

AQUITARDO POTENGI-BARREIRAS DA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE NATAL – RN: SUSCETIBILIDADE E RISCO POTENCIAL DE DESLIZAMENTOS, ALAGAMENTOS E INUNDAÇÕES

Melquisedec Medeiros Moreira ¹; Newton Moreira de Souza ²; Kátia Alves Arraes ³

Resumo – A execução deste estudo consistiu de uma caracterização geológico-geotécnica de uma área costeira de aproximadamente 62 km². 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 MCTI/INPE/COENE. Foram apontadas diretrizes para maximizar o aproveitamento integrado dos recursos hídricos da região: o aquífero Dunas-Potengi é tipicamente livre, com alta taxa de infiltração e boas condições de armazenamento e circulação de água; o aquífero Barreiras apresenta um comportamento, na grande maioria, sob condições de semi-confinamento. Usando o Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (DRONE), será possível gerar imagens georreferenciadas e ortorretificadas da cidade, além de permitir que o processo de mapeamento seja exercitado e acompanhado em sua plenitude.

Abstract – This paper present an geotechnical characterization of geological units, of a coastal area of approximately 62 km². 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 / COENE (North-east Spatial Coordination). 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 Dunas-Potengi aquifer, by its very nature lithologic and stratigraphic position, is typically free, with high infiltration rate and good storage conditions and water circulation; the Barreiras aquifer shows a behavior, in the great majority, under the conditions of semi-confinement. Using the Remotely Piloted Aircraft System (DRONE), it will be possible to generate georeferenced and orthorectified images of the city, in addition to allowing the mapping process to be exercised and accompanied in its fullness.

Palavras-Chave – Deslizamentos; Geoprocessamento; Cartografia Geotécnica.

¹ Geól., DSc, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações MCTI INPE COENE, Natal-RN, (84) 3204-9148, melquisedec.moreira@inpe.br

² Eng., DSc, Universidade de Brasília: Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília - DF, (61) 3273-7313, nmsouza@unb.br

³ Analista de Sistemas, MSc, INPE, Coordenação Espacial do Nordeste, Natal-RN, (84) 3204-9156, katia.araes@inpe.br

1. INTRODUÇÃO

A urbanização do Brasil é marcada pela exclusão sócio espacial, levando a população de baixa renda a construir moradias em áreas que oferecem risco a vida humana, como encostas íngremes e margens de rios. Devido aos desastres provocados pela ocupação desordenada das cidades, como o aumento dos movimentos de massa gerados pela ação antrópica, declividade e elevados índices pluviométricos, em especial nas capitais, tem-se verificado a necessidade de associar o planejamento urbano com políticas integradas que garantam o bem-estar da população.

Nesse sentido o mapeamento geológico-geotécnico analisa de forma conjunta o comportamento e as propriedades das rochas e dos solos (características geotécnicas) e sua gênese (características geológicas), isto é, reúne um determinado número de informações e análises extensivas para toda a área estudada e orientadas pela base geológica. Desta forma, pode reunir os subsídios do meio físico geológico, tanto para o planejamento da ocupação futura, quanto para a correção dos problemas de natureza geológico-geotécnica instalados nos núcleos urbanos (Zaine, 2000).

A Lei Federal Nº 10.257 de 2001, denominada Estatuto da Cidade, foi promulgada para regulamentar, dentre outros pormenores, o uso da propriedade urbana tendo como objetivo alcançar o bem-estar dos cidadãos. Esta lei obriga os municípios a avaliarem os riscos e elaborarem diretrizes para controle através do Plano Diretor. Portanto, para tornar eficaz o plano diretor, quanto ao gerenciamento e controle das áreas de alto risco, fez-se necessário o mapeamento geológico-geotécnico e o estudo técnico das áreas instáveis.

A Lei nº 12.608/2012 (BRASIL, 2012), que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) e o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, lançado em 08/08/2012, tornou obrigatório para os municípios a execução de um conjunto de ações que compreendem quatro eixos de atuação: Prevenção, Mapeamento, Resposta e Sistema de Monitoramento e Alerta, delegando à União a competência de apoiar os Estados, o Distrito Federal e os Municípios no mapeamento das áreas de risco, nos estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades, vulnerabilidades e risco de desastre e as demais ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação. O art. 5 do PNPDEC estabelece a obrigatoriedade da identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades de áreas a partir de cartas geotécnicas, cartas de suscetibilidade e cartas de risco, objetivando evitar ou reduzir a ocorrência de desastres.

O art. 22 da Lei supracitada estabelece que os municípios incluídos no cadastro com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos deverão elaborar carta geotécnica de aptidão à urbanização, estabelecendo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo urbano (projetos de loteamento e desmembramento, segundo a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979) e para o aproveitamento de agregados para a construção civil.

Sobreira e Souza (2012, apud Bitar, 2014), destacam que a carta geotécnica de suscetibilidade é aquela que reflete, em forma e grau, a variação da capacidade dos terrenos em desenvolver determinado fenômeno. Sobre isso, cabe reiterar a importância da utilização das cartas de suscetibilidade como base à elaboração das cartas geotécnicas de aptidão à urbanização e de risco, igualmente previstas na PNPDEC e a produzir em escalas de detalhe (1:10.000 ou maior e 1:2.000 ou maior, respectivamente), conforme recomendação apresentada em Fell et al. (2008) para o caso específico de deslizamentos

O presente artigo tem como finalidade contribuir neste sentido, para o caso do Município em questão, consistindo de uma caracterização geológico-geotécnica e de um reconhecimento da drenagem de uma área costeira de aproximadamente 62 km², compreendendo parte da Cidade 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 deteções 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 de deslizamento para o planejamento de uso do solo" (Fell et al., 2008) do Comitê Técnico Internacional para Deslizamentos (JTC-1), texto traduzido e publicado no Brasil pela CPRM/ABGE/ABMS (Macedo & Bressani, 2013), inseridos no programa "Construindo Nosso Mapa Municipal Visto do Espaço", realizado pelo grupo de

Geoprocessamento do MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações) / INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) / COENE (Coordenação Espacial do Nordeste), podendo ser consultado no link: <http://geopro.crn.inpe.br/resumo3.htm> (Projeto Mapas Municipais Geoambientais). 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 poderão agilizar e viabilizar as atividades de levantamento, análise, finalização e posteriores atualizações das informações espaciais (Souza, 1994).

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A execução deste estudo consistiu de uma caracterização geológico-geotécnica e de um reconhecimento das águas subterrâneas, em escala de semi-detálhe 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.

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.

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 sedi-

mentação, 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

A área objeto da presente pesquisa consiste de aproximadamente 62 km², constituindo um polígono (Figura 1), 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".

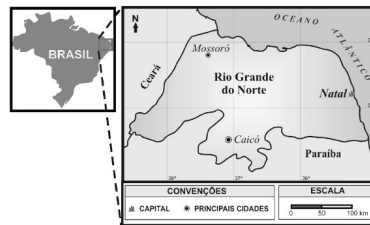


Figura 1. Mapa de Localização do Município de Natal-RN.

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 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.

2.3. 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 mesozoica, 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 3).

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.

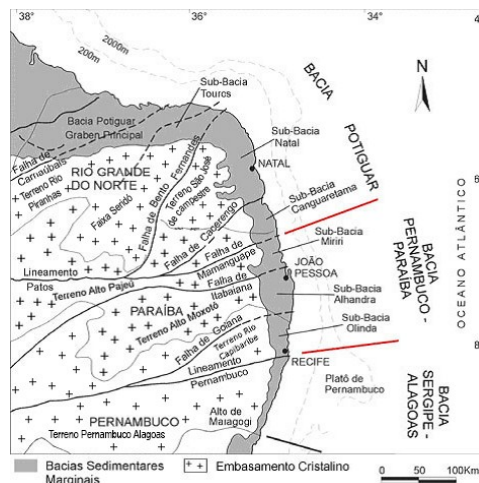


Figura 2 – Localização das Bacias Sedimentares Costeiras Pernambuco-Paraíba e Potiguar e sua divisão em sub-bacias. Modificado de Barbosa (2004).

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

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

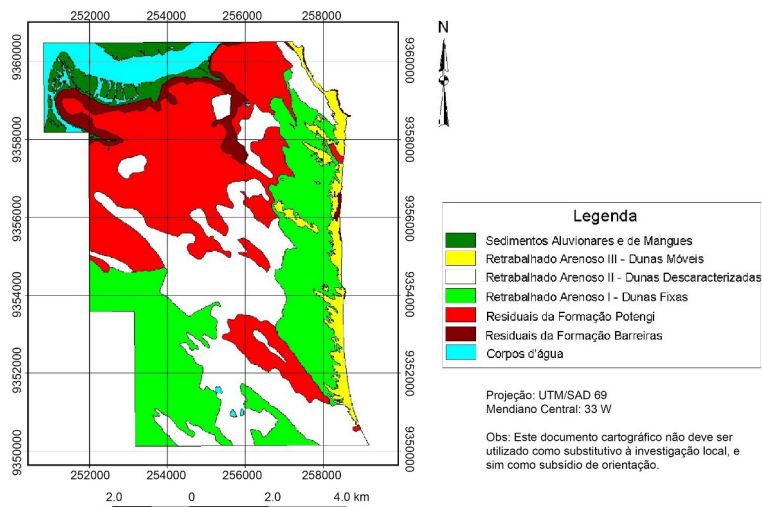


Figura 3. Mapa de Materiais Inconsolidados.

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.

3. DISPONIBILIDADE E POTENCIALIDADE DAS ÁGUAS

O Aquífero Barreiras constitui o principal reservatório de água subterrânea do litoral leste do Estado do Rio Grande do Norte. Em Natal, maior consumidor, 70% do abastecimento público procedem hoje de suas águas captadas através de poços tubulares da empresa pública e particulares.

Os teores de nitrato nos pontos identificados em Natal são superiores ao limite estabelecido pela Organização Mundial de Saúde – OMS, que é de 45 mg/l (Ministério da Saúde, 2000), fazendo com que a empresa pública desative os poços contaminados e execute outros para a manutenção do nível de abastecimento.

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.

O Aquífero Infra-Barreiras, não foi objeto de estudos mais significativos, em virtude de apresentar uma baixa capacidade de produção e da grande potencialidade hídrica que possui o Aquífero Barreiras.

No caso do sistema Dunas-Potengi/Barreiras, os dados do único teste de aquífero disponível 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. Por outro lado, a evidente estabilização dos níveis potenciométricos dos poços públicos ao longo de toda a área de exploração em Natal, apesar das crescentes descargas produzidas entre os anos de 1975 a 1998 (Hidroservice 1998), reflete seguramente uma condição de regime quase permanente em função das transferências verticais de infiltrações pluviométricas estimadas em 500 mm/ano ou o equivalente a $0,500\text{hm}^3/\text{ano}/\text{km}^2$ (Hidroservice 1998). Essa última afirmação, porém, é corroborada com a má construção dos poços públicos, que favorecem essa condição de regime quase permanente. Na fase de construção é quando ocorre um dos problemas mais frequentes em Natal. Como não existe o dimensionamento correto dos filtros e da proteção sanitária da obra, o “poço” passa a funcionar como condutor direto e eficiente das águas mais superficiais, quase sempre poluídas, para os níveis freáticos mais profundos. A Figura 4 apresenta a representação esquemática de um poço com cimentação insuficiente e de um poço cuja cimentação seria o desejável.

Por sua vez, a condição de aquífero totalmente confinado para o sistema Barreiras em Natal, parece totalmente descartada, não apenas pelo condicionamento litológico da sequência sedimentar, evidenciado pelos dados de dezenas de poços perfurados na área, como também pela resposta potenciométrica acima referida, com relação à elevada taxa histórica de exploração do manancial, indicando um regime quase permanente.

Na hipótese de que o sistema Dunas-Potengi/Barreiras funcione como um aquífero do tipo livre, com condutividades hidráulicas, horizontal e vertical similares, a Hidroservice (1998) fez uma estimativa da posição inicial e do avanço da interface Salina e o resultado obtido sugere que o sistema não funciona hidrodinamicamente como aquífero do tipo livre, uma vez que a penetração da cunha salina no continente seria da ordem de 500 metros, em consequência dos bombeamentos ocorridos a partir de 1975. Nessas condições, os poços existentes próximos da linha de costa já teriam sido contaminados, aspecto este ainda não observado, seja de forma restrita ou extensiva na região de Natal.

A condição admitida como mais provável, segundo o relatório da Hidroservice (1998) é a de um aquífero semi-confinado com elevada capacidade de filtração vertical (drenança) de importantes volumes anuais de água, infiltrados nos níveis mais superiores da sequência sedimentar, formados pelas dunas e sedimentos arenosos, posicionados acima do horizonte semi-confinante. Este condicionamento poderia, em princípio, explicar um maior afastamento da cunha com relação à linha de costa, em função do fluxo natural de um aquífero com mergulho para o mar e dos fluxos descendentes procedentes de recarga por filtração vertical.

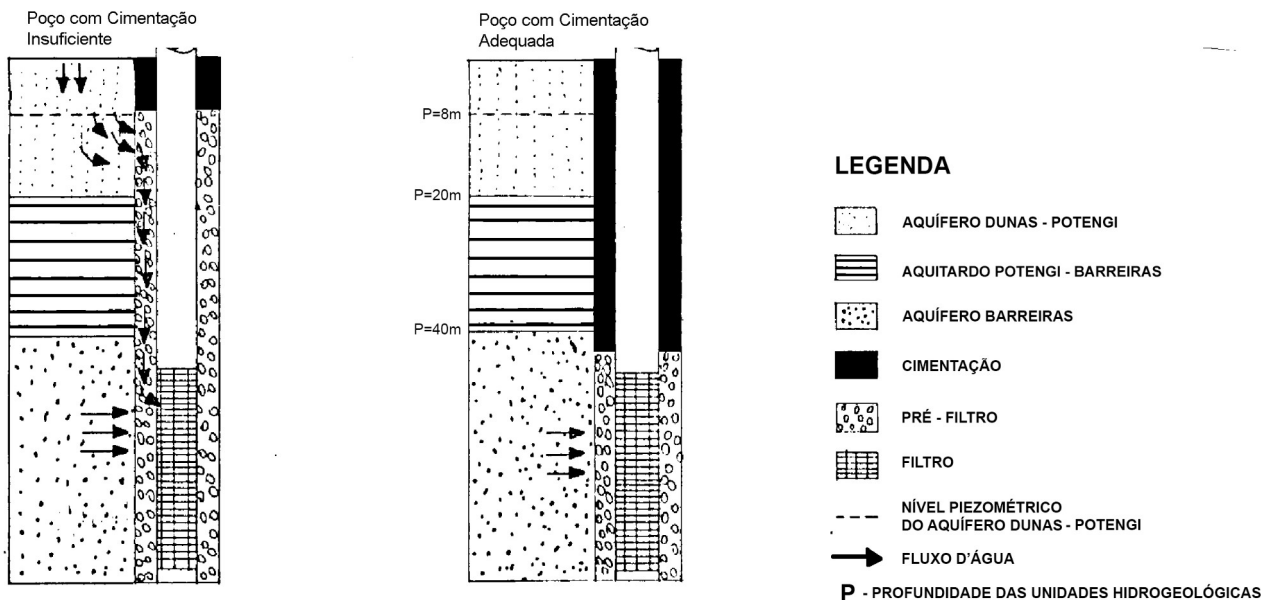


Figura 4 – Representação esquemática de poços no aquífero livre Dunas Potengi e semi-confinado Barreiras.

4. MAPAS HIDROGEOTÉCNICOS

4.1 Mapas das Cotas das Superfícies Superior e Inferior do Aquitardo Potengi-Barreiras

Estes mapas representam a tendência da distribuição das cotas das superfícies superior e inferior do aquitardo Potengi-Barreiras na região mapeada. O primeiro foi obtido a partir das 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 (GEPÊ ENGENHARIA LTDA) e 20 poços dessa mesma empresa e o segundo a partir dos 69 poços da empresa pública e os 20 poços da GEPÊ ENGENHARIA LTDA.

Inicialmente foram digitalizados os pontos com suas respectivas cotas, equivalente as superfícies superior e inferior do aquitardo mencionado, a partir daí produziu-se às respectivas distribuições em forma contínua, em formato de MNT (Modelos Numéricos de Terreno). Posteriormente, estes mapas foram transformados em forma de isolinhas (Figura 5), verificando-se variações de disposição das superfícies, sendo interpretadas como regiões onde a deposição sedimentar compreende interdigitações de camadas, não se descartando a hipótese de que localmente existam falhamentos.

4.2 Carta Geotécnica de Suscetibilidade e Risco Potencial de Deslizamentos, Alagamentos e Inundações

Na elaboração da Carta Geotécnica de Suscetibilidade e Risco Potencial, onde neste último se caracteriza a suscetibilidade 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 e Barreiras, 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 Alagamentos médio e alto.

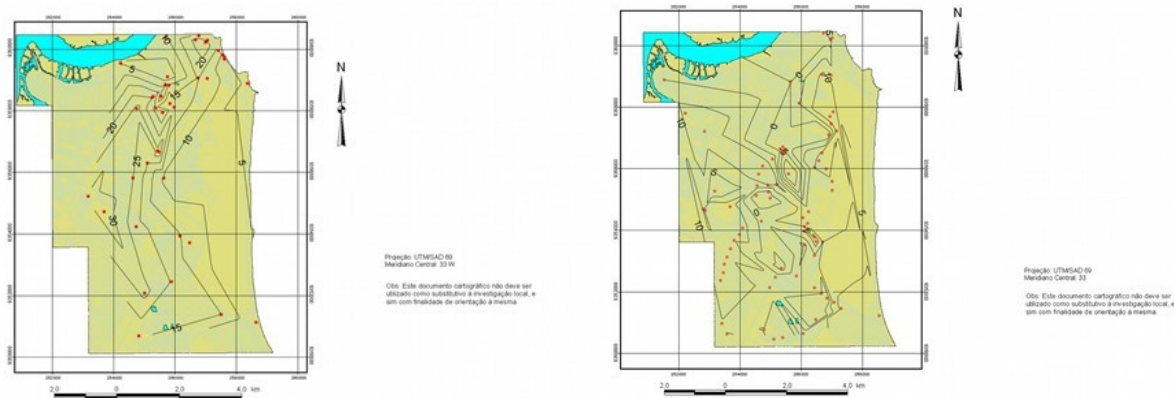


Figura 5. Mapas das Cotas das Superfícies Superior e Inferior do Aquitardo Potengi-Barreiras.

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 valores de Coeficiente de Permeabilidade da ordem de 10^{-4} cm/s; e da Formação Barreiras/fácies arenosa (RB1), fácies areno-conglomerática (RB2) e fácies areno-argilosa (RB3), esta última com valores do Coeficiente de Permeabilidade variando de 10^{-5} a 10^{-6} cm/s; com declividades maiores que 8%, onde são encontrados com elevado grau de coesão e consolidação e alta porcentagem de finos, são classificados como “Médio Risco Potencial a Movimentos de Massa”.

Na área “Alto Risco Potencial a Movimentos de Massa”, correspondente às dunas descaracterizadas ocupadas por Habitações Precárias, que distribuem-se numa faixa paralela ao litoral na Região de Mãe Luiza, apresentam declividades em termos percentuais variando de 3 a 8% e maior que 20% (Figuras 7a e 7b).

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

No geral o Risco Potencial a Alagamentos nas áreas de tabuleiros (“Médio Risco Potencial”), com espessuras da zona não saturada da ordem de 8 a 15 metros (Figura 6), 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 Alagamentos.

5. CONCLUSÕES

Tendo por balizador a Lei nº 12.608/2012, as cartas geotécnicas de aptidão urbana têm por finalidade conferir ao gestor público e à sociedade um instrumento de suporte a ser incorporado na revisão dos planos diretores municipais, no planejamento da expansão urbana e quando da aprovação dos novos parcelamentos de solos.

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. 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 alagamento.

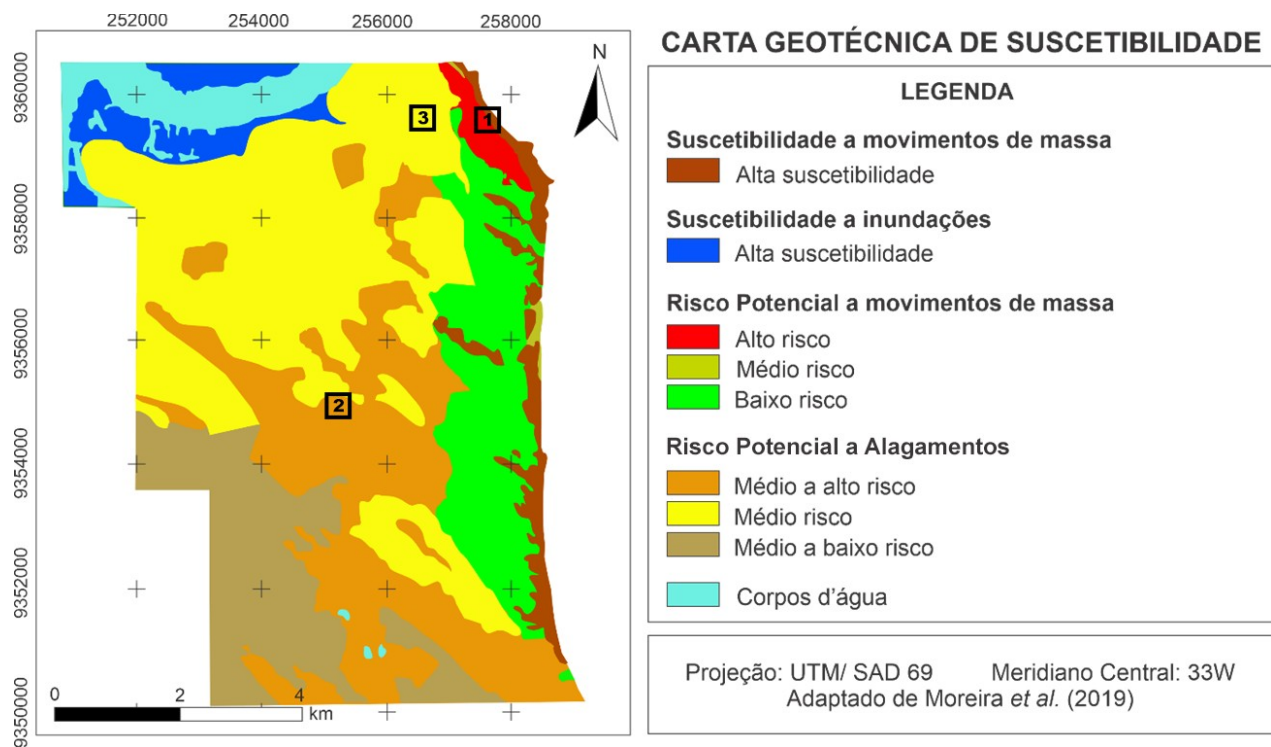


Figura 6. Carta Geotécnica de Suscetibilidade e Risco Potencial a Deslizamentos, Alagamentos e Inundações. Notar Área 1, que corresponde à localização da Figura 7a e 7b, área 2, que corresponde à localização da Figura 7c e área 3, que corresponde à localização da Figura 7d.



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) Alagamentos 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 Alagamentos. (d) Avenida Hermes da Fonseca, esquina com a Rua Açú. Classe Médio Risco Potencial a Alagamentos.

AGRADECIMENTOS

Ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) /COENE (Coordenação Espacial do Nordeste) pelo suporte logístico oferecido, ao CNPq pelo fomento à pesquisa na forma do Programa de Capacitação Institucional 2018-2023, Bolsa PCI-DD (Projeto 444327/2018-5 PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS ESPACIAIS E SUAS APLICAÇÕES: Construindo Nosso Mapa Municipal Visto do Espaço) e PIBIC (Projeto: Ações de Defesa Civil em Municípios do Rio Grande do Norte com auxílio do Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento), e também pela dedicação dos diversos profissionais da iniciativa pública e privada, que direta ou indiretamente auxiliaram na materialização dos resultados ora alcançados. Dedicamos este trabalho ao Pesquisador Miguel Dragomir Zanic Cuellar (*In Memoriam*), pelas suas valiosas contribuições e parceria no âmbito do convívio profissional e desenvolvimento pessoal.

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.
- BITAR, O. Y. (Coord.). Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa /coordenação Omar Yazbek Bitar. -- São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF: CPRM –, Serviço Geológico do Brasil, 2014. – (Publicação IPT; 3016) 5 Mb ; PDF.
- BRASIL. Lei 12.608, de 10 de Abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1 de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Diário Oficial, Brasília, 11 abr. 2012.
- DUARTE, M. I. de M. (1995) *Mapeamento Geológico e Geofísico do Litoral Leste do RN: Grande Natal (Área 1)*. Rel. Grad, UFRN-DG. (Inédito).
- HIDROSERVICE (1998) *Análise do comportamento da cunha salina*. Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte /SERHID-RN, Plano Estadual de Recursos Hídricos. Natal/RN. 23 p.
- 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 DA SAÚDE (2000) *Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano*. Portaria Nº 1469, de 29 de dezembro. Republicada no Diário Oficial Nº 38–E de 22/02/2001, Seção 1, pág.39, 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.
- MOREIRA, M.M., SOUZA N.M., ARRAES, K.A. (2019) Caracterização geotécnica dos materiais inconsolidados do município de Natal- RN: suscetibilidade e risco potencial de deslizamentos e inundações. In: Barbosa F. C. (Org.) *Engenharia e geotecnia: princípios fundamentais*. 1ª edição, Piracanjuba, Conhecimento Livre, p. 224-232.
- 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.
- SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. de. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, v. 2, p. 79-97, 2012. Disponível em: <<https://www.abge.org.br/volume-2-n-1>>.
- 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.
- ZAINE, J.E 2000. “Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)”. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP–Campus de Rio Claro/SP, 149 f.