

Carta Geotécnica de Suscetibilidade a Processos Geológicos e Risco Potencial a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações na Área Urbana de Natal-RN

Melquisedec Medeiros Moreira

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações – MCTIC INPE CRN, Natal-RN, Brasil, melquisedec@crn.inpe.br

Newton Moreira de Souza

Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília-DF, Brasil, nmsouza@unb.br

Miguel Dragomir Zanic Cuellar

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE CRN, Natal-RN, Brasil, miguel@crn.inpe.br

Kátia Alves Arraes

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE CRN, Natal-RN, Brasil, katiarraes@crn.inpe.br

RESUMO: A execução deste estudo consistiu de uma caracterização geológico-geotécnica em escala 1:25.000 e de um reconhecimento da drenagem de uma área costeira de aproximadamente 62km², compreendendo parte do Município de Natal-RN. O mesmo foi desenvolvido a partir dos procedimentos e premissas do Manual para o Zoneamento de Suscetibilidade de Perigo e Risco do Comitê Técnico Internacional para Deslizamentos (JTC-1) inseridos no programa “Construindo Nosso Mapa Municipal Visto do Espaço” do MCTIC/INPE/CRN. A análise dos perfis de sondagens geotécnicas e de poços revelou a presença de uma sequência de níveis de argilas, com espessuras variáveis. Desta forma, na área foram definidos dois sistemas aquíferos: Dunas-Potengi, que é tipicamente livre, com alta taxa de infiltração, e Barreiras, que apresenta um comportamento, na grande maioria, sob condições de semi-confinamento. A região de Mãe Luiza onde ocorreu o deslizamento das dunas descaracterizadas por concentração de fluxo, compreende uma área inadequada para a ocupação em termos geológico-geotécnicos. Os resultados apresentados na Carta Geotécnica de Suscetibilidade e Risco Potencial sintetiza um suporte técnico para o planejamento das ações governamentais de controle e proteção da população e infraestruturas urbanas e dos recursos naturais.

PALAVRAS-CHAVE: Deslizamentos de Terra, Inundações, Sensoriamento Remoto, Cartografia Digital, SIG, JTC-1.

1 INTRODUÇÃO

A execução deste estudo consistiu de uma caracterização geológico-geotécnica e de um reconhecimento das águas subterrâneas, em escala de semi-detalle 1:25.000, de uma área costeira de aproximadamente 62 km², compreendendo parte do Município de Natal-RN, cujo objetivo principal foi a elaboração de

mapas e cartas visando um melhor entendimento e o fornecimento de subsídios para a gestão ambiental.

O Programa de Redução de Riscos (Ministério das Cidades, 2007), propõe uma metodologia para mapeamento de áreas de risco de 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.

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. Esse texto foi traduzido e publicado no Brasil pela CPRM/ABGE/ABMS (Macedo & Bressani, 2013).

A presente pesquisa está sendo desenvolvida a partir dos procedimentos e premissas deste 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 MCTIC (Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações)/ INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) /CRN (Centro Regional

do Nordeste), podendo ser consultado no link: <http://www.geopro.crn2.inpe.br/resumo3.htm>.

Nesta linha de trabalho, 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 poderão agilizar e viabilizar as atividades de levantamento, análise, finalização e posteriores atualizações das informações espaciais (Souza, 1994).

2 METODOLOGIA DE TRABALHO

O trabalho de pesquisa apresentado consta de diferentes fases nas quais, se busca obter subsídios para o desenvolvimento dos tópicos propostos de modo a atingir os objetivos do estudo. A execução do trabalho compreendeu cinco etapas descritas a seguir:

A) Levantamento e aquisição de informações pré-existentes e produtos de sensoriamento remoto - Consistiu no levantamento de informações disponíveis da área a ser estudada, abrangendo as folhas planialtimétricas na escala 1:10.000 que foram utilizadas como bases cartográficas, aquisição das fotografias aéreas em escala 1:8.000, perfis de sondagens SPT, perfis litológicos de poços de captação de água subterrânea (cedidos por uma empresa pública e por uma privada), além de inúmeros trabalhos e artigos que englobam a geologia, geografia, geotecnia e recursos hídricos da região.

B) Fotointerpretação e estudo de perfis de poços e de sondagens geotécnicas - Consistiu na interpretação de 88 fotografias aéreas datadas de 1978 em escala 1:8.000, com a confecção dos mapas seguintes: drenagem, lineamentos de relevo e zonas homólogas; e no estudo de 111 relatórios referentes a serviços geotécnicos para obras de construção civil, que perfaz um total de 433 perfis de sondagens SPT cedidos pela empresa privada, onde foram delimitados

diferentes horizontes geológicos e suas espessuras.

Interpretou-se, da mesma forma, 89 perfis de poços de captação de águas subterrâneas, sendo 69 perfis cedidos pela empresa pública e 20 cedidos pela empresa privada, assim como 74 sondagens geotécnicas (compreendendo 25 relatórios referentes a serviços geotécnicos para obras de construção civil) que atingiram o nível d'água, executados junto a empresa privada, onde foram delimitados os diferentes horizontes geológicos, suas espessuras e nível d'água, para um melhor conhecimento do comportamento das unidades geológicas e hidrogeológicas em sub-superfície.

Esses dados, assim como a metodologia de interpretação e resultados obtidos, serão apresentados e discutidos no item referente ao Aquífero Dunas-Potengi (3.1).

A localização dos poços tubulares e sondagens geotécnicas, que atingiram o nível d'água, com latitudes/longitudes e altitudes efetivou-se a partir de bases planialtimétricas na escala 1:2.000. Essa localização teve como finalidade obter informações sobre a distribuição espacial desses dados na área estudada, bem como ter subsídios para definir a cota da boca do poço ou sondagem, que serviu para obtenção da cota do nível d'água.

C) Trabalhos de Campo - Compreendeu a descrição detalhada de diversos locais ao longo da área, objetivando as definições das unidades litológicas, suas relações de contato e atributos estratigráficos/ geomorfológicos/ estruturais, como também aspectos do uso e cobertura do solo, cadastro de fontes potenciais de poluição dos recursos hídricos, lagoas de águas pluviais e pontos de inundação; envolvendo ainda medição de juntas, falhas, determinação das espessuras dos materiais, registro fotográfico, coleta de amostras, perfis e croquis esquemáticos, e, por último, a definição de pontos de ensaios de campo.

Acompanhou-se a execução de sondagens geotécnicas e perfuração de poços tubulares construídos pela empresa privada, que serviram para coleta "*in loco*" de importantes informações pertinentes ao tipo litológico, projeto técnico-construtivo de poço e parâmetros hidrogeológicos.

D) Ensaios de laboratório e campo - Compreendeu os ensaios de caracterização, realizados em amostras coletadas na área de estudo, consistindo de granulometria por peneiramento e sedimentação, limite de liquidez, limite de plasticidade e densidade real dos grãos; e ensaios de campo (infiltração/permeabilidade em solos).

E) Confecção de mapas e cartas e elaboração do texto final - Nesta etapa utilizou-se o SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas), desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), com funções de processamento de imagens, análise espacial e modelagem numérica de terreno, e consulta a bancos de dados espaciais (Câmara et al. 1996); com a edição em seguida, para a elaboração do *layout* final em Arcview, que permite a criação de cartas de alta qualidade gráfica.

A espacialização dos dados de cota do nível d'água (poços tubulares e sondagens geotécnicas) por ocasião de sua análise, foi realizada em ambiente de geoprocessamento com técnicas de redes de triângulos irregulares (TIN) e, quando possível, por geoestatística.

2.1 Área do estudo Proposto

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 objeto da presente pesquisa consiste de aproximadamente 62 km², constituindo um polígono (Figura 2), cujos extremos são limitados pelo retângulo envolvente com latitudes 9.350.071km N e 9.360.429km N e longitudes 250.821km E e 259.214km E. Os acessos aos principais afloramentos são principalmente pela rodovia denominada "Via Costeira".

2.2 Geologia Regional

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 3). 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.

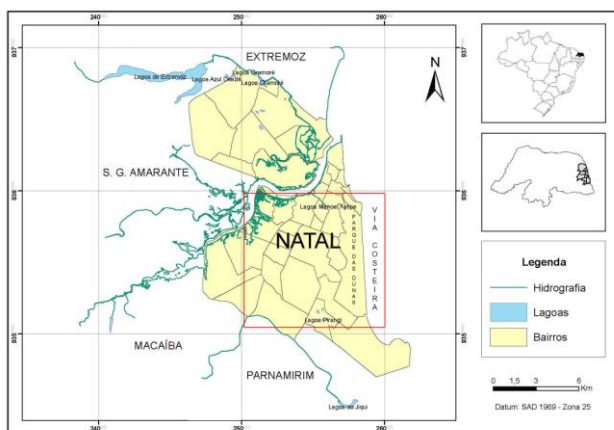


Figura 1. Localização aproximada da área de estudo destacada no retângulo.

2.3 Geologia Local

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 Guamaré da Bacia Potiguar. A unidade aflorante mais antiga consiste dos sedimentos da Formação Barreiras, seguido dos sedimentos da Formação Potengi e “Beachrocks”. Completando a estratigrafia da área (Tabela 1), 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 4).

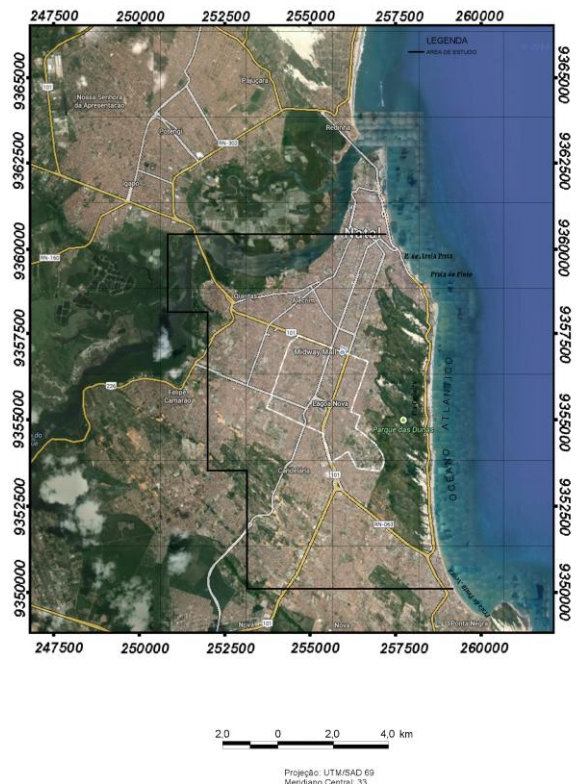


Figura 2 – Carta do Sistema Viário Urbano do Município de Natal-RN (Imagem de Satélite/Google Maps), com a localização da área de estudo.

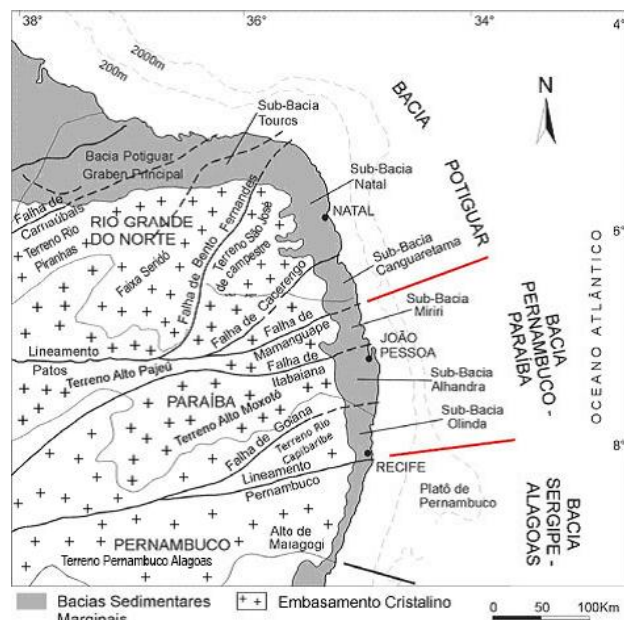


Figura 3 – Localização das Bacias Sedimentares Costeiras Pernambuco-Paraíba e Potiguar e sua divisão em sub-bacias. Modificado de Barbosa (2004).

Tabela 1. Coluna estratigráfica proposta para a área mapeada. Modificada (Duarte, 1995).

ERA	PERÍODO	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
CENOZOICA	QUATERNÁRIO	Sedimentos de mangue - Sedimentos praias - Dunas móveis
		Arenitos praias ("Beach rocks") - Dunas fixas - Dunas arrasadas
	TERCIÁRIO	Formação Potengi
MESOZOICA	CRETÁCEO	Formação Barreiras
		Formação Guamarê

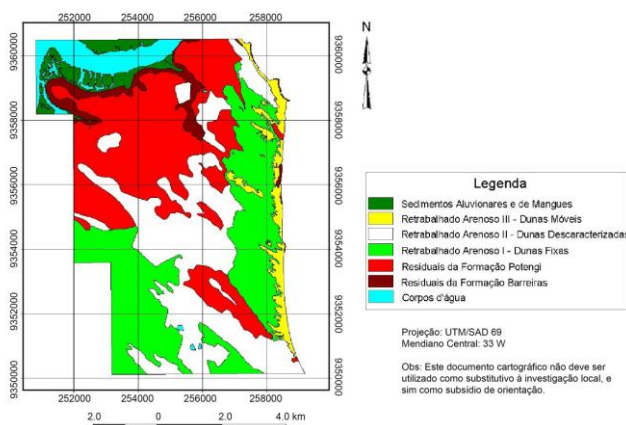


Figura 4. Mapa de Materiais Inconsolidados.

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.

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.

3 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

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.

No caso do sistema Dunas-Potengi/Barreiras, os dados do teste de aquífero na área de Lagoa Nova (ACQUA-PLAN 1988), apontam para comportamento de aquífero semi-confinado, em função da rápida estabilização dos níveis dinâmicos de bombeamento, como reflexo de elevada taxa de recarga por filtração vertical (drenança) através de nível semi-confinante de alta condutividade hidráulica.

3.1 Aquífero Dunas-Potengi

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, possuindo permeabilidades, segundo a empresa de consultoria ACQUA-PLAN (1988), da ordem de $3,1 \times 10^{-2}$ cm/s. Está limitado na sua parte inferior pela fácies areno-conglomerática da Formação Barreiras, localmente pela fácies areno-argilosa da Formação Barreiras e a porção argilosa da Formação Potengi. Nas sondagens geotécnicas o nível d'água tanto aflora na superfície do terreno, como se situa a profundidades de até 14 metros. 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, é importante salientar que a dinâmica desse aquífero tem grande importância nos processos de inundação e movimentos de massas.

4 CARTAS GEOTÉCNICAS

4.1 Carta Piezométrica do Aquífero Dunas-Potengi

A Figura 5 apresenta a superfície piezométrica das águas subterrâneas do aquífero livre Dunas-Potengi, obtidos com os dados dos 27 perfis de sondagens geotécnicas da empresa privada.

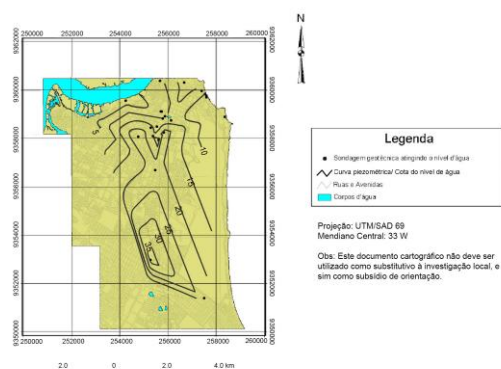


Figura 5. Carta Piezométrica do Aquífero Dunas-Potengi.

Esse aquífero representa um meio de elevada permeabilidade com uma alta capacidade de infiltração potencial, sendo do ponto de vista hidrogeológico o elemento mais diretamente responsável pela relativa abundância de água subterrânea da área.

4.2 Carta de Suscetibilidade e Risco Potencial

Na elaboração da Carta Geotécnica de Suscetibilidade a Processos Geológicos e Risco Potencial, onde neste último se caracteriza a susceptibilidade juntamente com a vulnerabilidade pela presença do elemento em risco seja em termos de vidas humanas e infraestruturas (Figura 6). Note-se que para a elaboração de carta de risco é necessária à análise integrada dos processos do meio físico com aspectos de uso e ocupação do solo. E o risco só existe onde há ocupação do solo, o termo potencial foi associado ao termo risco pelo fato da avaliação de risco ter sido qualitativa e não quantitativa como estabelecido pelo JTC-1. Desta forma avaliaram-se: tipo de material inconsolidado, características do substrato geológico, características geomorfológicas, profundidade do nível d'água do aquífero Dunas-Potengi, existência de habitações precárias, presença de esgotos domésticos, estrutura de drenagem de águas pluviais e Carta de Declividade, onde se constata que boa parte da área de Natal apresenta Risco Potencial a Inundações médio e alto.

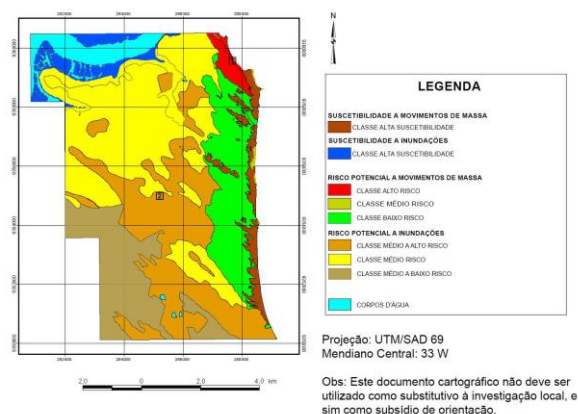


Figura 6. Carta Geotécnica de Suscetibilidade a Processos Geológicos e Risco Potencial a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações. Notar Área 1, que corresponde à localização das Figuras 7a e 7b e a área 2, que corresponde à localização da Figura 7c.

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%, 8 a 20% e maior que 20%, e a área de “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 Potencial, em virtude da baixa vulnerabilidade, pois é praticamente ausente os elementos em risco.

Destacam-se com menor Risco Potencial a Movimentos de Massa o setor leste (depósitos de dunas fixas – “Baixo Risco Potencial”) (Figura 6), correspondendo aos depósitos de dunas fixas que se encontram recobertos naturalmente por vegetação, chegando a atingirem cerca de 120m de altitude.

Os materiais residuais da Formação Potengi, com declividades maiores que 8%, onde esses são encontrados com elevado grau de coesão e consolidação e alta porcentagem de finos, são classificados como “Médio Risco Potencial a Movimentos de Massa”. Sendo a área “Alto Risco Potencial a Movimentos de Massa”, correspondente as dunas descaracterizadas 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% (Figuras 7a e 7b).

Destacam-se com menor Risco Potencial a Inundações, o Setor Sudoeste (San Vale – “Médio a Baixo Risco Potencial”).

No geral o Risco Potencial a Inundações nas áreas de tabuleiros (“Médio Risco Potencial”), com espessuras da zona não saturada da ordem de 8 a 15 metros, aumenta no sentido das Dunas Descaracterizadas (“Médio a Alto Risco Potencial”). 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 Potencial a Inundações (Figura 7c).

No dia 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, no dia 14 de junho um novo deslizamento foi registrado onde o enorme volume de chuvas escoado pela encosta, não foi suportado pela subdimensionada estrutura de drenagem de águas pluviais do local. Isso provocou a desagregação dos sedimentos arenosos relativos as dunas descaracterizadas do local e seu carreamento em grandes volumes para jusante, resultando na perda de sustentação e ruptura dessas estruturas sobrepostas. Dezenas de casas foram atingidas e desabaram, foi destruído o calçamento da Rua Guanabara, principal acesso do bairro, com o tombamento de um pesado muro de contenção que dava suporte a essa rua, estima-se que a água deslocou mais de 70.000 toneladas de uma corrida de lama e detritos, nessa área geotecnicaamente instável (Avaliação feita pela Secretaria Municipal de Obras Públicas e Infraestrutura–SEMOPI, da Prefeitura Municipal do Natal).



Figura 7. Precipitação anômala de chuvas (13/06/2014). (a) Estragos provocados pela chuva em Mãe Luiza. (b) Fluxo de lama e detritos bloqueando a Av. Via Costeira. Classe Alto Risco Potencial a Movimentos Gravitacionais de Massa. (c) Inundações no entorno do Arena das Dunas, (estádio multiuso que recebeu quatro partidas da Copa do Mundo FIFA de 2014, com arquitetura inspirada nas dunas do Rio Grande do Norte). Classe Médio a Alto Risco Potencial a Inundações.

A análise dos perfis de sondagens geotécnicas e de poços da empresa privada e também nas baterias de poços públicos constatou-se a presença de uma sequência de níveis de argilas. Desta forma, na área foram definidos dois sistemas de aquíferos: Dunas-Potengi (Livre) e Barreiras, sob condições de semi-confinamento.

O aquífero Dunas-Potengi é tipicamente livre, com alta taxa de infiltração e boas condições de armazenamento e circulação de água. Sugere-se a infiltração das águas pluviais nos próprios lotes, possibilitando a redução de vazões de pico a valores compatíveis com os encontrados antes da urbanização.

Essa região de Mãe Luiza onde ocorreu o deslizamento das dunas descaracterizadas por concentração de fluxo, trata-se de uma área totalmente irregular do ponto de vista legal, porém plenamente consolidada, com abastecimento de água, energia, calçamento, estrutura de drenagem de águas pluviais, presença de esgotos domésticos, ou seja, caracteriza uma ocupação referendada pelo poder público. Compreende uma Área de Preservação Permanente (APP), contígua à extremidade norte do Parque Estadual Dunas de Natal, inadequada para a ocupação em termos geológico-geotécnicos.

Os resultados apresentados na Carta Geotécnica sintetiza um suporte técnico para o planejamento das ações governamentais de controle e proteção da população e infraestruturas urbanas e dos recursos naturais, na medida em que identifica áreas mais susceptíveis e que não devem ser ocupadas para não se tornarem áreas de risco bem como mostra o atual panorama do risco potencial de movimento gravitacional de massa e inundação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Eng. Civil Rogério de Pinho (GEPÊ ENGENHARIA LTDA), que colocou a disposição o acervo das fichas técnicas dos Perfis de Sondagens Geotécnicas e Litológicos de Poços. Agradecemos também ao INPE-CRN, Ministério da Ciência, Tecnologia,

Inovação e Comunicações (MCTIC) e Ministério das Cidades (MCID).

REFERÊNCIAS

- ACQUA-PLAN (1988). *Avaliação das possibilidades de infiltração de efluentes domésticos no aquífero Dunas na área de Natal-RN*. Estudos, Projetos e Consultoria, Recife-PE. 121p.
- Barbosa, J. A. (2004) *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.
- Câmara, G., Souza, R. C. M., Freitas, U. M. & Garrido, J. C. P. 1996. *SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling*. Computers & Graphics, v.20, n.3, p.395-403.
- Duarte, M. I. de M. (1995) *Mapeamento Geológico e Geofísico do Litoral Leste do RN: Grande Natal (Área 1)*. Rel. Grad, UFRN-DG. (Inédito).
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E. & Savage, B. (2008) Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology* 102, pp. 85-98. Strategy for Disaster Reduction (ISDR). Secretariat.
- Macedo, E. S. De, Bressani, L. A. (Coords.) (2013) *Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento do uso do solo*. São Paulo: ABGE, 88 p.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. (2007) *Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios*. Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura – organizadores, Brasília - DF.
- Moreira, M. M. (1996) *Mapeamento Geotécnico do Município de Natal-RN e Áreas Adjacentes*, 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.
- Moreira, M.M. (2002) *Mapeamento Geotécnico e Reconhecimento dos Recursos Hídricos e do Saneamento da Área Urbana do Município de Natal-RN: Subsídios para o Plano Diretor*, Tese de Doutorado, Publicação G.TD-11A/2002, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 282 p.
- Santos, E. J. (1996) *Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema*, In: SBG, Con. Bras. Geol., 39, Salvador, Anais, 6:47- 50.
- Souza, N. M. (1994) *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.