

## Carta de Suscetibilidade e Risco a Movimentos de Massa e Eventos Destrutivos de Natureza Hidrogeológica na Região Urbana do Município de Natal - RN

Melquisedec Medeiros Moreira<sup>1</sup>  
Newton Moreira de Souza<sup>2</sup>  
Miguel Dragomir Zanic Cuellar<sup>1</sup>  
Kátia Alves Arraes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Centro Regional do Nordeste – Rua Carlos Serrano, 2073 - 59076-740 - Natal - RN, Brasil  
{melquisedec, miguel, katiarraes}@crn.inpe.br

<sup>1</sup> Universidade de Brasília - UnB/FT  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - 70910-900 - Brasília - DF, Brasil  
nmsouza@unb.br

**Abstract.** One of the most effective analytical tools to mitigate and reduce the destructive effects arising from floods and landslides is the mapping of risk areas. This paper present an geotechnical characterization of geological units, on a scale of 1:25.000, of a coastal area of approximately 62 km<sup>2</sup>, including the city of Natal – RN, whose main objective was the preparation of maps and charts to improve the understanding and the provision of subsidies for environmental management. It was carried out following the methods proposed by the “Guide to Zoning Susceptibility of Hazard and Risk in the International Technical Committee for Landslides (JTC-1)”. The research is being developed from the procedures and assumptions in the program "Building Our City Map Seen from Space", performed by the group of GIS INPE / CRN (Northeast Regional Center). Directives are also suggested to improve the integrated utilization of the water resources of the area and the sensible use of subterranean and surface water. The aquifer Dunas-Potengi, by its very nature lithologic and stratigraphic position, is typically free, with high infiltration rate and good storage conditions and water circulation. The results presented in the Geotechnical Map of Susceptibility and Risk to Mass Movements and Floods evidence regions where occupation should be preceded by studies more detailed.

**Palavras-chave:** GIS, groundwater, landslides, flood, SIG, água subterrânea, deslizamentos de terra, inundação.

### 1. Introdução

Existe hoje uma busca crescente por um espaço urbano em cidades litorâneas e o avanço do homem ocupando áreas consideradas de risco é comum, vindo com outros agravantes, como a má destinação do lixo e das águas pluviais, com conseqüente ampliação dos processos erosivos ao longo da zona costeira.

A drenagem urbana no Brasil tem sido dimensionada com base no princípio abandonado na maioria dos países desenvolvidos onde “a melhor drenagem é a que escoar a água o mais rápido possível”. Este tipo de solução utiliza-se de condutos e canais que aumentam a velocidade para jusante e, em conjunto com a impermeabilização, aumentam as vazões (e a frequência de cheia), a erosão do solo e o aumento das áreas degradadas.

Nos países desenvolvidos a concepção de drenagem mudou nos anos 70 do século passado para medidas de amortecimento como detenção e retenções, que são pequenos reservatórios urbanos que:

- (a) Reduzem as vazões máximas aos níveis que permite escoar pelo canais existentes, naturais ou construídos;
- (b) reduzem a velocidade do escoamento, dissipando sua energia e evitando erosão e degradação a jusante;
- (c) permitem a melhoria da qualidade da água pluvial.

Algumas cidades brasileiras construíram detensões nos últimos anos, principalmente a região Metropolitana de São Paulo. Outras cidades como Curitiba, Porto Alegre, Belo

Horizonte, Maceió e Natal também tiveram detenções construídas em diferentes cenários. As principais dificuldades preliminarmente identificadas têm sido:

- (a) Projetos inadequados que não integram a obra a paisagem da cidade, o que dificulta a aceitação da população;
- (b) Degradação ambiental devido ao Lixo e esgoto sanitário e assoreamento dos reservatórios são os principais problemas;
- (c) Falta de entendimento da população dos benefícios do projeto;
- (d) Falta de uma avaliação econômica dos projetos quanto aos custos reais e de manutenção em detrimento das outras soluções.

A execução deste estudo consistiu de uma caracterização geológico-geotécnica e de um reconhecimento da drenagem de uma área costeira de aproximadamente 62 km<sup>2</sup>, compreendendo parte do Município de Natal-RN, cujo objetivo principal será a elaboração de mapas e cartas visando um melhor entendimento e o fornecimento de subsídios para a gestão ambiental. Será realizado também um levantamento amostral das detenções e retenções existentes na cidade, avaliação do funcionamento dos dispositivos e recomendações para servirem de base para futuros projetos dentro da realidade brasileira.

O mesmo está sendo desenvolvido a partir dos procedimentos e premissas do Manual para o Zoneamento de Susceptibilidade de Perigo e Risco do Comitê Técnico Internacional para Deslizamentos (JTC-1) inseridos no programa “Construindo Nosso Mapa Municipal Visto do Espaço”, realizado pelo grupo de Geoprocessamento do INPE/CRN. Nesta linha de pesquisa, procura-se integrar estudos relacionados às alterações geomorfológicas, provocadas pelas diferentes formas de ocupação do relevo, configurando-se na formação de depósitos tecnogênicos. Consistiu de trabalhos de escritório, de campo e de laboratório e recursos computacionais para o armazenamento e tratamento dos dados de investigação que compreendem recursos de geoprocessamento. Estes recursos, confirmando as expectativas de Souza (1994), poderá agilizar e viabilizar as atividades de levantamento, análise, finalização e posteriores atualizações das informações espaciais.

## **2. Metodologia de trabalho**

### **2.1 Área do Estudo Proposto e Geologia Regional**

O Município de Natal está localizado no Litoral Oriental do Rio Grande do Norte, entre os paralelos 36°42'53" e 37°15'11" de latitude sul e entre os meridianos 38° 35'52" e 34°58'03" de longitude oeste (Figura 1).

A área de mapeamento está inserida na faixa sedimentar costeira oriental do Estado do Rio Grande do Norte, no contexto da sub-bacia Natal, pertencente à Bacia Pernambuco-Paraíba e Potiguar, Barbosa (2004) (Figura 2).

Na região adjacente à área de estudo, o embasamento cristalino é constituído por três terrenos distintos denominados, de norte para sul, de Terreno São José do Campestre, Terreno Alto Pajeú e Terreno Alto Moxotó, Santos (1996). Esses terrenos são delimitados por grandes lineamentos e zonas de cisalhamento com direção predominantemente leste-oeste. Provavelmente, essas estruturas estendem-se sob a Formação Barreiras e sob os sedimentos cretáceos e paleogênicos das Bacias Pernambuco-Paraíba e Potiguar, adentrando pela margem continental adjacente.

### **2.2 Carta de Declividade**

A carta de declividade foi elaborada a partir do mapa topográfico no SPRING, sendo efetuado um fatiamento do MNT declividade, apresentando faixas em termos percentuais, de 0 a 3, de 3 a 8, de 8 a 20 e maior que 20 (Figura 3).

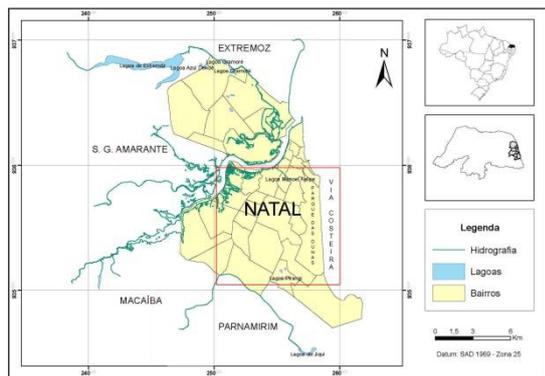


Figura 1. Localização aproximada da área de estudo destacada no retângulo.

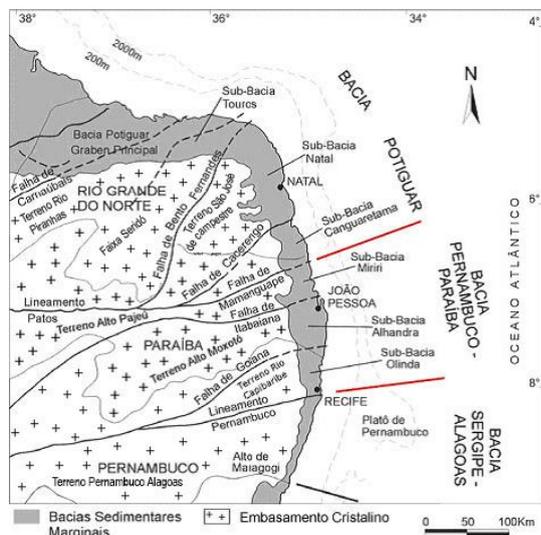


Figura 2. Localização das Bacias Sedimentares Costeiras Pernambuco-Paraíba e Potiguar e sua divisão em sub-bacias. Modificado de Barbosa (2004).

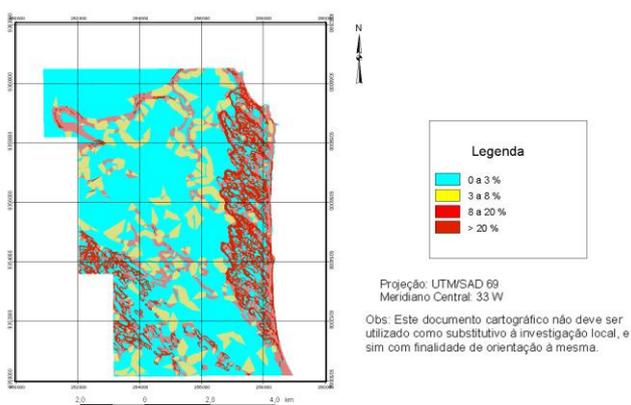


Figura 3. Carta de Declividade, apresentando faixas em termos percentuais, de 0 a 3, 3 a 8, 8 a 20 e maior que 20.

### 2.3 Mapa de Materiais Inconsolidados

No que diz respeito aos aspectos geológicos, a área objeto de estudo constitui-se de nove unidades, sendo oito aflorantes e uma de idade mesozóica, detectada apenas em perfis de poços de captação de águas subterrâneas, representada por arenitos calcíferos e calcáreos,

correlatos à Formação Guimarães da Bacia Potiguar. A unidade aflorante mais antiga consiste dos sedimentos da Formação Barreiras, seguido dos sedimentos da Formação Potengi e “*Beach-rocks*”. Completando a estratigrafia da área (Figura 4), têm-se os sedimentos de mangues e aluvionares, as areias de dunas descaracterizadas, dunas fixas e móveis, e os sedimentos praias; este último juntamente com os “*beach-rocks*” não são mapeáveis na escala do presente estudo (Figura 5).

A Formação Potengi, na região de Natal, caracteriza-se por uma fácies arenítica, de granulometria mal selecionada, de cor avermelhada, e caracteriza-se por apresentar materiais residuais com pouca argila devido à lixiviação intensa, Moreira (1996).

Os sedimentos de mangues são encontrados ao longo da planície de inundação do rio Potengi e consistem de areias finas argilosas e localmente argilas de cor cinza clara; observa-se ainda a presença de grande quantidade de bioclastos recentes. Sob esses sedimentos verificou-se a ocorrência de sedimentos aluvionares de coloração acinzentado a esbranquiçado, de granulometria areia fina a média.

ERA	PERÍODO	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	
C E N O Z O I C A	QUATERNÁRIO	Sedimentos de mangue - Sedimentos praias - Dunas móveis	Sedimentos aluvionares
		Arenitos praias (“ <i>Beach rocks</i> ”) - Dunas fixas - Dunas arrasadas	
	Formação Potengi		
	TERCIÁRIO	Formação Barreiras	
M E S O Z O I C A	CRETÁCEO	Formação Guimarães	

Figura 4. Coluna estratigráfica proposta para a área mapeada. Modificada de Duarte (1995).

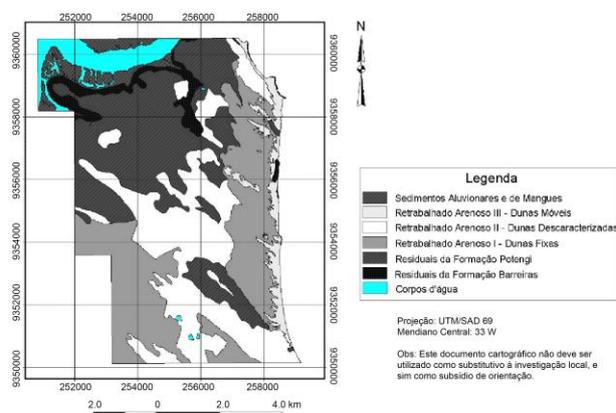


Figura 5. Mapa de Materiais Inconsolidados.

As dunas descaracterizadas compreendem áreas testemunhos de antigas dunas, que foram parcialmente destruídas por atividades de terraplanagem com fins de ocupação urbana. São caracterizadas por areias finas a médias amareladas, cremes, avermelhadas, localmente acinzentadas a marrom, quartzosas, com minerais máficos.

As dunas fixas são depósitos eólicos com cobertura vegetal, distribuindo-se numa faixa paralela ao litoral, apresentando direção predominante SE-NW; consistem de areias quartzosas de coloração amarelada e branca com boa seleção granulométrica entre areia média e fina.

As dunas móveis, compreendem os depósitos provenientes da ação eólica nos sedimentos praias, caracterizados por areias quartzosas bem selecionadas, brancas, amareladas a cremes, localmente acinzentada a marrom (devido à matéria orgânica), granulometria média a fina,

sendo evidenciado que localmente e superficialmente ocorrem grãos de tamanho de areia grossa e grânulos.

No Município de Natal existem três (03) sistemas aquíferos, Moreira (2002), assim distribuídos, da base para o topo: o primeiro formado por arenitos com cimento carbonático (“arenitos calcíferos”), geralmente compactos, que constituem o Aquífero Infra-Barreiras; o segundo, constituído por clásticos continentais, com granulometria e cores variáveis pertencentes à Formação Barreiras, caracterizando o Aquífero Barreiras e, por fim, uma sequência arenosa pertencente à Formação Potengi sendo capeada por areias quartzosas, de granulometria fina e de origem eólica (Dunas) que formam o Aquífero Dunas-Potengi.

## 2.4 Mapeamento de Risco

O Programa de Redução de Riscos, Ministério das Cidades (2007), propõem uma metodologia para mapeamento de áreas de risco de enchentes e inundações elaborado pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica - IPT - que segue os seguintes passos: a) identificação e delimitação preliminar de área de risco em fotos aéreas de levantamentos aerofotogramétricos, imagens de satélite, mapas, guias de ruas, ou outro material disponível compatível com a escala de trabalho; b) identificação de área de risco e de setores de risco (setorização preliminar) em fotos aéreas de baixa altitude (quando existir); c) levantamentos de campo para setorização (ou confirmação, quando existir a pré- setorização), preenchimento da ficha de cadastro e uso de fotos de campo. Após o zoneamento de áreas de risco a inundação, bem como a produção de informações de diagnósticos e prognósticos levantadas pelo estudo, os dados podem ser utilizados pelo poder público no sentido de apoio a regulamentação das áreas de risco a inundação. Estes elementos devem estar contidos no Plano Diretor da Cidade já que a ordenação do processo do uso e ocupação do solo urbano é uma atividade de competência municipal.

Há vários enfoques para se chegar a um mapeamento de riscos de escorregamentos. Cada país, e, dentro de cada país, cada grupo, adota metodologias semelhantes, mas com detalhes que as diferenciam, dando produtos às vezes bastante diferentes.

Foi com o intuito de padronizar uma metodologia que pudesse ser adotada universalmente que o Comitê Técnico Unificado de Escorregamentos de Terra e Taludes de Engenharia (JTC1 – “*Joint Technical Committee 1 – Landslides and Engineered Slopes*”, da ISSMGE, IAEG e ISRM) decidiu firmar um documento, com o consenso de especialistas das três entidades internacionais – de Mecânica dos Solos, de Geologia de Engenharia e de Mecânica das Rochas -, que definisse os passos a serem tomados em um Mapeamento de Risco. Desta forma, elaborou-se um “Manual para o zoneamento de susceptibilidade de perigo e risco de deslizamento para o planejamento de uso do solo”, Fell et al. (2008), que foi publicado em um número especial da revista *Engineering Geology* juntamente com vários outros artigos nesta mesma temática.

O manual reconhece que existe uma necessidade crescente de princípios quantitativos de gerenciamento de risco que requerem o uso de métodos quantitativos para zoneamento de risco e de perigo de deslizamento para uso de entidades governamentais. Isto permite que seja feita a comparação dos mesmos com outros perigos e riscos e com os critérios de tolerância à perda de vidas. Graças aos desenvolvimentos mais recentes em técnicas de captação de dados (sensoriamento remoto), SIG e melhorias metodológicas, nós temos agora um conjunto de ferramentas que torna o zoneamento de risco quantitativo mais viável.

Visando a assistir o avanço do zoneamento de susceptibilidade de deslizamento, perigo e risco, o JTC-1, preparou o presente manual. Estas normas fornecem:

- Definições e terminologia para uso internacional.
- Descrição dos tipos e níveis de zoneamento de deslizamentos.

- Orientação sobre os locais onde são necessários o zoneamento de deslizamentos e o planejamento de uso do solo levando em conta os deslizamentos.
- Definições de níveis de zoneamento e escalas sugeridas para mapas de zoneamento.
- Orientação sobre a informação requerida para diferentes níveis de zoneamento levando em conta os vários tipos de deslizamentos.
- Orientação sobre confiabilidade, validade e limitações dos métodos.
- Conselhos sobre as qualificações necessárias das pessoas que realizam o zoneamento de deslizamentos e conselhos sobre a preparação de um relatório para consultores conduzirem o zoneamento de deslizamentos e planejamento de uso do solo.

## 2.5 Método de Trabalho

O trabalho de pesquisa apresentado consta de diferentes fases nas quais, através dos procedimentos e premissas do Manual para o Zoneamento de Suscetibilidade de Perigo e Risco do Comitê Técnico Internacional para Deslizamentos (JTC-1), se busca obter subsídios para o desenvolvimento dos tópicos propostos de modo a atingir os objetivos do estudo.

A execução do trabalho compreende cinco etapas a saber, que são descritas a seguir: A) Levantamento e aquisição de informações pré-existentes e produtos de sensoriamento remoto; B) Fotointerpretação e estudo de perfis de poços e de sondagens geotécnicas; C) Etapa de campo; D) Etapa de ensaios de laboratório e campo; E) Etapa de confecção de mapas e cartas, e elaboração do texto final.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Carta de Suscetibilidade e Risco a Movimentos de Massa e Inundações

Na elaboração da Carta de Suscetibilidade e Risco a Movimentos de Massa e Inundações (Figura 6), avaliaram-se os seguintes atributos: tipo de material inconsolidado, características do substrato geológico, características geomorfológicas, profundidade do nível d'água do aquífero Dunas-Potengi, existência de esgotos domésticos e Carta de Declividade, onde se constata que boa parte da área de Natal apresenta Risco a Inundações médio e alto.

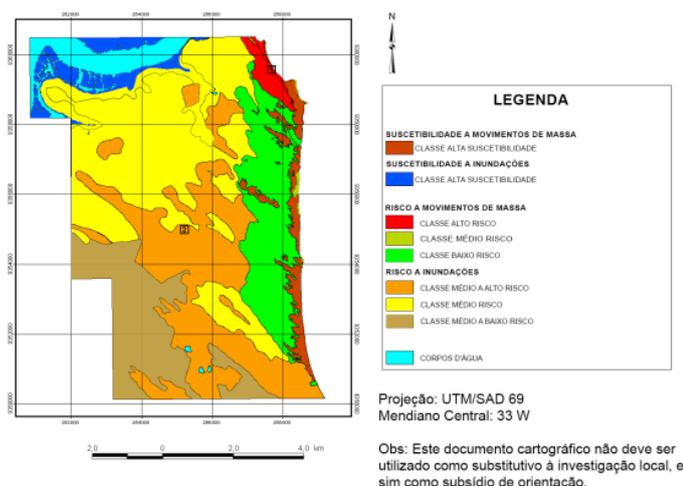


Figura 6. Carta de Suscetibilidade e Risco a Movimentos de Massa e Inundações. Notar Área 1, que corresponde à localização da Figura 8a e a área 2, que corresponde à localização da Figura 8b.

Foram mapeadas duas áreas que correspondem a Alta Suscetibilidade, a área “Alta Suscetibilidade a Movimentos de Massa” correspondente as dunas móveis, que se distribui numa faixa paralela ao litoral, apresentando declividades em termos percentuais variando de 3

a 8% e maior que 20%, e a área “Alta Suscetibilidade a Inundações” no vale aluvial, correspondente aos sedimentos de mangue na região adjacente ao rio Potengi. Em ambos os casos não há correspondência com Alto Risco, em virtude da ausência de Habitações Precárias.

Destacam-se com menor Risco a Movimentos de Massa os setores leste (depósitos de dunas fixas – “Baixo Risco”) (Figura 7), correspondendo aos depósitos de dunas fixas que se encontram recobertos naturalmente por vegetação, ocorrendo ao longo de toda a faixa leste da área, ocupando as porções mais elevadas da estratigrafia local, chegando a atingirem cerca de 120m de altitude. Os materiais residuais da Formação Potengi, com declividades > que 8%, onde esses são encontrados com elevado grau de coesão e consolidação e alta porcentagem de finos, são classificados como “Médio Risco a Movimentos de Massa”. Sendo a área “Alto Risco a Movimentos de Massa”, correspondente as dunas móveis ocupadas por Habitações Precárias, que distribui-se numa faixa paralela ao litoral na Região de Mãe Luiza, apresentando declividades em termos percentuais variando de 3 a 8% e maior que 20%. Recentemente na tarde de sexta-feira 13 de junho de 2014, a Cidade de Natal-RN, foi palco de um deslizamento de solo no extremo Norte dessa área de “Alto Risco”, mais precisamente na região de Areia Preta e Mãe Luiza (Figura 8a), a estimativa é de que tenham escorregado em direção ao mar cerca de 5.000 m<sup>3</sup> ou 10.000 toneladas de uma corrida de lama e detritos, nessa área geotecnicaamente instável. No dia 14 de junho um novo deslizamento foi registrado, dezenas de casas foram atingidas e desabaram, a água deslocou mais de 30.000 m<sup>3</sup> de material.

No geral o Risco a Inundações é menor nas áreas de tabuleiros (“Médio Risco”), e aumenta no sentido das Dunas Descaracterizadas (“Médio a Alto Risco”). Destacam-se com menor Risco a Inundações, o Setor Sudoeste (San Vale – “Médio a Baixo Risco”). A espessura da zona não saturada é variável. Nas zonas de relevo mais elevado, de cotas superiores a 40m, que corresponde às regiões principais de recarga (Dunas do Setor Sudoeste - San Vale), as espessuras são superiores a 15 metros, enquanto que nas depressões, cujas cotas são inferiores a 30 metros, as espessuras da zona não saturada são da ordem de 3 a 8 metros. Quanto mais próxima da superfície do terreno está à superfície freática, tanto maior é o Risco a Inundações (Figura 8b).



Figura 7. Depósitos de Dunas Fixas – “Classe Baixo Risco a Movimentos de Massa”.



a)



b)

Figura 8. (a) Deslizamento de solo abriu cratera comprometendo 34 casas (Mãe Luiza). Classe Alto Risco a Movimentos de Massa. (b) Inundações no entorno do Arena das Dunas, no dia 13 de Junho (estréia na Copa do Mundo de 2014). Classe Médio a Alto Risco a Inundações.

Nas áreas de dunas do setor sudoeste (área “Médio a Baixo Risco”) os Riscos a Inundações são menores, tendo em vista a menor vulnerabilidade associada a níveis d’água, em geral de 15 metros.

A área “Médio Risco” apresenta uma maior distribuição espacial no setor centro norte, com espessuras da zona não saturada da ordem de 8 a 15 metros, e inclusive demonstra um aspecto litológico mais argiloso, como constatado em campo através de afloramentos dos materiais residuais das Formações Barreiras e Potengi nas escarpas do riacho do Baldo, evidenciando a ocorrência de arenitos avermelhados argilosos e argilas arenosas, semi-consolidados.

#### 4. Conclusões

O aquífero Dunas-Potengi, por sua própria natureza litológica e posição estratigráfica, é tipicamente livre, com alta taxa de infiltração e boas condições de armazenamento e circulação de água. Durante ou após a estação chuvosa, as dunas mostram-se saturadas em água, com exposição da superfície piezométrica da unidade aquífera Dunas-Potengi na forma de lagoas, podendo causar inundações. Desta forma, sugere-se a infiltração das águas pluviais nos próprios lotes, para que as consequências da urbanização não sejam transportadas para jusante, sendo realizado seu controle na fonte. Também se pode utilizar reservatórios de detenção, associados a superfícies de infiltração em lotes, possibilitando a redução de vazões de pico a valores compatíveis com os encontrados antes da urbanização.

Os resultados apresentados na Carta de Suscetibilidade e Risco sintetiza um suporte técnico para o planejamento das ações governamentais de controle e proteção dos aquíferos, na medida em que identifica e representa o zoneamento cartográfico de áreas mais susceptíveis de um evento antrópico que possa causar um deslizamento ou inundação.

#### Referências Bibliográficas

Barbosa, J. A. **Evolução da Bacia Paraíba durante o maastrichtiano-paleoceno – Formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil**. Dissertação Mestrado, Centro de Tecnologia e Geociências, UFPE, Recife. 2004.

Duarte, M. I. de M. **Mapeamento Geológico e Geofísico do Litoral Leste do RN: Grande Natal (Área 1)**, 1995. Rel. Grad, UFRN-DG. (Inédito). 1995.

Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E. & Savage, B. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. **Engineering Geology** 102, pp. 85-98. Strategy for Disaster Reduction (ISDR). Secretariat. 2008.

MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura – organizadores, Brasília - DF. 2007.

Moreira, M. M. **Mapeamento Geotécnico do Município de Natal-RN e Áreas Adjacentes**, 1996. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-028A/96, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília-DF. 148p. 1996.

Moreira, M.M. **Mapeamento Geotécnico e Reconhecimento dos Recursos Hídricos e do Saneamento da Área Urbana do Município de Natal- RN: Subsídios para o Plano Diretor**, 2002. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-11A/2002, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 282 p. 2002.

Santos, E. J. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema, 1996. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 39, Salvador, **Anais**, 6:47- 50. 1996.

Souza, N. M. **Contribuição à cartografia geotécnica com uso de geoprocessamento: sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas**. Tese de Doutorado, EESC/USP, São Carlos - SP. 2 V., 189p. 1994.