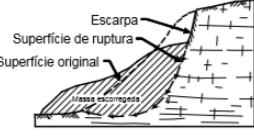
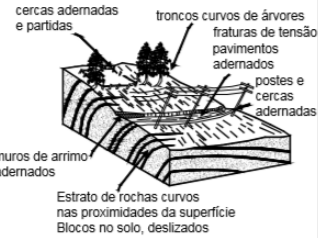
Há diversas classificações dos movimentos de massa (Figuras 11 e 12), tanto do ponto de vista nacional como internacional e essas classificações são baseadas em diversos fatores que relacionam parâmetros como os mecanismos do movimento, a natureza dos materiais envolvidos, a velocidade, direção e recorrência dos movimentos além da geometria do maciço movimentado. Por estar presente nas diversas literaturas, segue nas figuras abaixo as duas das principais classificações dos movimentos de massa.

Figura 11: Tipos de movimentos de massa. Versão abreviada da proposta de classificação de movimentos de enconsta.

TIPO DE MOVIMENTO	TIPO DE MATERIAL		
	ROCHA	SOLOS DE ENGENHARIA	
		Predomínio de grossos	Predomínio de finos
Queda	Queda de blocos	Queda de massa de solo e rocha	Queda de terra
Tombamento	Tombamento de blocos	Tombamento de massa de solo e rocha	Tombamento de terra
Escorregamento	Rotacional	Escorregamento de blocos	Escorregamento de massa de solo e rocha
	Translacional		
Espraiamento lateral	Espraiamento de blocos	Espraiamento de massa de solo e rocha	Espraiamento de terra
Corrida	Corrida de blocos	Corrida de Massa de solo e Rocha (rastejo de solo)	Corrida de terra
	(rastejo profundo)		
Complexo	Combinação de dois ou mais dos principais tipos de movimentos		

Fonte: Vernes, 1978

Figura 12: Principais tipos de movimentos de massa

MOVIMENTOS DE BLOCOS ROCHOSOS	ESCORREGAMENTOS		CORRIDA
 Queda livre	 Escorregamento rotacional raso	 Escorregamento planar	 Corrida de solo
 Tombamento	 Escorregamento translacional ou planar	 Escorregamento translacional em rocha	RASTEJAMENTO
 Rolamento de matações	 Escorregamento rotacional profundo	 Escorregamento rotacional em solo	 Rastejo e seus indícios

Fonte: Modificado de Infanti e Filho, 1998.

3.6 – Estabilidade de Taludes

A estabilidade de um talude está relacionada com a interação mútua de diversos fatores. O ângulo de repouso que é a máxima inclinação na qual o material da encosta prosseguirá estático sem entrar em colapso, é estabelecido por diversos fatores, mas os principais são: tipo do solo presente no talude, umidade do solo, conformação do relevo e a presença de vegetação (FERNANDES, 1996).

Segundo a literatura da disciplina mecânica dos solos TERZAGHI (1959), as análises de equilíbrio, em grande parte, são desenvolvidas conforme a abordagem do equilíbrio limite. O equilíbrio limite é a maneira criada pela teoria da plasticidade para análises do equilíbrio dos corpos, em que se aceita como proposições:

a) Há uma linha de escorregamento conhecida: plana, espiral-log, circular ou mista, que demarca, acima dela, a porção instável do maciço. Essa massa de solo não estável, sob a atuação da gravidade, movimenta-se como um corpo rígido;

b) Acatamento a um critério de resistência, geralmente utiliza-se o de Morh-Coulomb, ao longo da linha de escorregamento.

Segundo a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia ~~ABGE, 1998~~, a execução de cortes nos maciços pode condicionar movimentos de massa ou, mais especificamente, escorregamento de taludes, desde que as tensões cisalhantes ultrapassem a resistência ao cisalhamento dos materiais ao longo de determinadas superfícies de ruptura. (ALHEIROS, 2001)

As Figuras 13 e 14, que foram retirados das notas de aula da disciplina Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra do professor M. Marangon da UFJF, resumem os vários desafios pertinentes aos taludes artificiais e naturais. Além de serem destacadas as principais causas que levam ao surgimento do respectivo problema.

Figura 13: Tipos de problemas relacionados aos taludes e as principais causas responsáveis.

TIPO DE PROBLEMA	PRINCIPAIS CAUSAS
Erosão	Deficiência de drenagem Deficiência de proteção superficial Concentração de água superficial e/ou interceptação do lençol freático Deficiência ou inexistência de drenagem interna.
Desagregação superficial	Secagem ou umedecimento do material Presença de argilo-mineral expansivo ou desconfinamento do material Inclinação acentuada do talude Relevo energético Descontinuidades do solo e rocha.
Escorregamento em corte	Saturação do solo Evolução por erosão Corte de corpo de tálus Alteração por drenagem Compactação inadequada da borda.
Escorregamento em aterro	Deficiência de fundação Deficiência de drenagem Deficiência de proteção superficial Má qualidade do material Compactação inadequada Inclinação inadequada do talude.
Recalque em aterro	Deficiência de fundação Deficiência de drenagem Rompimento do bueiro Compactação inadequada.
Queda de blocos	Ação da água e de raízes na descontinuidade do maciço rochoso.
Rolamento de blocos	Descalçamento da base por erosão.

Fonte: Modificado de Marangon, 1997.

Figura 14: Tipos de problemas relacionados aos taludes e as principais formas de ocorrências.

TIPO DE PROBLEMA	FORMA DE OCORRÊNCIA
Erosão	Em talude de corte e aterro (em sulcos e diferenciada) Longitudinal ao longo da plataforma Localizada e associada a obras de drenagem (ravinas e boçorocas) Interna em aterros (piping)
Desagregação superficial	Empastilhamento superficial em taludes de corte Superficial Profundo Formas e dimensões variadas
Escorregamento em corte	Superficial em corte ou encostas naturais Profundo em cortes Formas de dimensões variadas Movimentação de grandes dimensões e generalizada em corpo de tálus Atingindo a borda do aterro Atingindo o corpo do aterro
Escorregamento em aterro	Atingindo o corpo do aterro
Recalque em aterro	Recalque em aterro
Queda de blocos	Geralmente em queda livre
Rolamento de blocos	Movimento de bloco por . rolamento em cortes ou encostas naturais

Fonte: Modificado de M. Marangon, 1997.

3.7 – Áreas de Risco

De uma forma generalizada, a Área de Risco é definida como um local vulnerável onde existe a probabilidade de ocorrência de eventos adversos.

De acordo com artigo 6º, inciso V, do Novo Plano Diretor de Natal (Lei Complementar 082 de 21 de junho de 2007), entende-se por áreas de risco :

“Área passível de ser atingida por processos naturais e/ou antrópicos que causem efeitos adversos, situada em vertentes e em torno destas, áreas suscetíveis de inundação e/ou alagamento, baixios topográficos, faixas de domínio de linhas ferroviárias, faixas de servidão de linhas de transmissão de energia elétrica de alta tensão, áreas sobre linhas de canalização de gás, flancos dunares e adjacências, encostas e áreas de instabilidade sujeitas a desabamentos e/ou soterramentos”.

A Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (conhecida como Lei Lehmann, em alusão ao seu autor, o então senador paulista Otto Cyrillo Lehmann) proíbe, em seu art. 3º, parágrafo único, que áreas de risco sejam loteadas para fins urbanos. Entretanto, muitas vezes o próprio poder público tem levado serviços públicos e infraestrutura a essas áreas, contribuindo, assim, para o adensamento da ocupação, como pode ser visto no entorno do Morro de Mãe Luiza (Figura 15).

Figura 15: Deslizamento de terra ocorrido em Natal/ RN em junho de 2014.



Fonte: Tribuna do Norte, 2014.

4 – METODOLOGIA

Para elaboração do mapa de risco aos movimentos de massa foi empregada a metodologia de Libault (1971), cujo título é “Os Quatro Níveis de Pesquisa Geográfica”. Essa metodologia é baseada na avaliação quantitativa da informação, com emprego de dados numéricos possíveis de serem representados cartograficamente por meio de mapas-síntese e, desta forma, sendo o produto da pesquisa visualmente perceptível. As etapas da pesquisa definidas por Libault são: compilatório, parte inicial da pesquisa, no qual é feito o levantamento das informações, assim como a compilação destas; correlatório, etapa de correlação das informações e aperfeiçoamento dos dados; semântico, etapa destinada à interpretação e à

análise dos resultados alcançados e, por último, a etapa normativa, momento final do trabalho cujo o fruto da pesquisa é transformado em modelo.

Juntamente com a metodologia de Libault (1971), a combinação dos fatores e parâmetros que condicionam a geração de uma cenário propício aos deslizamentos de terra foi elaborado seguindo o método de Avaliação Multicritério e utilizando-se da Combinação Linear Ponderada (WLC).

Em linhas gerais, os procedimentos metodológicos para elaboração do mapa de risco aos deslizamentos podem ser resumidos nas seguintes etapas:

Etapa 1: Aquisição de dados brutos e revisão bibliográficas.

1.1 - Obtenção da base de dados cartográficos em formato shp. (formato de arquivo que pode ser lido por softwares de geoprocessamento). Todos os mapas foram produzidos no DATUM SIRGAS2000, projeção em UTM na zona 25S.

1.2 - Reunir a bibliografia necessário para a pesquisa.

Etapa 2: Elaboração de cada mapa no QGIS conforme a temática.

2.1 – Mapa litológico: A partir do mapa com informações sobre a geologia da região estudada foi elaborado um mapa apenas baseado em critérios litológicos.

2.2 – Mapa sobre o uso e a ocupação do solo: A partir de imagem de satélite foi criada uma camada vetorial com informações baseadas em análise visual. Cobertura com edificações, vegetações ou solo exposto.

2.3 – Mapa Hipsométrico e Mapa de declividade: A partir das curvas de níveis foram gerados dois modelos digitais de terreno, um baseado na declividade e o outro na altimetria.

Etapa 3: Produção do Mapa de suscetibilidade aos Movimentos de Massa.

3.1 – Atribuir notas segundo a variação de característica em cada mapa. Por exemplo, Mapa de uso e ocupação do solo, 1 para vegetação, 2 para solo exposto e 5 para áreas urbanizadas.

3.2 – Atribuir pesos para cada mapa. Peso 4 para o Mapa de declividade, peso 3 para o Mapa de uso e ocupação de terra, peso 0,5 para o Mapa de hipsométrico e 2,5 para o Mapa litológico.

3.3 – Aplicação da álgebra de mapa - método da combinação linear ponderada e consequente criação do Mapa de Risco.

Etapa 4: Análise dos resultados.

4.1 – Analisar as áreas de risco em função das áreas urbanizadas.

4.2 – Verificar se a classe “altíssimo risco” engloba a área onde ocorreu deslizamento.

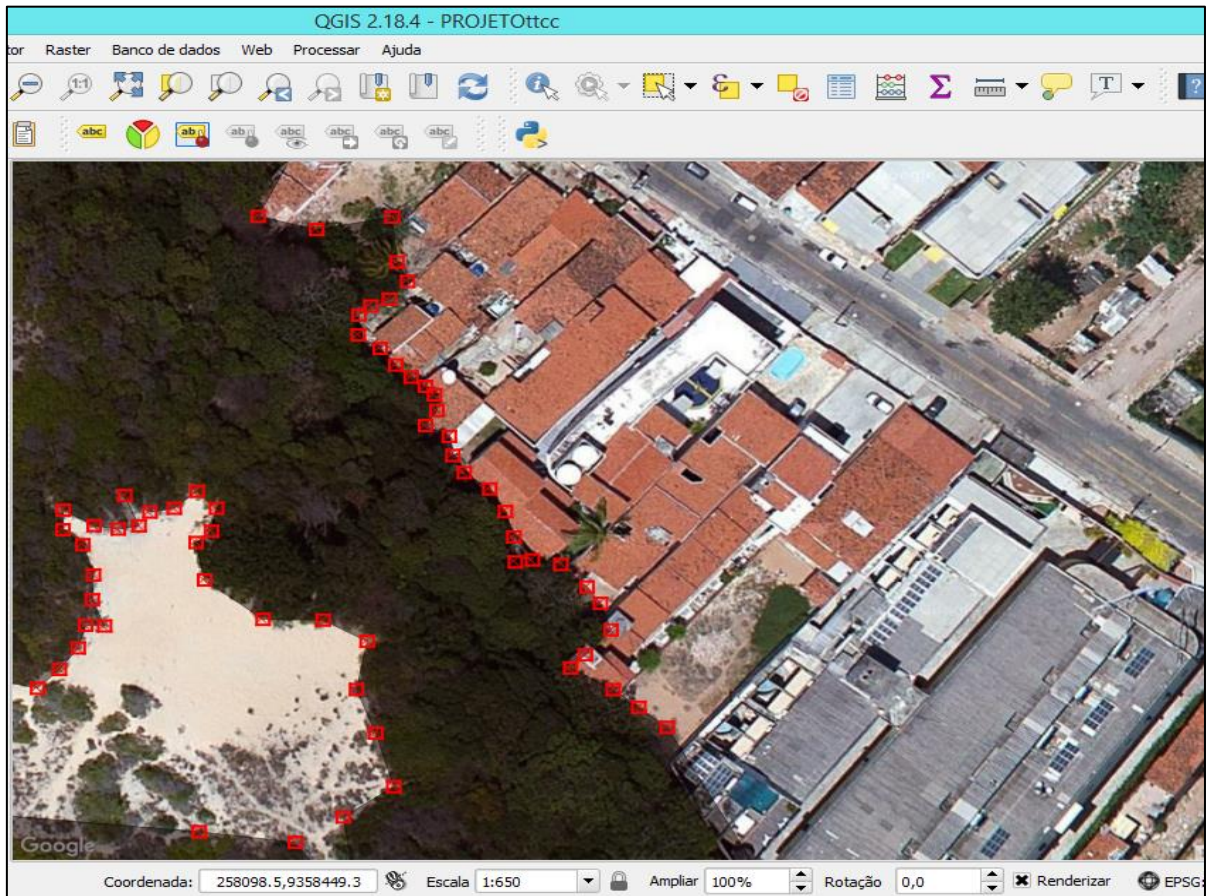
5 – MATERIAS

5.1 – Dados sobre o Uso e a Ocupação do Solo

Foi utilizada uma imagem digital de satélite (Figura 16) adquirida no software Google Earth tirada em 08 de novembro de 2014. Essa imagem foi salva e importada para o software QGIS e georeferenciada com base em pontos marcados no próprio Google Earth. O mapa de uso e ocupação do solo foi georeferenciado no sistema de coordenadas UTM, Datum geocêntrico SIRGAS2000 para a Zona 25S, tal mapa foi feito no software QGIS a partir da criação de uma camada na qual se delimitava as coberturas vegetais por meio da inserção de uma nova camada do tipo polígono para criação de feições que delimitassem a cobertura vegetal.

Escolheu-se essa data porque foi a data mais próxima do deslizamento de terra ocorrido em junho de 2014. No entanto, houve pouca ou quase nenhuma modificação na cobertura vegetal de 2014 para 2017.

Figura 16: Interface do Software QGIS – Elaboração do mapa “Uso e Ocupação do Solo”



Fonte: Autor

5.2 Dados geológicos

Para a camada de informações com os atributos geológicos, foram observados a litologia predominante no que diz respeito ao tipo de solo: depósitos eólicos litorâneos vegetados, depósitos eólicos litorâneos não vegetados, depósitos praias e afloramentos rochosos. Tais dados foram obtidos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM (Empresa governamental brasileira vinculada ao Ministério de Minas e Energia) por meio da folha geológica de Natal mapeada na escala de 1:100.000.

5.3 Dados topográficos

As curvas de níveis usadas no trabalho foram obtidas da Base Cartográfica Digital dos Municípios do Pólo Costa das Dunas, elaborado pela Secretaria de Estado do Turismo do RN - SETURN e Secretaria de Estado da Infraestrutura -SIN, com cobertura aerofotogramétrica em escala de 1:2.000 nas áreas urbanas.

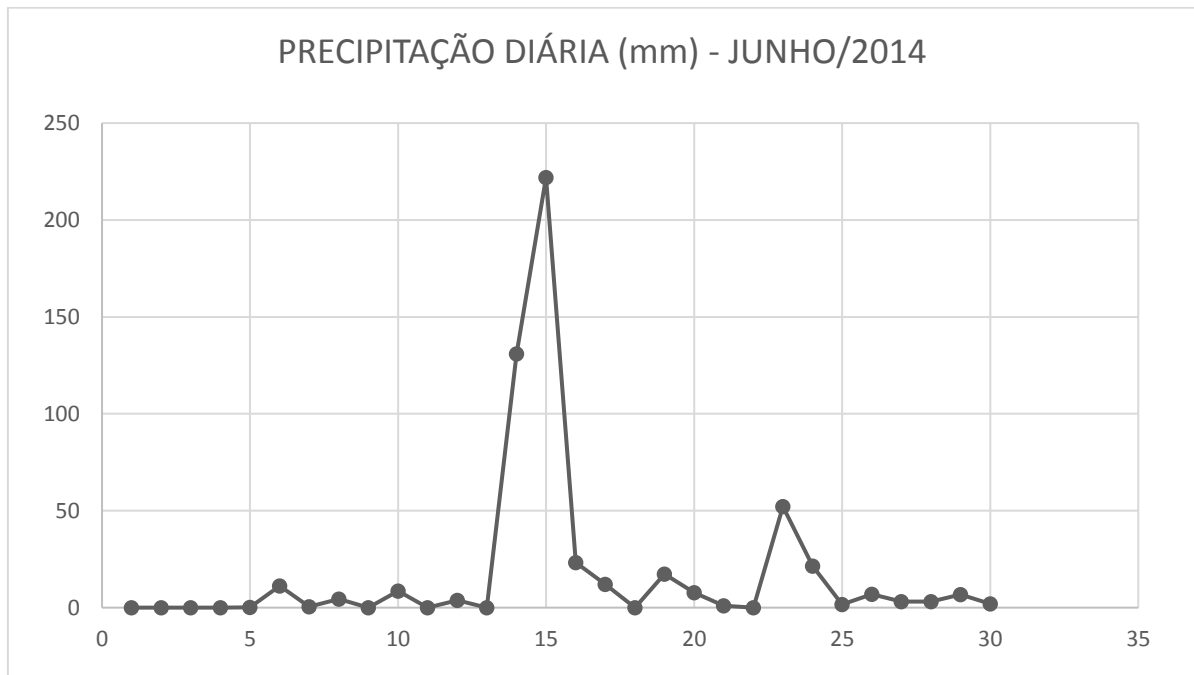
5.4 Dados climatológicos

Embora não tenha sido usado na elaboração do mapa de suscetibilidade aos movimentos de massa no que diz respeito ao deslizamento de terra, os fatores que condicionam o clima são extremamente relevantes para a instabilidade de taludes, principalmente o fator pluviométrico, pois a chuva potencializa a suscetibilidade, uma vez que a água altera as condições de estabilidade do maciço ao modificar parâmetros como coesão e saturação.

Na elaboração do “Mapa de Suscetibilidad del Terreno a los Deslizamientos”, para o país da Colômbia, Lopez et al (2002), fizeram a utilização de oito fatores do ambiente físicos para caracterizar a suscetibilidade aos movimentos de massa, a chuva foi tratada separadamente. Os dados pluviométricos foram utilizados na tentativa da definição do momento no qual o solo seria capaz de entrar em colapso e ruir. Amaral & Fernandes (2003) também seguiram a mesma linha de raciocínio, pois elaboraram o Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos de Terra do Rio de Janeiro em 1992, com parâmetros apenas do meio físico. Desta forma, levando em consideração que a chuva pode ser o gatilho dos movimentos de massa, o nível de suscetibilidade a deslizamentos é marcado pelas características físicas do meio (litologia, topografia, ocupação do solo etc.). (Figura 19)

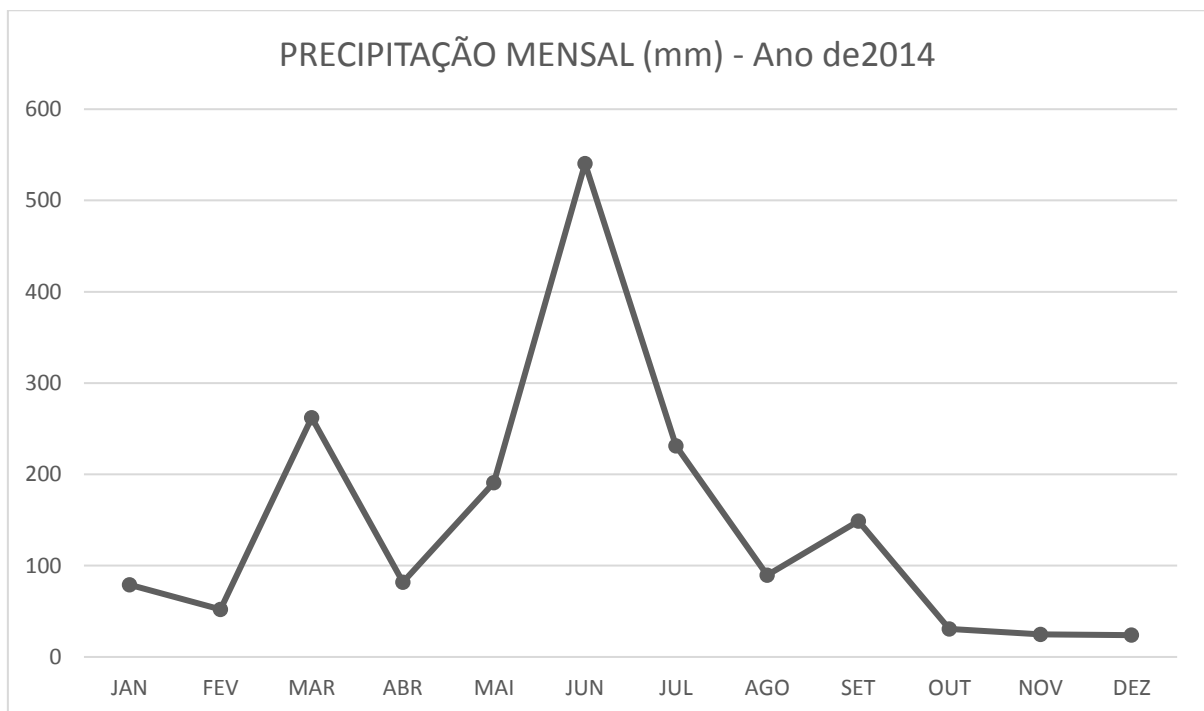
As Figuras 17 e 18 revelam que a grande intensidade de chuva ocorreu depois do deslizamento, pois o deslizamento iniciou-se na madrugada de sexta-feira do dia 13 de junho do ano de 2014 e, nesse dia, como pode-se observar, a precipitação registrada foi de zero milímetro de chuva, segundo dados históricos fornecidos pelo INMET.

Figura 17: Precipitação diária ocorrida em junho de 2014 na cidade de Natal/RN



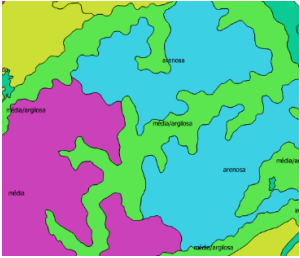

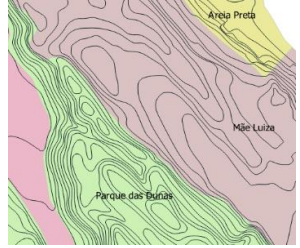
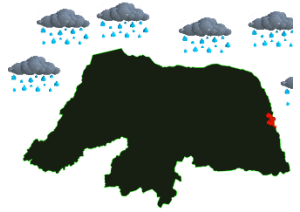
Fonte: Banco de Dados – INMET

Figura 18: Precipitação mensal ocorrida no ano de 2014 na cidade de Natal/RN



Fonte: Banco de Dados – INMET

Figura 19: Quadro resumo com os dados utilizados na elaboração do mapa de suscetibilidade aos deslizamentos de terra.

PLANO DE INFORMAÇÃO		CONSIDERAÇÕES
Geologia		Geologia é um dos fatores de maior relevância no estudo da suscetibilidade, pois as variações litológicas proporcionam a formação dos solos com diferentes coesões, texturas, resistências e permeabilidades, ou seja, apresenta comportamentos diferentes no que diz respeito à ocorrência de instabilidades;
Uso do Solo e Cobertura Vegetal		Os diversos tipos de ocupação do solo podem condicionar ou até mesmo ser ponto de partida para os deslizamentos de terra. Somado a este fato, a ausência ou não e o tipo de vegetação que cobre o solo nas encostas tem influência sobre estabilidade do maciço.
Curvas de Níveis		As curvas de níveis determinam a declividade que ditam tensões tangenciais existentes nas encostas. Quanto maior for a inclinação de uma encosta, maior será a componente vertical da gravidade e, por conseguinte, maior será a aceleração e velocidade de deslocamento de solo.
Informações Auxiliares		Dados pluviométricos e shapefiles contendo os limites administrativos dos bairros, municípios e estado do Rio Grande do Norte.

Fonte: Autor

6 – FERRAMENTAS

6.1 – Quantum GIS

Foram utilizadas várias ferramentas para que os resultados fossem alcançados, a principal foi o uso do software livre de geoprocessamento QGIS cujo propósito é a análise de dados em SIG, além da confecção de mapas cartográficos. Já o mapa de risco em si, foi elaborado em outro software SIG, o ArcGIS.

O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) amigável, ou seja, um Software de código livre, isso alude que, se você almejar, pode examinar e alterar o código-fonte. Ele foi habilitado pela “GNU General Public License”. O QGIS é um projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Ele é multiplataforma, pois opera em Unix, Android, Linux, Windows e Mac OSX e suporta diversos formatos raster, vetoriais, de banco de dados. A capacidade conseguir ler vários formatos chamamos de interoperabilidade. O QGIS tem, por meio de suas principais funções e complementos, disponibilizado diversas ferramentas e algoritmos para processamento de dados. O usuário pode gerenciar, editar, visualizar e analisar os dados e compor mapas.

6.2 – Autocad Civil 3D

O software Autocad, diferentemente do QGIS, não é livre, porém a empresa responsável pela criação e também pela venda, a Autodesk, disponibiliza uma versão com licença de três anos para estudantes. Neste trabalho, a utilização deste software foi apenas de forma auxiliar, apenas na manipulação/conferência de planta de curvas de nível sobre imagens de satélites georreferenciadas no QGIS.

Conforme destacado no site oficial da empresa Autodesk, o Civil 3D pode ser usado em projetos que envolvam Sistemas de Informações Georreferenciadas, porém ficou a cargo do QGIS o tratamento das geoinformações.

“O Civil 3D é um software da linha AutoCAD, desenvolvida pela Autodesk, voltado para elaboração e análise de projetos nos mais diversos ramos da engenharia civil. Além de possuir todas as funcionalidades do AutoCAD, o Civil 3D possui uma gama de ferramentas exclusivas que permitem ao usuário desenvolver, com facilidade, projetos na área de transportes, SIG e inúmeras aplicações envolvendo áreas ligadas ao meio ambiente, como análise de bacias hidrográficas e estudos hidráulicos e hidrológicos.”

6.3 – ArcGIS

Segundo o Centro de Processamento de Dados da UFRGS o ArcGIS é um Sistema de Informação Geográfica (GIS) utilizado para criação e utilização de mapas, compilação de dados geográficos, análise de informações mapeadas e gestão de informações geográficas em bancos de dados.

A utilização do ArcGIS limitou à álgebra de mapas e à utilização da combinação linear ponderada dos pesos e notas atribuídos aos parâmetros de cada mapa.

7 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 - Considerações Iniciais

Diversos trabalhos acadêmicos foram desenvolvidos no âmbito da pesquisa no que diz respeito ao risco de deslizamentos em encostas em todo o mundo. Moreira (2008) e Guimarães (2009) elaboraram pesquisas proeminentes no campo de atuação nacional. Este, criou um método para a averiguação dos casos de deslizamento de terra nos entornos de Serra do Mar (São Paulo), realizando a aglutinação de fatores condicionantes alusivos aos casos de deslizamento. Informações de atividade do homem, subsídios geológicos, pluviométricos e geomorfológicos, foram empregados. Já Moreira, elaborou uma forma para prever a ocorrência de casos de deslizamentos de encostas no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (Rio de Janeiro). (ARAÚJO, 2014)

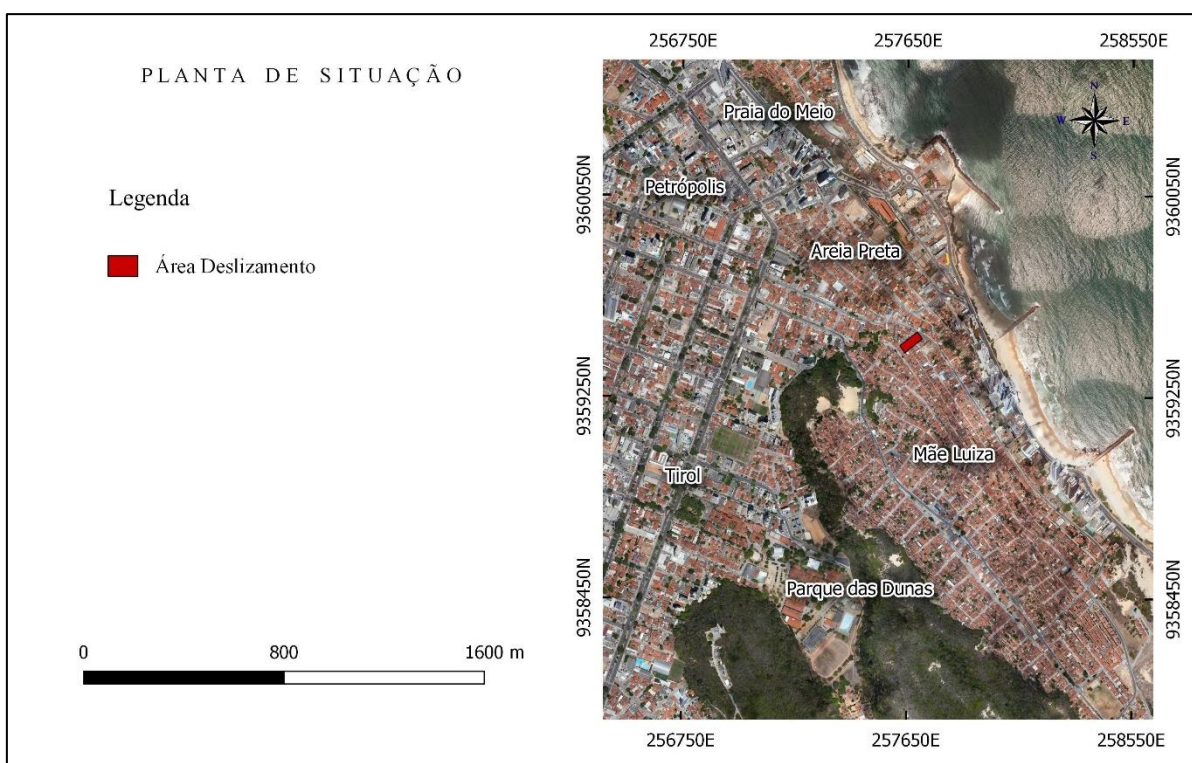
Já em escala internacional, Gokceoglu & Ercanoglu (2004) conferiram a relação das características fisiográficos, tais como: adjacência das áreas avaliadas a falhas geológicas e dobramentos, elementos de curvatura e direção de vertentes, proximidade aos dutos de drenagem pluvial, cobertura vegetal, bem como a influência dos fatores concernentes à ação antrópica, tais como: proximidade a estradas, campos de agricultura. Tal conferencia foi feita por meio do emprego de lógica fuzzy (também conhecido como raciocínio aproximado). Desta forma, elaboraram mapas de suscetibilidade a deslizamentos na região oeste do Mar Negro localizado na Turquia.

Foi feita uma ponderação das camadas geoespaciais em distintos pesos que possam representar à suscetibilidade aos deslizamentos. Os pesos variam de 1 a 10, sendo que o 1 indica uma categoria com baixíssima suscetibilidade, e o 10 indica local em que há maior tendência

ao deslizamento. Essa ponderação consiste na transformação dos mapas temáticos em uma grade numérica, na qual cada categoria do tema analisado recebe um peso (de 1 a 10).

A formação natural de um talude se dá pelas seguintes características: Litologia, clima, estruturação, topografia, geomorfologia e vegetação. Sendo assim, as camadas que resultarão no mapa de risco serão baseadas justamente em algumas dessas características, além de uma camada que terá como informação a presença ou não da ação humana por meio do uso e da ocupação do solo que pode também ser visto na Figura 20.

Figura 20: Planta de situação da área de estudo.



Fonte: Autor

7.2 Ocupações Irregulares

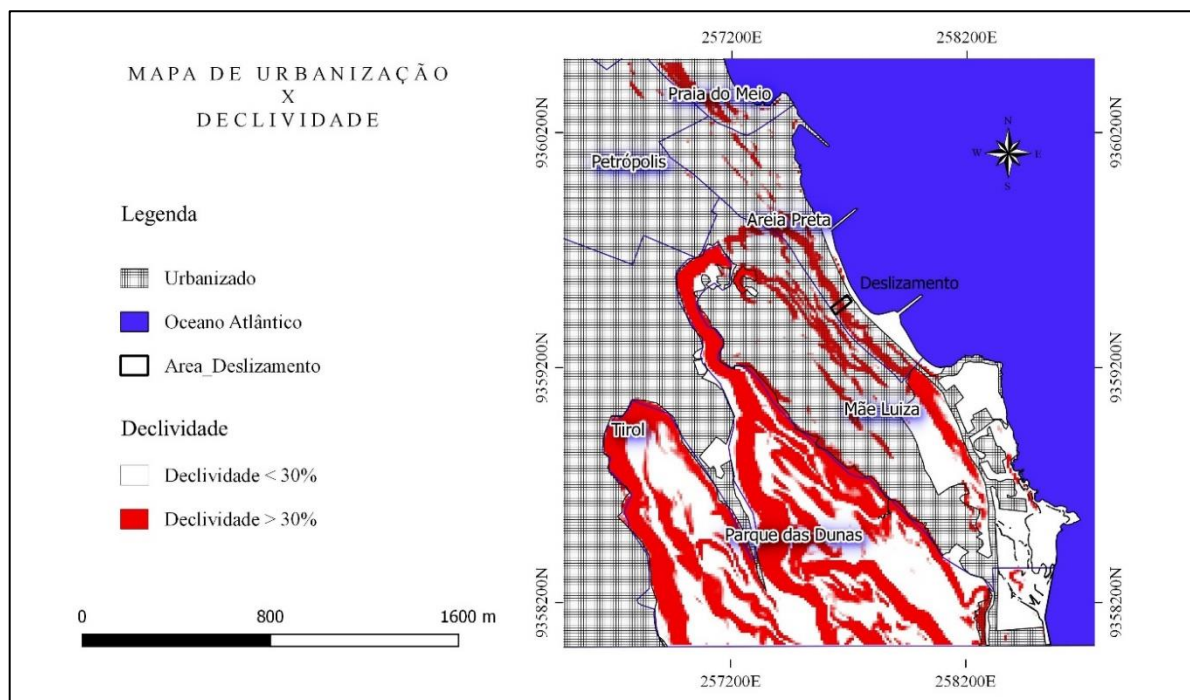
A Lei Federal 6.766 de 19 de dezembro de 1979 (modificada pela Lei Federal nº 9.785/99, de 29/01/1999) dispõe sobre o parcelamento do solo urbano. Esta lei adota como medida não estrutural o impedimento para parcelamento de solo urbano baseado na declividade.

Art. 3º - Somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas ou de expansão urbana, assim definidas por lei municipal.
Parágrafo único - Não será permitido o parcelamento do solo: III - em terrenos com

declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento) salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes

Há medidas não estruturantes para evitar desastres como os deslizamentos de terra que ocorreram em junho de 2014 na cidade de Natal, especificamente na divisa entre os bairros de Areia Preta e Mãe Luiza. A Figura 21 revela os locais onde não poderiam ser construídas edificações, áreas em vermelho. Tais áreas apresentam uma declividade igual ou superior a 30% e, desta forma, não poderiam ter sido objeto de parcelamento de solo, ressalvadas as exigências específicas das autoridades competentes.

Figura 21 : Mapa contendo informações da declividade em função das áreas antropizadas.



Fonte: Autor.

7.3 Topografia

O relevo foi abordado partindo das curvas horizontais, verticais (Figura 24) e da declividade (Figura 23). A curvatura horizontal está relacionada à maneira divergente ou convergente dos fluxos de matéria, seja fluida ou não, sobre o solo quando avaliado em projeção horizontal e está ligada aos procedimentos de migração e acumulação de água, minerais, minérios e matéria orgânica na terra através da superfície, devido à ação da gravidade, e desempenha papel formidável sobre o decorrente balanço hídrico e os processos de pedogênese (VALERIANO, 2003). Já a curvatura vertical faz referência à maneira convexa ou côncava

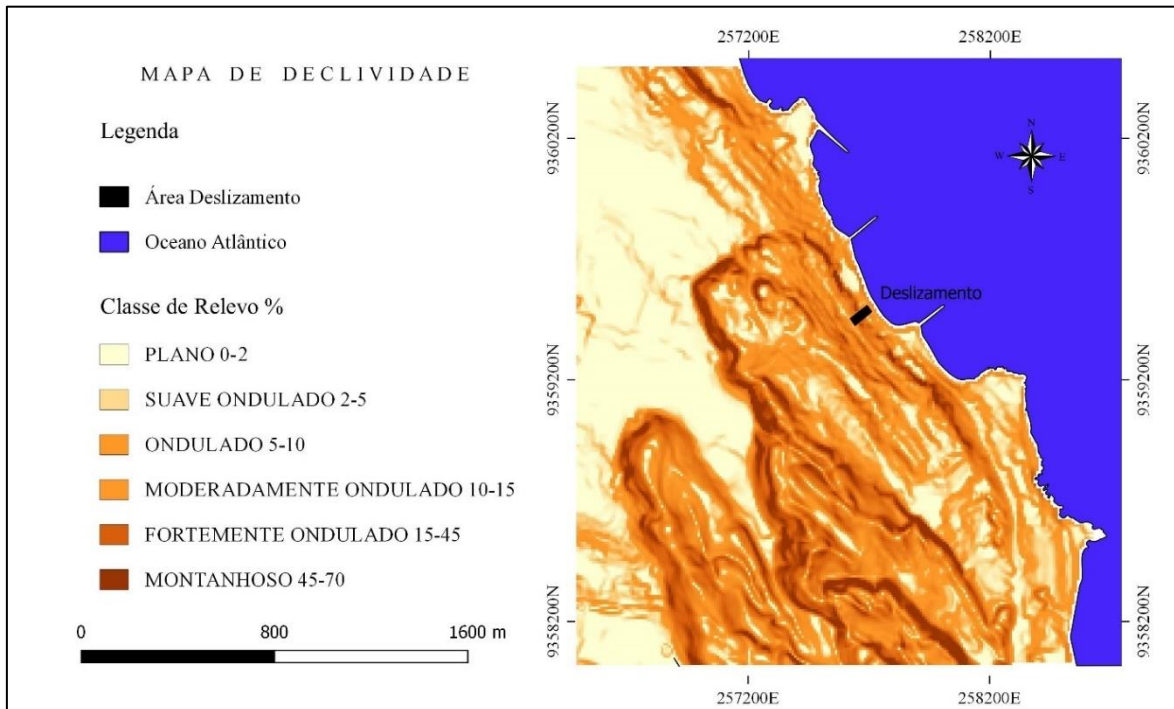
do terreno quando avaliado em perfil transversal e tem relação com os procedimentos de migração e acúmulo de água, minérios, minerais e matéria orgânica no solo, devido à ação da gravidade, realçando áreas de aceleração e desaceleração gravitacional. Sendo a parte convexa com maior tendência aos deslizamentos que a côncava, desta forma receberá pesos com maior valor referentes à suscetibilidade, outrossim terrenos com perfis convergentes apresentam menores riscos de ocorrência de deslizamentos que os divergentes, ganhando, desta forma, os menores pesos para a suscetibilidade. O *shapefile* que contém as curvas de nível foi dividido em 5 categorias, conforme sugestões de Binda e Bertotti (2007), (Figura 22) e o peso atribuído a cada classe é menor, conforme a inclinação diminui. (Figura 27)

Figura 22: Classe de relevo recomendada pela EMPRAPA.

Classe de relevo	Classes de Declividade	
	%	Graus
Plano	0-2	0° a 1°8'45"
Suave ondulado	2-5	1°8'45" a 2°51'45"
Ondulado	5-10	2°51'45" a 5°42'38"
Moderadamente Ondulado	10-15	5°42'38" a 8°31'51"
Forte Ondulado	15-45	8°31'51" a 24°13'40"
Montanhoso	45-70	24°13'40" a 34°59'31"
Escarpado	>70	>34°59'31"

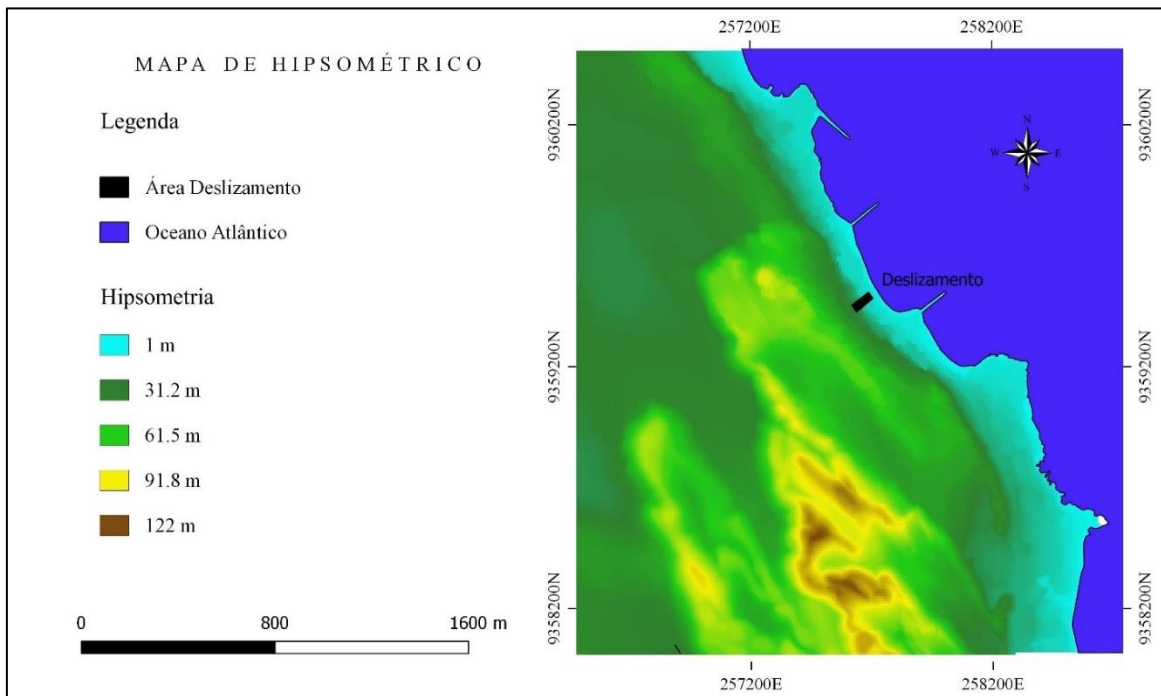
Fonte: LEPSCH, 1983

Figura 23: Mapa de declividade com classificação segundo a EMPRAPA.



Fonte: Autor

Figura 24: Mapa hipsométrico



.Fonte: Auto

7.4 Geologia

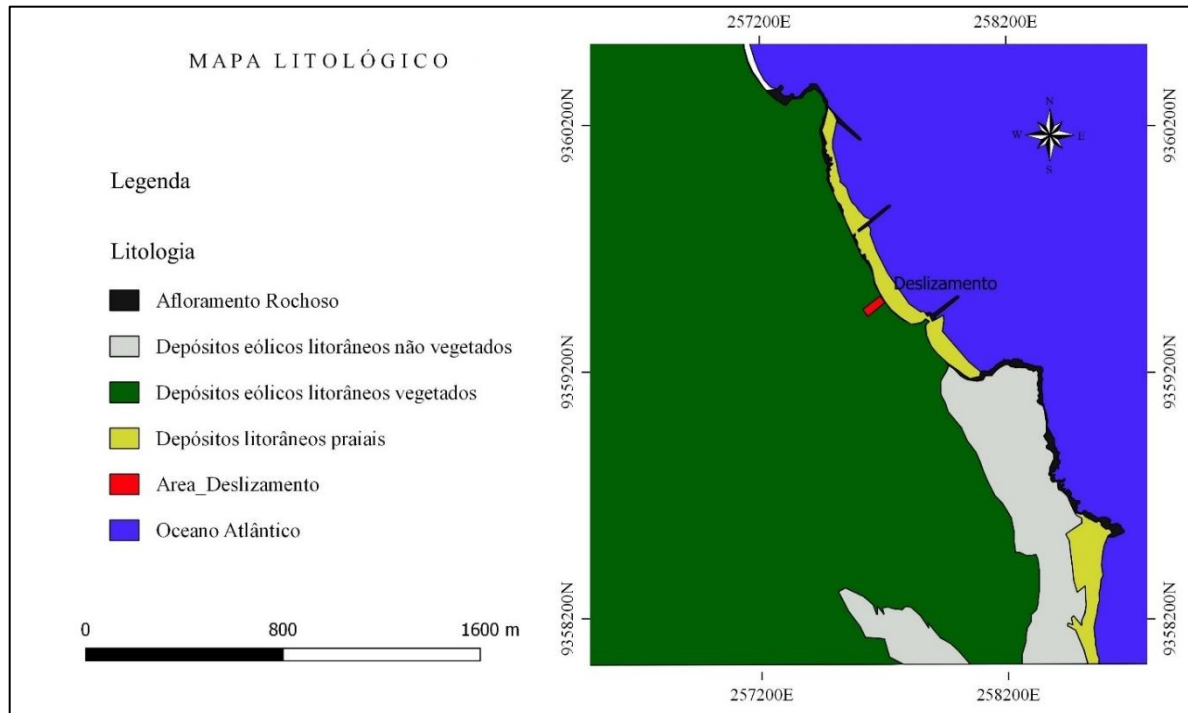
A geologia da região é uma das características que mais condicionam a determinação da suscetibilidade aos movimentos massa (CLERICI et al., 2010), sendo que os mais relevantes são: a composição físico-química das diversas litologias, as propriedades mecânicas do solo, a presença ou não de descontinuidades, bem como o grau de intemperismo

Uma unidade geológica ou geotécnica pode ser conceituada segundo Davison Dias (1995) como sendo uma região desenvolvida por feições ou perfis de solos cujo comportamento geotécnico em relação ao uso e à ocupação do solo mostra-se com um comportamento análogo. Esses territórios semelhantes, cuja finalidade primordial o estabelecimento de diretrizes e orientações de natureza técnica para o uso e a ocupação racional do solo, são concebidas de forma gráfica através de documentos cartográficos designados de mapas geotécnicos.

No caso da característica dos solos, os pesos foram fundamentados partindo-se do pressuposto de que solos com maior percentual de areia tem maior propensão aos deslizamentos de terra que os solos menos arenosos, isso porque solos arenosos são mais permeáveis e não apresentam coesão entre suas partículas constituintes. Tal coesão está ligada diretamente à resistência ao cisalhamento do solo, que, por sua vez, é fator preponderante para ruptura do solo. No caso das areias, a resistência ao cisalhamento pode ser alterada dependendo do grau de compactação do solo, da granulometria, forma e resistência dos grãos bem como o grau de saturação. Já nos solos argilosos, a resistência ao cisalhamento é influenciada principalmente pelo histórico de tensões, grau de adensamento e grau saturação bem como a sensibilidade da argila.

A litologia na área de estudo é predominantemente formada por solos arenosos, conforme Jesus (2012), a Figura 25 denota isso.

Figura 25: Mapa contendo informações sobre a litologia



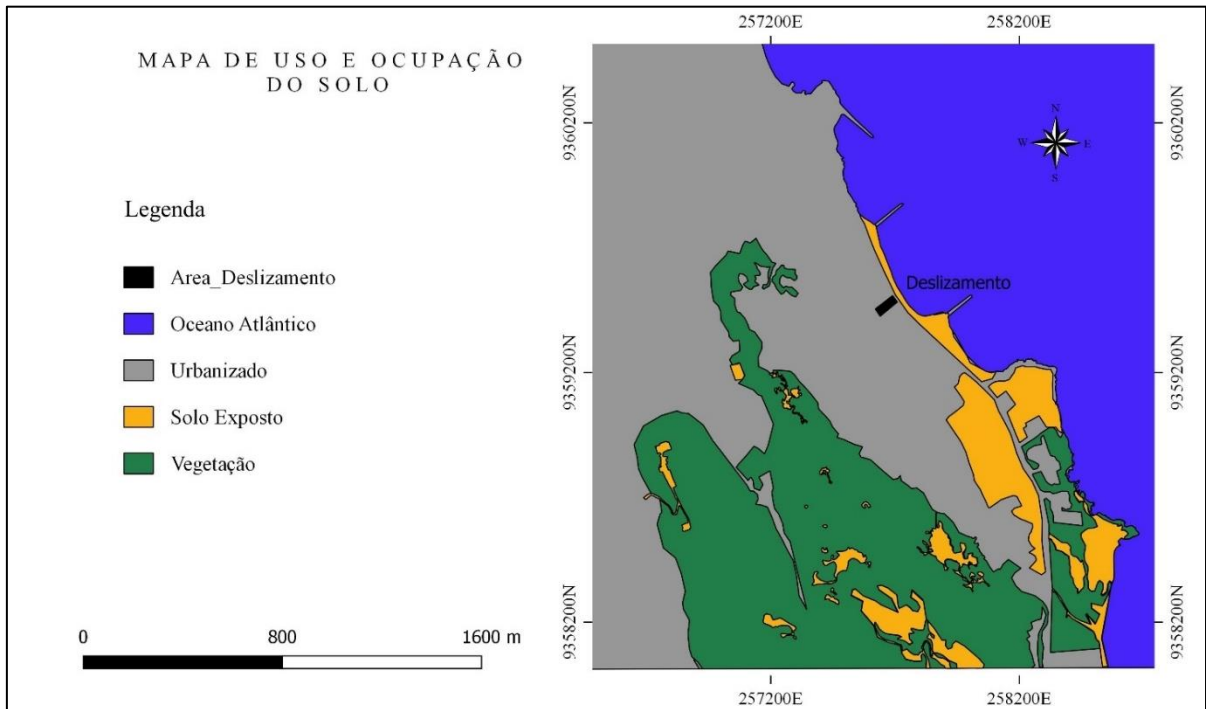
Fonte: Autor

7.5 Uso e ocupação do Solo

Segundo Almendra (2008) os centros urbanos são formidáveis elementos a serem analisados por conceberem o lugar onde a humanidade convive, com suas casas, edifícios, ruas e atividades. Conforme estes autores as edificações no meio urbano são produto da conformação do relevo, uma vez que seguem as formas dos chãos onde as populações se encontram, ocasionando benefícios ou riscos à população, já que que as consequências oriundas do uso e ocupação indevidos do solo proporcionam graves problemas urbanos, como por exemplo, edificações em situação de risco de desmoronamento. (Figura 31)

A criação do mapa de uso e ocupação do solo baseada em análise visual de imagem de satélite está representada na Figura 26.

Figura 26: Mapa contendo informações sobre o uso e a ocupação do solo



Fonte: Autor

7.6 Mapa de Suscetibilidade aos Movimentos de Massa

Esta pesquisa sugere o emprego da avaliação multicritério (Figura 29) auxiliada pelos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) para elaboração de um cenário georreferenciado com suscetibilidade aos movimentos de massas, utilizando-se do método da Combinação Linear Ponderada, pois esse método usa operações de álgebra de mapas e modelagem cartográfica para a representação contínua da paisagem e, desta forma, possibilita o recebimento de pesos pelos fatores de acordo com a importância para estabilidade do solo e a consequente suscetibilidade aos movimentos de massa (ANTONELLO, 2008).

Figura 27: Notas e pesos atribuídos aos respectivos mapas.

DADO	CLASSE	PESO	CLP
LITOLÓGICO Fonte: CPRM	Depósitos litorâneos praias	6	25%
	Afloramento Rochoso	1	
	Depósitos eólicos litorâneos não vegetados	10	
	Depósitos eólicos litorâneos vegetados	4	
TOPOGRÁFICO Fonte: Prefeitura de Natal (Curvas de Nível)	Plano 0% -2%	1	40%
	Suave Ondulado 2%-5%	1	
	Ondulado 5%-10%	1	
	Moderadamente Ondulado 10%-15%	2	
	Fortemente Ondulado 15%-45%	4	
	Montanhoso 45%-70%	10	
HIPSOMÉTRICO Fonte: Prefeitura de Natal (Curvas de Nível)	0-20	5	5%
	20-40	7	
	40-60	8	
	60-80	8	
	80-100	8	
	100-120	9	
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO Fonte: Imagem de satélite	Área Urbana	5	30%
	Vegetação	1	
	Solo Exposto	2	

Fonte: Adaptado de NUNES, 2010.

A classificação de risco foi feita baseada na máxima inclinação natural que solo pode apresentar sem entrar em colapso. Dado que o solo da região analisada é predominantemente arenoso, conforme estudo realizado por Jesus (2012) em sua dissertação de mestrado e sabendo que esses sedimentos são constituídos por areias quartzosas, com grãos subarredondados a subangulosos, bem selecionados, apresentando aspecto maciço, podemos considerar que o ângulo de atrito interno está entre 30° e 47° (Figura 28), tal ângulo equivale a uma inclinação que varia entre 57% e 84%. Sendo assim, adotou-se máxima nota para declividade próxima a esses valores, pois condiciona iminente colapso do solo. E por condicionar iminente colapso do solo foi classificada como “altíssimo risco” o valor numérico 8,45 (CLP das máximas notas). Já regiões com inclinação de até 15%, o maior valor numérico que se pode alcançar é de 5,25, para este valor adotou-se “médio risco”. O valor mais baixo segundo a CLP é de 1,2, sendo este

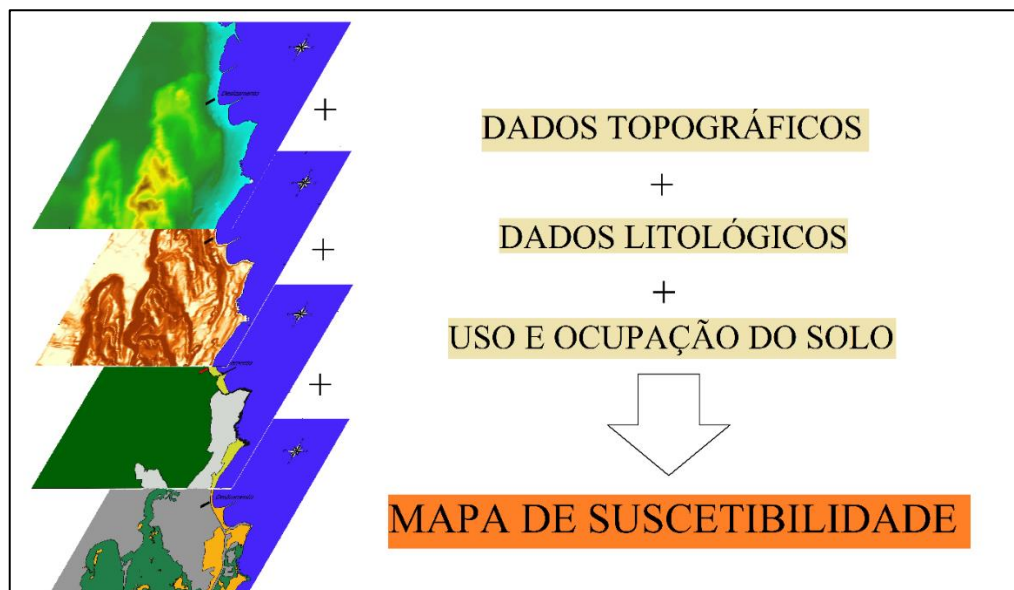
valor associado ao “baixíssimo risco” ou risco nulo de deslizamento. Os demais índices foram compilados do trabalho de Nunes (2010).

Figura 28: Parâmetro geotécnico que tem relação direta com a inclinação natural sem entrar em colapso.

ÂNGULOS DE ATRITO		
Areias bem graduadas	Fofa	Compacta
	arredondados	40°
	angulosos	47°
Areias mal graduadas	Fofa	Compacta
	arredondados	35°
	angulosos	43°

Fonte: Autor.

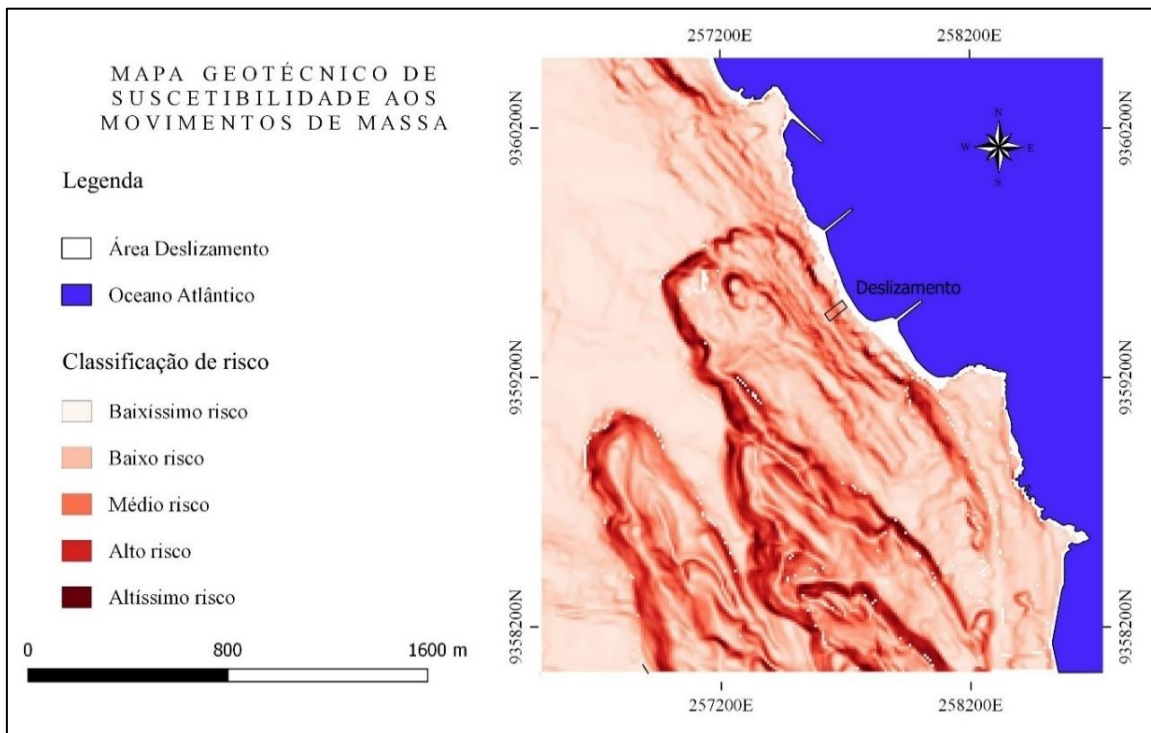
Figura 29: Ilustração esquemática na operacionalização aplicada na álgebra de mapas.



Fonte: Autor.

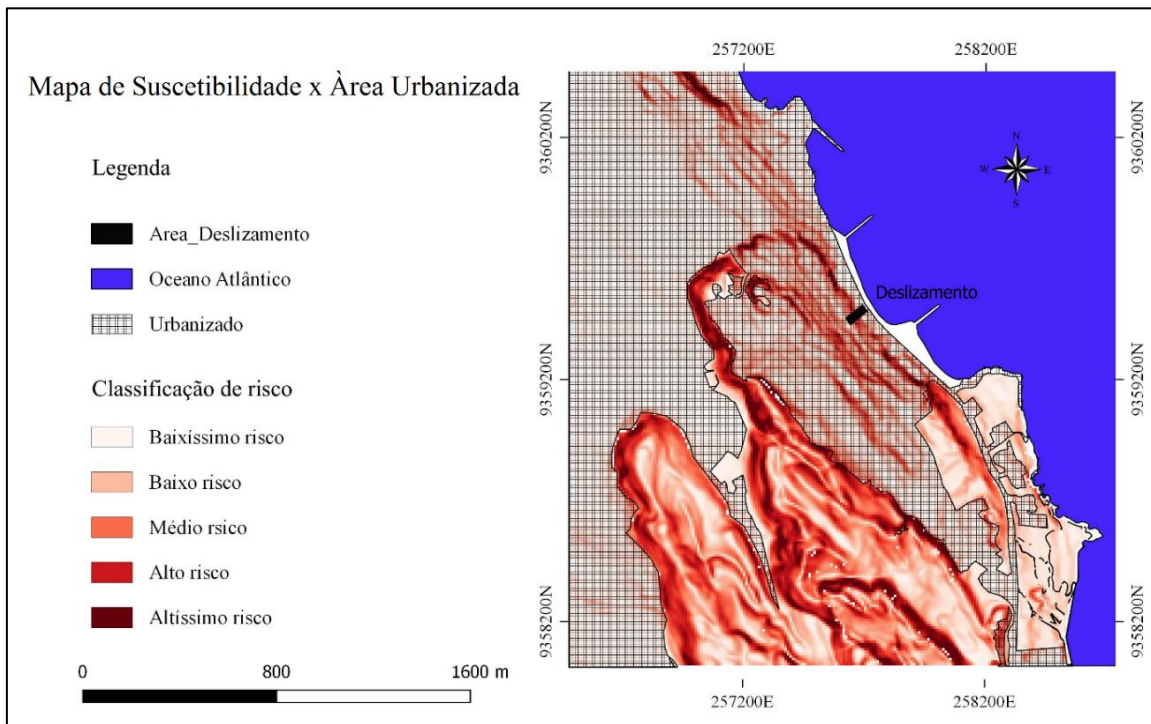
Após o processamento de dados esquematizado na Figura 29, produziu-se o Mapa de suscetibilidade aos Movimentos de Massa (Figura 30), no qual foi possível observar que a área onde ocorreu o deslizamento em junho de 2014 enquadra-se na classe de “alto risco”. Esse Mapa temático pode ser utilizado por gestores municipais para tomada de decisão no que diz respeito ao uso de políticas públicas voltadas à prevenção e mitigação de possíveis novos deslizamentos, como o que ocorreu em junho de 2014.

Figura 30: Mapa de suscetibilidade aos movimentos de massa.



Fonte: Autor.

Figura 31: Mapa com dados da declividade em função das classes de risco aos movimentos de massa.



Fonte: Autor

8 – CONCLUSÃO

Os resultados alcançados nesta pesquisa mostraram que o mapeamento de áreas suscetíveis aos movimentos de massa com a utilização e auxílio de ferramentas de geoprocessamento é, não só possível, como também viável, e isso com apenas a utilização de poucos recursos e variáveis. As vantagens de utilizar-se do geoprocessamento residem no fato de o armazenamento de dados não ser complexo e também no fato de a atualização e reprodução de dados e resultados serem periódicos. Além disso, em qualquer instante da análise as condicionantes podem ser alteradas bem como a ponderação de notas e pesos regulados, possibilitando a geração de panoramas e cenários alternativos. Porém é importante evidenciar que a estimativa das áreas em risco não é uma informação exata e que os resultados alcançados constituem-se em um prognóstico inicial que precisa da qualidade das informações utilizadas, mas que pode ser utilizado por gestores públicos na tomada de decisão dos locais que necessitam de políticas públicas que visam à mitigação da probabilidade de ocorrência de novos desastres como o que ocorreu entre os bairros de Areia Preta e Mãe Luiza em Natal/RN em junho de 2014.

REFERERÊNCIAS

- ALHEIROS M. M., LIMA FILHO M. F. 1991. A Formação Barreiras. In: **Estudos Geológicos**. Revisão Geológica da Faixa Sedimentar Costeira de Pernambuco, Paraíba e Parte do Rio Grande do Norte., Recife, UFPE/CT/DG,1991. p. 77-88.
- ALMENDRA, Fernanda Barbosa; CARVALHO, Pompeu Figueiredo. “**Análise da ocupação do solo urbano em encostas**: estudo de uma área residencial da cidade de Atibaia-SP”. CEAPLA - Centro de Análise e Planejamento Ambiental, IGCE–UNESP, 2008.
- ARAÚJO Filho, J. C. de. Análise das classes de relevo e uso das terras no município de Rio de Janeiro-RJ, utilizando técnicas de geoprocessamento. In: CONGRESSO MUNICIPAL SOBRE GEOTECNIA, 32. **Anais...** Rio de Janeiro, 2014.
- ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa: WDL Publications, 1991. 294p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação -Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação. Rio de Janeiro, 2002
- BANCO MUNDIAL. **Avaliação de perdas e danos: inundações e deslizamentos na região Serrana do Rio de Janeiro – Janeiro de 2011**. Brasília: Banco Mundial; Governo do Estado do Rio de Janeiro, 2012. 59 p.
- BERG, M. d.; Kreveld, M. v.; Overmars, M.; Schwarzkopf, O. **Computacional Geometry: Algorithms and Applications**. 2nd. New York: Springer-Verlag, 2000. 367 p.
- BIGARELLA, J. J, et al. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Editora da UFSC. Florianópolis, 2003. v.3.
- BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 1. ed. Florianópolis: UFSC, 2003. v. 3, 1436 p.
- BINDA, A.L.; BERTOTTI, L.G. Geoprocessamento aplicado à análise da bacia hidrográfica do Rio Cachoeirinha, Guarapuava-PR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 12, 2007. Natal. **Anais...** Natal: UFRN, 2007.
- BRASIL, Ministério de Integração Nacional. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais**, Volume Brasil. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br>>. Acesso em: 10 de abr. 2017.
- BRASIL, Ministério das Cidades. **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Disponível em <<http://www.cidades.gov.br/>> Acesso em: 10 de abr. de 2017.
- BRITO, Mariana Madruga de. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS**. 2014. Monografia

(Graduação em Eng. Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Rio Grande do Sul (UFRRS), Porto Alegre, 2014.

CAVALCANTI C. O., Monteiro. **Depósitos Fluviais e Litorâneos da Formação Barreiras em Duas Áreas-Padrão (Santa Rita e João Pessoa, PB)**. In: Estudos Geológicos. Revisão Geológica da Faixa Sedimentar Costeira de Pernambuco, Paraíba e Parte do Rio Grande do Norte, Recife, 1991.

CLERICI, A.; PEREGO, S.; TELLINI, C.; VESCOVI, P. **Landslide failure and runoff susceptibility in the upper T. Ceno valley (Northern Apennines Italy)**. Natural Hazards, v.52, n. 1, p. 1-29, 2010.

COUTINHO, A. C.; MIRANDA, E. E. DE; MIRANDA, J. R. Mapeamento da superfície terrestre através da utilização do método de segmentação por crescimento de regiões e classificação supervisionada de imagens de satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1998, Santos. **Anais...** São Paulo: 1996.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa: Natal, Rio Grande do Norte, 2017.**

DAVISON DIAS, R (1995). Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais, SP. São Paulo: **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. especial, p.51-55.

DIAS JUNIOR, C. J.; WINS, R.; GIVAT, C. S.; ANDRADE, J. J.; LANGE JUNIOR, F. L. A utilização de imagens de satélite para fins de levantamento da cobertura vegetal dos municípios do estado do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBC/INPE, 1993, v. 2, p. 57-60.

DUARTE, M.I.M. **Mapeamento geológico e geofísico do Litoral Leste do Rio Grande do Norte: Grande Natal (Área I)**. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1995. Relatório de Graduação, 55p.

FERNANDES, N.F.; AMARAL, C.P. (2003), Movimentos de massa uma abordagem geológica geomorfológica. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Eds.) **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, Cap.3, p.123-194.

FILHO, O.A.; WOLLE, C.M. (1996). Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela, SP. São Paulo: ABGE, **Revista Solos e Rochas**, v.19, n.1, p.45-62.

FRAGA, T.C.; NADAL, C.A.; GIUSTI, D.A. **Uma aplicação do reconhecimento automatizado de redes de drenagem utilizando modelo digital de terreno**. In: ANAIS DO COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 3., 2003, Curitiba. Disponível em: <http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/GeoColoq_2003/artigos/T005.pdf>. Acesso: 03 jan. 2007.

HEMPEL, J.W.; HAMMER, R.D.; MOORE, A.C.; BELL, J.C.; THOMPSON, J.A. & GOLDEN, M.L. **Challenges to digital soil mapping**. In: GLOBAL WORKSHOP ON DIGITAL SOIL MAPPING, Rio de Janeiro, 2006. Proceedings. Rio de Janeiro, 2006.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal Digital do Brasil: 2005** (escala 1:500.000). Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/malhas_digitais/municipio_2005/E1000/Proj_Geografica/ArcView_shp/Regiao/Sul/>. Acesso em: 28 jul. 2012.

INFANTI JR, N.; FORNASARI FILHO, N. 1998. Processos de Dinâmica Superficial. In: BRITO, S. N. A., OLIVEIRA, A. M. S. (Ed.) **Geologia de Engenharia**, 1. ed. São Paulo: ABGE. Cap. 9, p. 131-52.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**: Versão revista e ampliada. Brasília: INMET, 2009. 465 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Precipitação Pluviométrica Mensal em Natal/RN, 2017**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/>>. Acesso em: 01 maio de 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Mortes por deslizamentos no Brasil**. Banco de Acidentes. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2014.

JESUS, Ana Patrícia, **Caracterização Geológica, Geomorfológica e Geotécnica de um corpo de dunas na cidade de Natal-RN**, dissertação de mestrado nº 27/PPGG, 2012. p. 22-28.

LEPSCH, I. F. et al **Manual para Levantamento Utilitário no Meio Físico e Classificação de Terras para o Sistema de Capacidade de Uso**. 4ª Aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1983.

LIBAULT, André, **Os quatro níveis da pesquisa geográfica**. Métodos em Questão. (1). São Paulo, 1971.

MANFRÉ, L.A.; SHINOHARA, E.D.; SILVA, J.B.; SIQUEIRA, R.N.D.P.; QUINTANILHA, J.A. Assessment of SVM classification process for landslides identification. In: 10th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, **Anais...** Florianópolis, 2012.

MANFRÉ, L.A.; SILVA, A.M.; URBAN, R.C.; RODGERS, J. Environmental fragility evaluation and guidelines for environmental zoning: a study case on Ibiuna, (southeastern Brazilian region), **Anais...** Ibiuna, 2015.

MANSOURIAN, A.; RAJABIFARD, A.; ZOEJ, V. M. J. SDI conceptual modeling for disaster management. In: WORKSHOP ON SERVICE AND APPLICATION OF SPATIAL DATA INFRASTRUCTURE, XXXVI, 2005, Hangzhou. **Anais...** Göttingen: Copernicus Publications, 2005.

MARANGON, M.; FIGUEIREDO, R. B.; PACHECO, L. C. D. **Anteprojeto para a área de risco do antigo Leito da Leopoldina – Juiz de Fora/MG**. Vol. I. Fundação Centro Tecnológico de Juiz de Fora, 1997.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Lista dos 821 municípios com o maior número de ocorrências de desastres naturais**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/pt/c/document_library/get_file?uuid=51c80bb2-9bf9-41939eb2-1ba2cb2937e2&groupId=10157>. Acesso em: 06 dez. 2013.

MOURA, N. S. V.; DIAS, T. S. **Elaboração do Mapa Geomorfológico do Município de Porto Alegre - RS**. 1. ed. Porto Alegre: UFRS, 2012. v.34, 156p.

NUNES, Pablo Flaeschen. **Geoprocessamento aplicado ao plano de apoio à gestão territorial para as áreas com alto risco de deslizamentos/desmorações das encostas costeiras da Ilha Grande-RJ**. 2010. Monografia (Graduação em Eng. Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2010.

OLIVEIRA, E. L. A.; ROBAINA, L. E. S.; RECKZIEGEL, B. W. Metodologia utilizada para o mapeamento de áreas de risco geomorfológico: bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria – RS. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1., 2004. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Grupo de Estudos de Desastres Naturais; Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

PEREIRA, L. B. F. **Mapeamento geológico, estratigrafia cenozóica e estruturação neotectônica da região costeira entre Ponta Negra e Redinha e estuário do Rio Potengi**. 1999. Relatório de Graduação - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, 1999.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NATAL. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Natal**. Natal (RN): Edição 2007. 59p.

RIO GRANDE DO NORTE, **Anuário estatístico do Rio Grande do Norte**. Natal: Secretaria da Fazenda e do Planejamento/Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte, 1999. 264p.

RODRIGUEZ, Ana Cristina Machado. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados na análise da legislação ambiental no município de São Sebastião (SP), São Paulo**. 2005. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2005.

SANTOS, H. G. (2006), **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p

SARMENTO, E.C.; WEBER, E.; HASENACK, H.; TONIETTO, J. & MANDELLI, F. Topographic modeling with GIS at Serra Gaúcha, Brazil: Elements to study viticultural terroir. In: TERROIRS VITICOLES, 6., Bordeaux, 2006. **Anais...** Bordeaux, ENITA, 2007.

TERZAGHI, K. **Soil mechanics in action**. Civil Engineering. v. 29, n. 2, p. 69-70, 1959

TRIBUNA DO NORTE, **Engenheiros apresentam hoje diagnóstico da área atingida**. Disponível em: <<http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/engenheiros-apresentam- hoje-diagnostico-da-area-atingida/285013>>. Acesso em: 15 de abril de 2017.

TOMINAGA, L. K. et. al. **Desastres Naturais: Conhecer e Prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 192 p.

VALERIANO, M. de M. **Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, 2003.

VANACÔR, R. N. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul**. 2006. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006