

Carta Piezométrica do Aquífero Semi-Confinado Barreiras na Área Urbana de Natal – RN: Geotecnologias, Espacialização e SIG Aplicado ao Gerenciamento de Deslizamentos e Inundações

Melquisedec Medeiros Moreira 1

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

Newton Moreira de Souza 2

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

Miguel Dragomir Zanic Cuellar 3

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

Kátia Alves Arraes 4

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 e de um reconhecimento das águas subterrâneas, em escala de semi-detalhe 1:25.000, de uma área costeira de aproximadamente 62 km², compreendendo parte do Município de Natal-RN. A pesquisa está sendo desenvolvida 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 MCTIC (Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações)/ INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) /CRN (Centro Regional do Nordeste). A análise dos perfis de sondagens geotécnicas e de poços de uma empresa privada constatou-se a presença de uma sequência de níveis de argilas, com espessuras variáveis, entre 5 a 25 metros. Essas unidades também são evidenciadas nas diferentes áreas em que existem baterias de poços públicos. Desta forma, na área foram definidos dois sistemas de aquíferos: Dunas-Potengi (Livre) e Barreiras, sob condições de semi-confinamento. 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. O aquífero Barreiras constitui o principal manancial hídrico no abastecimento d’água da cidade de Natal, compreendendo um conjunto de estratos sedimentares exclusivamente clásticos, subhorizontais e descontínuos. Em subsuperfície pode-se, pela análise dos perfis de poços, individualizar 2 unidades distintas: uma média-inferior, constituída por arenitos finos a grosseiros, com níveis de seixos e cascalhos, com pouco conteúdo de argila, possuindo coloração variável de amarelada a esbranquiçada, formando o aquífero propriamente dito, e outra unidade superior, formada, predominantemente, por argilitos arenosos e arenitos argilosos, de cores variegadas/geralmente avermelhadas, que dá origem ao aquitardo. É marcante a variação faciológica, tanto no sentido vertical como no horizontal, em toda a Formação Barreiras; a existência de intercalações argilosas limita sua espessura útil para exploração e também aumenta a complexidade do sistema hidráulico, no entanto fornece uma proteção ao aquífero. Os resultados apresentados na Carta Piezométrica do Aquífero Barreiras sintetiza um suporte técnico para o planejamento das ações governamentais de controle e proteção da população e infraestruturas urbanas e dos recursos naturais. Verifica-se que o uso do sistema VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) pode melhorar a Carta, possibilitando gerar

imagens georreferenciadas e ortorretificadas da cidade, sendo possível gerar uma Carta de Risco Geotécnico de altíssima qualidade.

PALAVRAS-CHAVE: Cartografia Geotécnica, Água Subterrânea, JTC-1, Inundações, Deslizamentos, SIG.

1 INTRODUÇÃO

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

2 METODOLOGIA DE TRABALHO

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 de 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”.

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 Mapa Topográfico

Foram digitalizados no Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING) as curvas de nível equidistantes de 10 m, das bases planialtimétricas da SEPLAN- RN (Secretária de Planejamento do estado do Rio Grande do Norte), em escala 1:10.000 (1978), onde gerou-se um mapa topográfico (Figura 3a), onde a interpolação dos dados de altitude produz uma distribuição em forma de imagens de níveis de cinza (Figura 3b), o formato MNT.

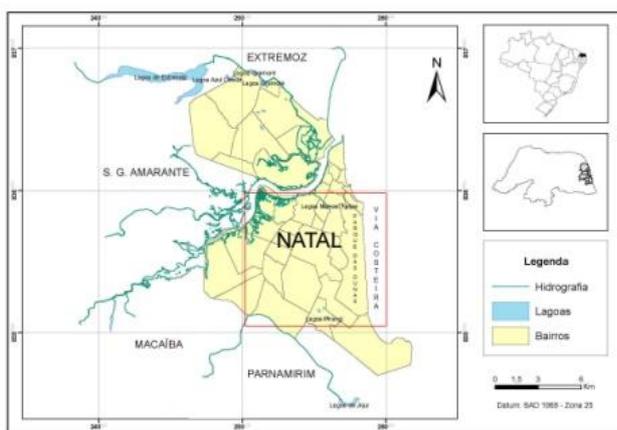


Figura 1. Localização aproximada da área de estudo.

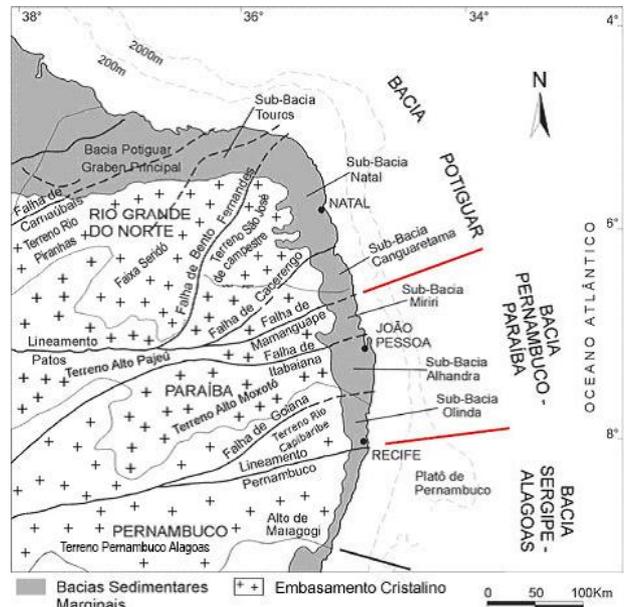
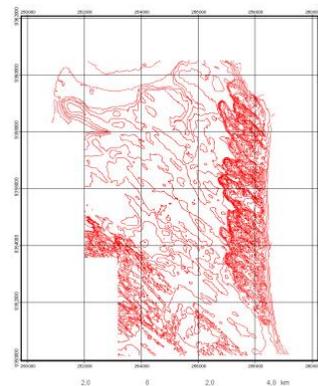
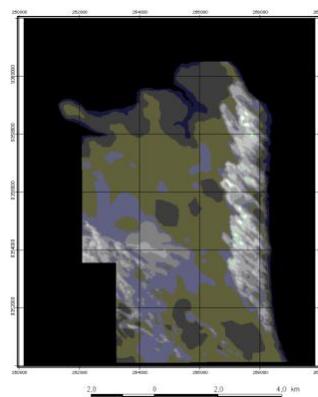


Figura 2 – Localização das Bacias Sedimentares Costeiras Pernambuco-Paraíba e Potiguar e sua divisão em sub-bacias. Modificado de Barbosa (2004).



Projeção: UTM SAD 69
Meridiano Central: 33 W
Obs: Este documento cartográfico não deve ser utilizado como substitutivo à investigação local, e sim com finalidade de orientação à mesma.



Projeção: UTM SAD 69
Meridiano Central: 33 W
Obs: Este documento cartográfico não deve ser utilizado como substitutivo à investigação local, e sim com finalidade de orientação à mesma.

Figura 3. (a) Mapa Topográfico em formato vetorial, apresentando as isolinhas de curva de nível. (b) Mapa Topográfico, visualizado em forma de níveis de cinza.

2.4 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 calcários, 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).

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).

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

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 (“Beach rocks”) - Dunas fixas - Dunas arrasadas	
	Formação Potengi		
	TERCIÁRIO	Formação Barreiras	
M E S O Z O I C A	CRETÁCEO	Formação Guamaré	

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.

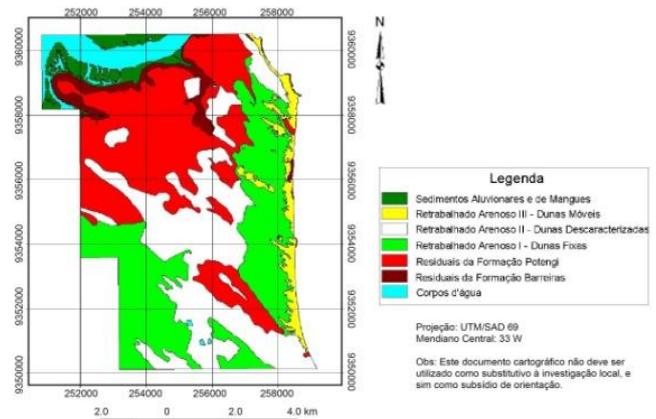


Figura 4. Mapa de Materiais Inconsolidados.

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) e granulometria média a fina.

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. É importante salientar que a dinâmica desse aquífero tem grande importância nos processos de inundação e movimentos de massas.

3.2 Aquífero Barreiras

O aquífero Barreiras constitui o principal manancial hídrico no abastecimento d'água da cidade de Natal, compreendendo um conjunto de estratos sedimentares exclusivamente clásticos, subhorizontais e descontínuos. Em subsuperfície pode-se, pela análise dos perfis de poços, individualizar 2 unidades distintas: uma média-inferior, constituída por arenitos finos a grosseiros, com níveis de seixos e cascalhos, com pouco conteúdo de argila, possuindo coloração variável de amarelada a esbranquiçada, formando o aquífero propriamente dito, e outra unidade superior, formada, predominantemente, por argilitos arenosos e arenitos argilosos, de cores variegadas/geralmente avermelhadas, que dá origem ao aquífero. É marcante a variação faciológica, tanto no sentido vertical como no horizontal, em toda a Formação Barreiras; a existência de intercalações argilosas limita sua espessura útil para exploração e também aumenta a complexidade do sistema hidráulico, no entanto fornece uma proteção ao aquífero.

No Município de Natal o aquífero Barreiras apresenta um comportamento, na grande maioria, sob condições de semi-confinamento. Esse caráter lhe é atribuído por camadas

argilosas, pertencentes à unidade geológica superior/aquífero Potengi-Barreiras (fácies areno-conglomerática da Formação Barreiras e localmente a fácies areno-argilosa, e a porção argilosa da Formação Potengi), a qual também serve como substrato semi-impermeável do aquífero Dunas-Potengi.

4 CARTAS HIDROGEOTÉCNICAS

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.

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 Piezométrica do Aquífero Barreiras

Através dos dados do Nível estático dos 20 poços da empresa privada, bem como da obtenção de suas respectivas cotas topográficas, com relação ao nível médio do mar, foi construída a Carta Piezométrica do Aquífero Barreiras (Figura 6). As cotas piezométricas ou cargas hidráulicas para cada ponto d'água (poço) foram dispostas no mapa base da área, as quais refletem as características do fluxo d'água subterrâneo da região estudada.

Nessa Carta, verifica-se que na área de Natal, as cotas mais altas do nível d'água estão em torno de 20 metros, tendendo a zero além da linha de costa e ao longo da calha do Rio Potengi.

4.3 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 junto com a vulnerabilidade

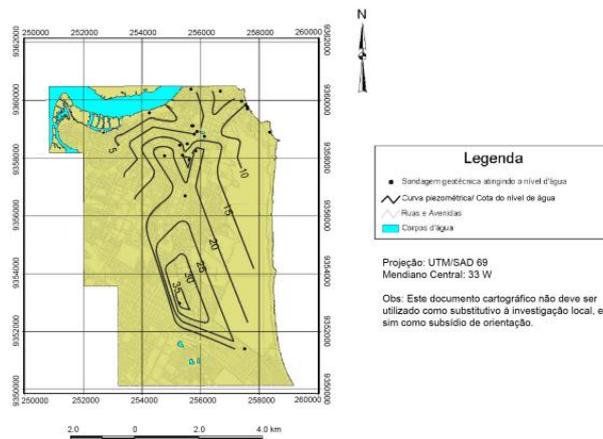


Figura 5. Carta Piezométrica do Aquífero Dunas-Potengi.

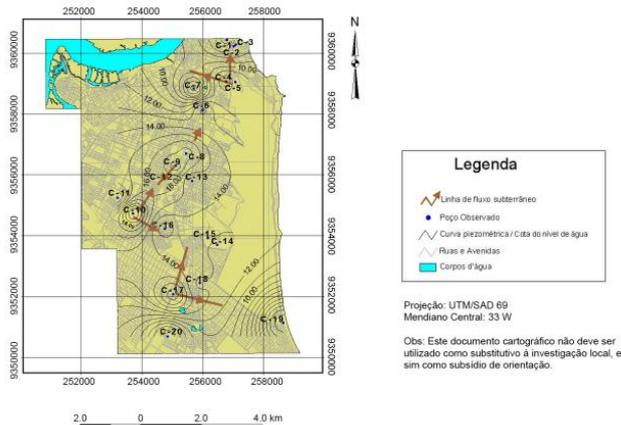


Figura 6 – Carta Piezométrica do Aquífero Barreiras.

pela presença do elemento em risco seja em termos de vidas humanas e infraestruturas (Figura 7). 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 apresenta Risco Potencial a Inundações médio e alto.

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

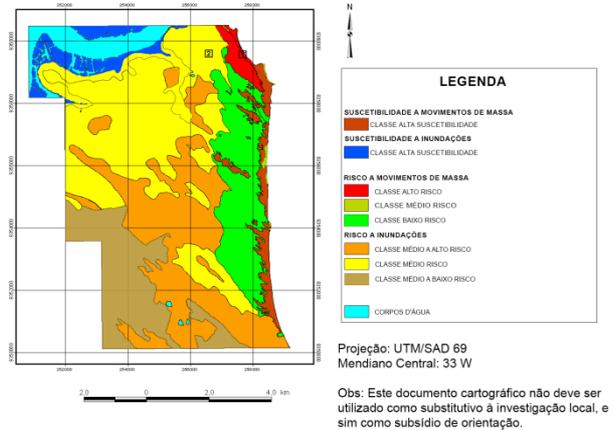


Figura 7. Carta Geotécnica de Suscetibilidade a Processos Geoambientais e Risco Potencial a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações. Notar Área 1, que corresponde à localização da Figura 8a e 8b, e a Área 2, que corresponde à localização da Figura 8c.

Foram mapeadas duas áreas que correspondem a Alta Suscetibilidade, em ambos os casos não há correspondência com Alto Risco Potencial, em virtude da baixa vulnerabilidade, pois é praticamente ausente os elementos em risco. A área “Alto Risco Potencial a Movimentos de Massa”, corresponde as dunas descaracterizadas ocupadas por Habitações Precárias, que distribui-se numa faixa paralela ao litoral na Região de Mãe Luiza (Figuras 8a e 8b), apresentando declividades em termos percentuais variando de 3 a 8% e > que 20%.

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 (Figura 8c), 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 8. (a) Estragos provocados pela chuva em Mãe Luiza (Área 1). (b) Classe Alto Risco Potencial a Movimentos Gravitacionais de Massa. (c) Inundações na Avenida Hermes da Fonseca, esquina com a Rua Açú (Área 2). Classe Médio Risco Potencial a Inundações.

5 CONCLUSÕES

A unidade aflorante mais antiga consiste dos sedimentos terciários/quaternários da Formação Barreiras, seguidos dos sedimentos quaternários da Formação Potengi, “beach-rocks”, dunas fixas, dunas descaracterizadas, sedimentos aluvionares e de mangues, praias e dunas móveis.

A análise dos perfis de sondagens geotécnicas e de poços da empresa privada constatou-se a presença de uma sequência de níveis de argilas, com espessuras variáveis, entre 5 a 25 metros. Essas unidades também são evidenciadas nas diferentes áreas em que existem baterias de poços públicos. Desta forma, na área foram definidos dois sistemas de aquíferos: Dunas-Potengi (Livre) e Barreiras, sob condições de semi-confinamento.

A superfície piezométrica do aquífero Dunas-Potengi 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, podendo causar inundações. 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, para que as consequências da urbanização não sejam transportadas para jusante, sendo realizado seu controle na fonte.

O aquífero Barreiras constitui o principal manancial hídrico no abastecimento d'água da cidade de Natal. O conjunto litológico caracteriza-se por mudanças faciológicas impostas por variações texturais, composicionais, granulométricas e dimensionais dos estratos, tanto na direção vertical como lateral.

Os resultados apresentados na Carta Piezométrica do Aquífero Barreiras sintetiza um suporte técnico para o planejamento das ações governamentais de controle e proteção da população e infraestruturas urbanas e dos recursos naturais. A recarga do aquífero Barreiras se processa diretamente através das precipitações pluviais, nas áreas de afloramento, e indiretamente, mas de forma contínua, pelas reservas do aquífero Dunas-Potengi, através de

drenança vertical, conferindo, a este último, um importante papel na potencialidade hídrica do aquífero Barreiras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao INPE-CRN (MCTIC) e Ministério das Cidades.

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 maastrichitiano-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.