

Movimento de Massa Ocorrido na Vertente Adjacente à Praia de Areia Preta – Natal - RN

Severo, Ricardo Nascimento Flores

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil,
ricardo.severo@ifrn.edu.br

Amaral, Ricardo Farias do

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil, projeto_corais@yahoo.com.br

Coutinho, Roberto Quental

Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, Brasil, rqc@ufpe.br

Santos Júnior, Olavo Francisco dos

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil, olavo@ct.ufrn.br

Freitas Neto, Osvaldo de

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, osvaldocivil@ct.ufrn.br;

Sobrinha, Maria Dulce P. Bentes

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, dulcebentes@uol.com.br

RESUMO: Ocorreram dois movimentos de massa subsequentes em uma encosta, especificamente na vertente adjacente à Praia de Areia Preta situada no município de Natal - RN. Estes movimentos de massa destruíram residências de baixa e média renda na parte superior da encosta e toda a infraestrutura do entorno, deslocaram aproximadamente 55 mil metros cúbicos de solo e detritos, interrompendo o trânsito em uma importante avenida da capital e colocaram em risco vários prédios caracterizados como moradia de alta renda localizados na base da encosta próximos a linha de praia. Os objetivos deste trabalho são apresentar os danos causados pelos movimentos, identificar os mecanismos de instabilização, as prováveis causas da movimentação, apresentar os aspectos morfológicos, geológico e geotécnicos da área e apresentar medidas de emergência que foram adotadas logo após a catástrofe. Conclui-se que a vertente afetada corresponde ao campo de dunas “Parque das Dunas”. Toda a massa sedimentar envolvida corresponde a areias de dunas e detritos. Os fluxos de areia e de detritos tiveram como causas principais as chuvas intensas no período. Esse evento pluviométrico suplantou em muito a capacidade de drenagem instalada na área. A supressão da vegetação natural da encosta e a impermeabilização do setor superior da encosta devido a uma geometria urbana inadequada acelerou ou induziu a ocorrência de fluxos superficiais concentrados. Estes fluxos d’água concentrados (fator de causa acionante / agravante) reduziram drasticamente a estabilidade existente, desencadeando um primeiro movimento de massa (fluxo de areia) no primeiro dia com a destruição de parte do sistema de esgotos e de galerias pluviais, o que contribuiu para concentrar ainda mais este fluxo e desencadear o grande movimento ocorrido (fluxo de detritos) no segundo dia. Buscando minorar os impactos e remediar a situação medidas emergenciais foram adotadas.

PALAVRAS-CHAVE: Movimento de Massa, Fluxo de Detritos, Dunas, Formação Barreiras (FB).

1 INTRODUÇÃO

Entre os dias 13 e 15 de junho de 2014 a cidade do Natal - RN esteve submetida a intensas precipitações pluviométricas. Na vertente adjacente à Praia de Areia Preta ocorreram dois movimentos de massa subsequentes. Um primeiro movimento de massa de menor proporção ocorreu no dia 13 e no dia 14 ocorreu um grande movimento de massa que permanecia ativo no dia 15 de junho.

Este trabalho foi iniciado pela equipe que elaborou um Relatório Técnico de Visita (Amaral et al., 2014) com vistas a sugerir medidas técnicas emergenciais a serem adotadas após a catástrofe, dar suporte às ações do poder público para decretação do estado de emergência e identificar sumariamente as prováveis causas desses movimentos.

Logo após o primeiro movimento de massa ocorrido no dia 13 de junho a referida equipe começou os trabalhos em campo juntamente com os demais autores desse trabalho que se incorporaram às ações no seu devido tempo.

Os objetivos deste trabalho são apresentar os danos causados pelos movimentos, identificar os mecanismos de instabilização, as prováveis causas da movimentação, apresentar os aspectos geológico-geotécnicos e morfológicos da área e apresentar as medidas de emergência que foram adotadas logo após a catástrofe.

2 DESCRIÇÃO DA ÁREA AFETADA

2.1 Aspectos Morfológicos e Geológicos

Vertente ou encosta é qualquer um dos lados de uma elevação, por onde correm as águas de chuva (águas pluviais). A vertente é definida principalmente pelo seu declive ou inclinação. Sob o ponto de vista morfológico a área estudada é uma vertente inclinada no sentido leste.

Esta vertente inicia na Rua Atalaia e finaliza na Av. Governador Sílvio Pedroza. A inclinação desta vertente é de aproximadamente 20° e seu comprimento é de aproximadamente 140 metros (Amaral et al., 2014).

Na Figura 1 é mostrada a área do bairro de

Mãe Luiza (Alto da encosta) e Praia de Areia Preta (paralela ao mar) afetada pelo movimento de massa justaposto a imagem de satélite antes do movimento, cuja visualização foi obtida diretamente do “Google Earth” em 22 de janeiro de 2013.

A região compõe uma depressão topográfica já conhecida, confluência natural das águas, deve ser tratada como uma microbacia cujo exutório se encontra na Av. Sílvio Pedroza. Na Figura 2 pode-se observar a área que foi afetada pelos movimentos de massa antes da ocorrência do evento.

De acordo com Amaral et al. (2014) sob o ponto de vista geológico a vertente afetada corresponde ao campo de dunas “Parque das Dunas”, e está assentada sobre sedimentos do Grupo Barreiras, mas mesmo na cicatriz aberta não se verificou a presença desta unidade basal, o que é corroborado pelo fato de que toda a massa sedimentar envolvida corresponde a areias de dunas (areias quartzosas) e detritos o que indica que a unidade basal não foi afetada.



Figura 1. Área diretamente afetada pelos movimentos de massa (Amaral et al., 2014).



Figura 2. Vista frontal - Imagem de satélite obtida diretamente do “Google Earth” 20 de janeiro de 2011.

2.2 Aspectos Geotécnicos

De acordo com Santos jr. et al. (2016) os sedimentos de dunas da região de Natal apresentam uma granulometria que consiste de areias finas a médias, uniformes e sem finos. São classificadas no SUCS como SP. O índice de vazios máximo é em torno de 0,8 e o mínimo aproximadamente 0,6. As areias apresentam massa específica dos sólidos igual a $2,65 \text{ g/cm}^3$, compatível com a origem quartzosa. As vertentes mais íngremes das dunas de Natal apresentam ângulos entre 30° e 32° .

2.1.1 Ensaios de Caracterização

Foi coletada uma amostra de solo na área da encosta de Areia Preta denominada “Amostra Dunas / Areia Preta” para realização dos ensaios de caracterização e de obtenção dos parâmetros de resistência do solo. O aprofundamento das análises e os ensaios foram realizados no Laboratório de Solos e Instrumentação da UFPE como parte das atividades de pós-doutoramento do primeiro autor no GEGEP / UFPE.

Os resultados dos ensaios da “Amostra Dunas / Areia Preta” foram comparados com os resultados obtidos por Fontoura (2015) em uma amostra de solo denominada “Amostra Dunas / UFRN” coletada em duna situada no Campus da UFRN. Os locais de coleta das amostras estão apresentados na Figura 3 e distam um do outro aproximadamente 5,5 km.

A análise granulométrica do solo coletado na encosta adjacente à praia de Areia Preta foi executada com e sem o uso da substância defloculante. Na Figura 4 estão apresentadas as curvas granulométricas (com e sem o uso da substância defloculante) do solo coletado em camada profunda da encosta adjacente à Praia de Areia Preta (amostra relativa a profundidade de aproximadamente vinte metros) e do solo estudado por Fontoura (2015) coletado no campus da UFRN (com uso de defloculante). Ambos os solos são areias de dunas.

Na Tabela 1 são mostradas as faixas granulométricas dos solos estudados neste trabalho e por Fontoura (2015) e na Tabela 2 são apresentados os resultados dos ensaios de densidade dos grãos, limites de Atterberg e a

classificação pelo SUCS (Sistema Único de Classificação dos Solos) dos solos coletados na encosta de Areia Preta e na UFRN.



Figura 3. Local de coleta das amostras (Imagem de satélite obtida diretamente do “Google Earth” 13 de dezembro de 2015).

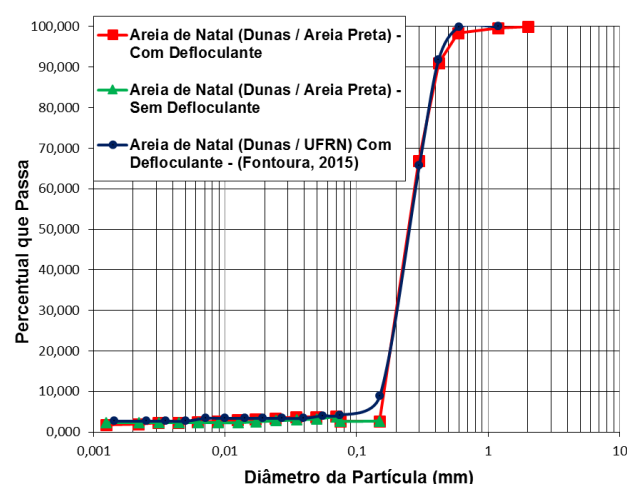


Figura 4. Curvas Granulométricas dos Solos das Dunas.

Tabela 1. Faixas Granulométricas dos Solos.

Faixas Granulométricas	Dunas / Areia Preta.	Dunas / UFRN Fontoura (2015))
Pedregulho	0%	0%
Areia Grossa	1,70%	0,30%
Areia Média	68,30%	71,80%
Areia Fina	26,40%	23,90%
Silte	1,30%	1,30%
Argila	2,30%	2,70%
Total	100,0%	100,0%

Tabela 2. Densidade Real dos Grãos, Limites de Atterberg e classificação SUCS dos Solos.

Solo	Gs	LL	LP	SUCS
Dunas / Areia Preta	2,647	NL	NP	SP
Dunas / UFRN Fontoura (2015)	2,650	NL	NP	SP

Os resultados dos ensaios de caracterização mostram que o solo da encosta de Areia Preta é classificado pelo SUCS como SP (areia mal graduada) e apresenta uma porcentagem de areia média e fina de aproximadamente 95% com densidade real dos grãos de 2,647. Estes resultados estão de acordo com as observações de Santos jr. et al. (2016) a respeito das areias de dunas da cidade de Natal. A porcentagem de solo passando na peneira 200 foi de 2,68%, apresentando Coeficiente de uniformidade de 1,66 e coeficiente de curvatura de 1,06.

2.1.2 Resistência ao Cisalhamento dos Solos

Os ensaios de Cisalhamento Direto (CD) na amostra Dunas / Areia Preta foram realizados sob condição inundada em amostras apresentando pesos específicos aparente seco de 17,0 kN/m³ e 14,7 kN/m³ respectivamente. Foram realizados ensaios com tensões normais de 25, 50, 100 e 200 kPa.

Na Figura 5(a) são apresentados os gráficos de tensão cisalhante x deslocamento horizontal e na Figura 5(b) os gráficos de variação volumétrica x deslocamento horizontal das amostras com peso específico aparente seco de 17,0 kN/m³ e na Figura 6 os gráficos tensão Normal x Tensão Cisalhante das amostras nos dois pesos específicos estudados (14,7 kN/m³ e 17,0 kN/m³).

Na Tabela 3 são apresentados os índices de vazios, pesos aparente seco, coesões e ângulo de atrito do solo estudado e os resultados obtidos por Fontoura (2015) que realizou ensaios triaxiais drenados na amostra “Dunas / UFRN”.

Os resultados dos ensaios de cisalhamento direto no estado inundado com as amostras “Dunas / Areia Preta” mostram um comportamento típico de areia densa em relação a variação volumétrica. Nos gráficos tensão cisalhante x deslocamento horizontal o pico na ruptura apresentou-se pouco pronunciado.

Os ângulos de atrito encontradas tanto para os ensaios de cisalhamento direto, quanto para os ensaios triaxiais drenados foram da mesma ordem de grandeza quando se considera os respectivos pesos específicos aparentes secos dos solos compactados.

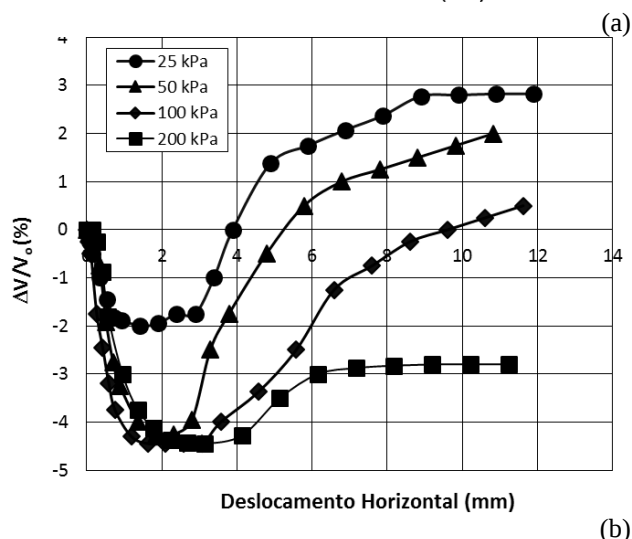
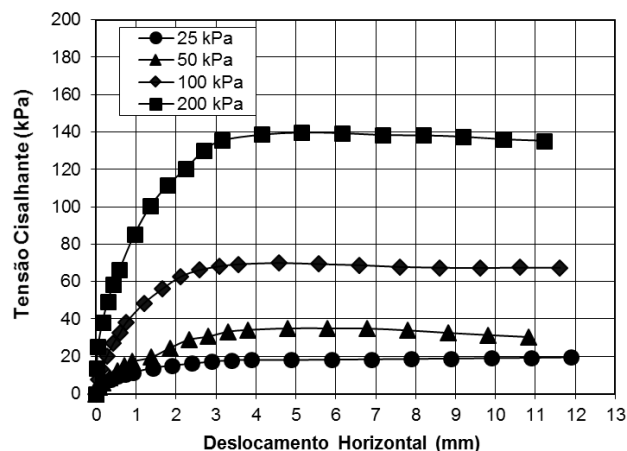


Figura 5. Amostras com $\gamma_d = 17,0 \text{ kN/m}^3$ (a) Tensão cisalhante x deslocamento horizontal. (b) Variação volumétrica x deslocamento horizontal.

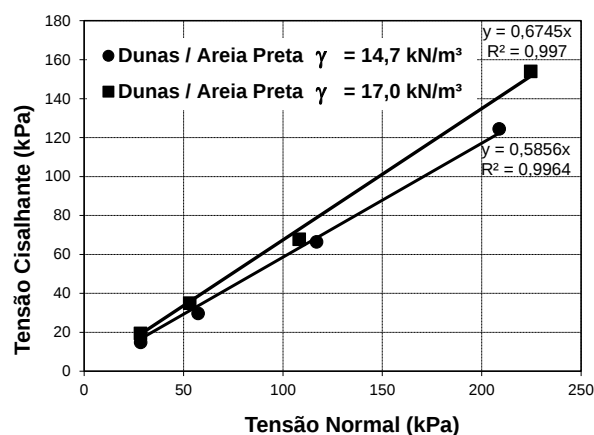


Figura 6. Envoltórias de ruptura.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 3 observa-se que as vertentes mais íngremes com ângulos definidos entre 30 e 32° apresentam-se marginalmente estáveis. No caso das dunas compostas por areias fofas podem ocorrer deslizamentos superficiais.

A vertente adjacente à Praia de Areia Preta

com ângulo de inclinação de aproximadamente 20° apresentava-se na condição estável, com um Fator de Segurança da ordem de 1,5. Para ocorrência de ruptura necessitaria a ação de um fator de causa acionante /agravante.

Tabela 3. Índice de Vazios, Peso Específico Aparente Seco e Parâmetros de Resistência dos Solos.

Solo	e	γ_d (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Dunas / Areia Preta – CD Inundado	0,56	17,0	0,0	34,0
Dunas / Areia Preta – CD Inundado	0,80	14,7	0,0	30,3
Dunas / UFRN Triaxial CID Fontoura (2015)	0,60	16,5	0,0	34,1
Dunas / UFRN Triaxial CID Fontoura (2015)	0,80	14,7	0,00	31,1

3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

De acordo com a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), a chuva que desencadeou os eventos descritos neste item foi contínua por praticamente 50 horas, com um acúmulo no período de 315 milímetros (Amaral et al., 2014), sendo que no segundo dia o valor acumulado de precipitação observado em 24 horas foi de 222 milímetros.

Os fluxos de massa (fluxos de blocos, fluxos de detritos “debris flows”, fluxos de solo ou fluxos de lama “mud flows”) são uma classe de movimentos de massa induzidos pela ação da gravidade, geomorfologia (inclinação, forma, extensão), perfil geotécnico do terreno e elevados índices pluviométricos.

Esses movimentos são ocasionados pela redução muito significativa da resistência ao cisalhamento dos materiais. Este mecanismo de perda de resistência ocorre em encostas íngremes transferindo grande energia e velocidade à massa rompida.

Os movimentos ocorridos na área de dunas ocupada nos limites dos Bairros de Mãe Luíza (na parte superior do movimento) e na Praia de Areia Preta (inferior) são classificados como

fluxos de massa. A parte superior é ocupada por população de baixa renda e a inferior, margeando a Praia de Areia Preta é ocupada por edifícios de alto padrão construtivo.

3.1 Primeiro Movimento de Massa (Fluxo de Areia)

O processo de desestabilização da encosta teve início pela formação de uma subsidência no pavimento da Rua Guanabara (Figura 7). Nesse ponto há concentração de água de drenagem proveniente de toda a área urbanizada acima e da rede de esgoto para a descida até a Avenida Silvio Pedrosa. Essa subsidência provavelmente foi provocada por vazamentos nas redes de drenagem ou de esgoto.

A ocorrência de chuvas de excepcional intensidade no primeiro dia, uma vez que choveu em pouco mais de 24 horas um total de 93 mm, provocou o enchimento da escavação e o rompimento das tubulações da drenagem e de esgoto. Em seguida, os fluxos de água nas tubulações passaram a atuar no sentido de provocar o “desmonte hidráulico da areia”, conforme expressão usada por Costa Nunes (1969) por ocasião dos eventos da Serra das Araras (RJ), que por não apresentar coesão sofreu liquefação e escoou encosta abaixo.



Figura 7. Rua Guanabara no dia 13/06/14 após o primeiro movimento. Cicatriz do movimento comprometendo aproximadamente 40% da largura da Rua.

O evento até este momento tinha como fonte de material erodido a região compreendendo aproximadamente 40% da largura do pavimento da Rua Guanabara (Figura 7) e o muro de arrimo localizado a meia encosta (Figura 8),

abaixo da Rua Guanabara. O material sofreu escoamento e verteu sobre esse muro até atingir a Av. Silvio Pedrosa. A área de deposição do material proveniente da parte superior da encosta aprisionou vários veículos que passavam na Av. Silvio Pedrosa no momento da ruptura (Figura 9).



Figura 8. Muro de contenção localizado 5 metros abaixo da Rua Guanabara (Santos jr. et al., 2016).

A areia saturada comportou-se como um fluido de baixa viscosidade, saindo da parte superior (Rua Guanabara) e da duna na meia encosta até atingir a Av. Silvio Pedrosa e a praia. Este movimento classificado como Fluxo de Areia, deslocando um material estimado em 5.000 m³, destruiu parte da escadaria de acesso a praia e as tubulações de drenagem e de esgoto deixando a encosta exposta aos fluxos de água provenientes dessas redes rompidas.



Figura 9. Material depositado na Av. Silvio Pedrosa após primeiro movimento, em 13/06/14.

Após esse primeiro movimento foram adotadas as seguintes medidas emergenciais: 1) retirada de parte da areia que cobria a avenida Silvio Pedrosa; 2) Executada uma tentativa de

disciplinamento das águas provenientes da Av. Guanabara, 3) Colocação de 3.000 sacos de areia por parte da Secretaria de Obras para conter o processo erosivo junto à base do muro; o que se mostrou insuficiente. Na Figura 10 é mostrada a colocação dos sacos de areia e a tubulação de esgoto exposta na cor alaranjada. 4) Diante da perspectiva e em função do risco iminente da ruptura do muro de arrimo mostrado na Figura 7, a área acima da Rua Guanabara, até a Rua Atalaia, foi evacuada pela Defesa Civil subsidiada pelo devido parecer geotécnico.

Essa medida de evacuação mostrou-se efetiva no sentido da preservação das vidas dos moradores, tendo em vista que o muro rompeu. Apesar dos enormes danos materiais, não houve vítimas fatais associadas ao desastre. Essas medidas emergenciais iniciais foram executadas sob fortes chuvas que continuavam no dia 14 de junho.



Figura 10. Vista da colocação dos sacos de areia e da tubulação de esgoto na cor alaranjada exposta.

3.2 Segundo Movimento de Massa (Fluxo de Detritos)

A continuidade das chuvas solapou a base e descalçou o muro mostrado na Figura 8 que rompeu, tombando e provocando novo fluxo de areia e detritos (restos de construção, móveis, utensílios domésticos e até um carro e motos) que estavam sendo contidos pelo muro que estabilizava a Rua Guanabara e terrenos a montante.

O muro estava apoiado sobre a areia das dunas e não possuía drenos (barbacãs). O fluxo subsuperficial de água começou a retirar a areia por desmorte hidráulico, provocando o

solapamento de sua fundação e provocando sua ruína aproximadamente as 19 horas e 20 minutos do dia 14 de junho de 2014, vindo acarretar a partir daí o colapso de todas as estruturas atingidas.

Esse segundo movimento (fluxo de detritos) foi de proporções bem maiores (aproximadamente 50.000 m³), pois trasladou o muro de gravidade, todo o material contido por ele e ainda teve feições retrogressivas atingindo toda a largura da Rua Guanabara e casas acima até às imediações da Rua Atalaia. A cicatriz do movimento era de aproximadamente 140 metros de comprimento e sua largura no trecho central foi limitada pelas paredes dos edifícios Aldebaram e Infinity. (Figuras 11 e 12).

3.3 Fatores que Desencadearam os Movimentos de Massa

Os principais fatores observados que provavelmente desencadearam o movimento são os seguintes: a) chuvas intensas no período, chuva foi contínua por praticamente 50 horas, com um acúmulo no período de 315 milímetros de água, evento suplantou em muito a capacidade de drenagem instalada na área. b) supressão da vegetação natural da encosta o que acelera ou induz a ocorrência de fluxos superficiais concentrados. c) impermeabilização do setor superior da encosta, devido a uma geometria urbana inadequada. d) confinamento de águas subterrâneas no sopé da encosta com elevação da superfície freática.



Figura 11. Vista geral da área após segundo movimento.



Figura 12. Vista frontal da área de deposição de areia liquefeita na Praia de Areia Preta.

3.4 Danos Causados Pelos Movimentos de Massa

Os danos causados pelos dois movimentos de massa ocorridos foram a destruição de cem metros da Rua Guanabara, redes de energia elétrica, esgoto, água e galerias pluviais localizadas na encosta e na Rua Guanabara, e destruição de trinta ou mais residências. Além do risco iminente de deslizamento de pelo menos trinta ou mais residências entre as Ruas Guanabara e Atalaia, movimentação estimada de cerca de 55.000 m³ de areia e detritos, sendo 5000 m³ relativos ao primeiro movimento de massa (fluxo de areia) e o restante (50.000 m³) relativos ao segundo movimento de massa (fluxo de detritos). Na Figura 13(a) é mostrado o muro de arrimo tombado e na Figura 13(b) exemplos de detritos transportados.

4 MEDIDAS DE EMERGÊNCIA ADOTADAS APÓS A CATÁSTROFE

Em reunião do Gabinete de Crise no Palácio Felipe Camarão, sede municipal da Prefeitura do Natal com a presença de todas as autoridades competentes a equipe responsável pela elaboração do “Relatório da Visita à Praia de Areia Preta, na Vertente Onde Ocorreu Uma Movimentação de Terra” sugeriu diversas medidas emergenciais que foram discutidas e prontamente implementadas pelo poder público municipal.

Dentre as principais medidas sugeridas destacam-se: 1) Atendimento imediato e total a

população atingida. 2) Declaração que toda a Rua Guanabara e área circunvizinha constituíam uma região de alto risco de deslizamento. 3) Demarcação por parte da equipe sobre a área a ser evacuada pela população. 4) Não intervenção momentânea de engenharia no local, pois o processo de movimento de massa ainda estava em evolução. 5) Não colocação imediata de lonas plásticas e outras intervenções pontuais, pois as lonas poderiam ocultar sinais de deslizamentos ainda ativos. 6) Não remoção imediata do solo da pista em Areia Preta para servir de berma de equilíbrio para o solo deslizado a montante. A remoção com o solo liquefeito acima poderia ocasionar em um primeiro momento novos deslizamentos. 7) Vistoria em casas, Ruas e terrenos na área da catástrofe com monitoramento por parte da Secretaria de Obras desses locais (engenheiro da secretaria designado para esse monitoramento diário). 8) Exigência da Prefeitura aos Síndicos dos prédios da área de Areia Preta para que contatem seus construtores e/ou engenheiros projetistas / calculistas para verificar o funcionamento de suas cortinas atirantadas quanto aos drenos e indícios de movimentações.



Figura 13. (a) Muro de arrimo tombado; (b) Detritos transportados pelo fluxo.

5 CONCLUSÕES

Conclui-se que a vertente afetada corresponde ao campo de dunas “Parque das Dunas”. Toda a massa sedimentar envolvida corresponde a areias de dunas e detritos e indica que a unidade basal (Formação Barreiras) não foi afetada.

A região compõe uma depressão topográfica formando uma microbacia cujo exutório se encontra na Avenida Governador Sílvio Pedroza na base da encosta paralela a linha de praia. Os fluxos de areia e de detritos tiveram como causas principais as chuvas intensas no período. Esse evento pluviométrico suplantou em muito a capacidade de drenagem instalada na área.

A supressão da vegetação natural da encosta e a impermeabilização do setor superior da encosta devido a uma geometria urbana inadequada acelerou ou induziu a ocorrência de fluxos superficiais concentrados. Estes fluxos d’água concentrados (fator de causa acionante / agravante) reduziram drasticamente a estabilidade existente, desencadeando um primeiro movimento de massa (fluxo de areia) no primeiro dia com a destruição de parte do sistema de esgotos e de galerias pluviais, o que contribuiu para concentrar ainda mais este fluxo e desencadear o grande movimento ocorrido (fluxo de detritos) no segundo dia.

Buscando minorar os impactos e remediar a situação medidas emergenciais foram adotadas.

REFERÊNCIAS

- Amaral, R. F. do; Severo, R. N.; Bentes Sobrinha, M. D. P. (2014). Relatório Técnico “*Relatório da Visita à Praia de Areia Preta, na Vertente Onde Ocorreu Uma Movimentação de Terra*”. Natal. 19p.
- Costa Nunes, A. J. (1969): “*Landslides in Soils of Decomposed Rock due to Intense Rainstorms*”. In: 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, México. vol. 2:547-554.
- Fontoura, T. B. (2015). *Comportamento Tensão-Deformação e Resistência ao Cisalhamento de uma Areia de Duna Cementada Artificialmente*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 168p.
- Santos Júnior, O. F.; Severo, R. N. F.; Freitas Neto, O. (2016). *Movimentos de Massas em Encostas da Cidade de Natal/RN*. Capítulo Livro “*Willy Lacerda: Doutor no Saber e na Arte de Viver*”. Org. COPPE - UFRJ. 1 ed. Outras Letras, Rio de Janeiro. 360p.