

VULNERABILIDADES DOS SISTEMAS NATURAIS

BIODIVERSIDADE E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO: APRECIÇÃO GERAL DAS VULNERABILIDADES FACE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

VULNERABILIDADE DOS MANGUEZAIS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO FACE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

VULNERABILIDADES DAS LAGOAS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

MONITORAMENTO DOS PROBLEMAS DE ENCOSTA NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CURSO E FUTURAS

MONITORAMENTO DOS PROBLEMAS DE ENCOSTA NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CURSO E FUTURAS

André de Souza Avelar | *GEOHECO, Lab. de Geo-Hidroecologia – Dept. Geografia - UFRJ*

Ana Luiza Coelho Netto | *GEOHECO, Lab. de Geo-Hidroecologia – Dept. Geografia - UFRJ*

Ricardo Neiva d’Orsi | *Alerta Rio, Fundação GeoRio - PCRJ*

Introdução

Considerando corretas as projeções de aumento médio na temperatura da média do planeta ocasionadas devido ao lançamento de gases de efeito estufa na atmosfera, conforme apresentadas pelo Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC - 2007), que sugere aumento entre 2,0 a 2,4 °C até o final do século XXI (IPP, 2008) deverão haver modificações críticas dos processos terrestres, com conseqüências graves para as atividades humanas. Este aumento de temperatura deverá provocar mudanças importantes na dinâmica do planeta, que dentre outras conseqüências, resultarão principalmente no derretimento de geleiras, elevação do nível do mar e também modificações muito significativas na distribuição espacial, duração, freqüência, magnitude e intensidade das chuvas e estiagens. Apesar dos cenários futuros apontados pelo IPCC serem cada vez mais aceitos, alguns cientistas ainda questionam o grau de certeza associado a tais projeções (Molion, 2008), em razão de muitas análises serem essencialmente baseadas em modelos atmosféricos e tendo em vista que somente a partir da metade do século XIX começaram as mensurações sistemáticas de temperatura, configurando ainda séries temporais muito distintas. Conforme destacado por Budyko (1977) as mensurações sistemáticas iniciaram-se em meados do século XIX e com poucas estações no planeta (menor ainda no hemisfério sul), havendo registros mais abrangentes após 1950.

Contradições à parte, muito se fala em cenários futuros, mas já há vários indícios dos dias atuais em escala local ou regional que apontam para maior ocorrência ou intensidade de fenômenos climáticos extremos, tais como chuvas intensas associados a deslizamentos generalizados e inundações severas, ressacas e erosão costeira, temperaturas muito elevadas ou extremamente baixas, nevascas e estiagens prolongadas.

No caso do Brasil, como a geração de energia por combustíveis fósseis é reduzida e a maior parte das emissões de gases de efeito estufa está relacionada com a queima vegetal (pastagens, resíduos de cultivos e também biomas florestais e de cerrado), a cada fórum internacional sobre o tema, o país vem assumindo metas mais ambiciosas para redução destas emissões. No Brasil há também iniciativas estaduais e municipais, que se preocupam principalmente com a adequação social,

econômica e da infraestrutura pública frente às conseqüências das mudanças do clima, abordando predominantemente os problemas associados com a elevação do nível do mar, as ocorrências de chuvas catastróficas e as estiagens prolongadas. O Município do Rio de Janeiro foi um dos pioneiros nisso, em 2007 reuniu especialistas em um seminário organizado pelo Instituto Pereira Passos (IPP), que gerou o documento “Rio: o Aquecimento Global e a Cidade - próximos 100 anos”. Neste livro, publicado em 2008, os presentes autores redigiram o capítulo “Domínio do Ecossistema da Floresta Atlântica de Encostas”, onde estão expressas as relações geo-hidroecológicas que regulam a dinâmica e estabilidade das vertentes da Cidade do Rio de Janeiro. Foram apresentadas também contribuições para atenuar a vulnerabilidade destas encostas frente às mudanças climáticas em curso e futuras.

Dando seqüência ao que foi estabelecido no capítulo mencionado, o atual texto visa aprofundar o conhecimento de algumas relações geo-hidroecológicas nos domínios das encostas e apresentar propostas para o monitoramento dos problemas de deslizamentos e erosões mais comuns no Município do Rio de Janeiro frente às mudanças climáticas. Um exemplo claro das instabilidades das encostas provocadas por chuvas intensas se deu em abril de 2010, quando ocorreram deslizamentos generalizados na Cidade do Rio de Janeiro, gerando a paralisação das atividades produtivas e serviços por cerca de três dias, culminando com danos expressivos na infraestrutura pública e levando à morte cerca de 70 pessoas. Este fenômeno catastrófico teve distribuição espacial mais ampla e foi muito grave em outras cidades da região metropolitana do Rio de Janeiro, tais como Niterói, São Gonçalo, Duque de Caxias, Magé, Petrópolis e Teresópolis. Outro evento deste tipo e também muito recente ocorreu no início de 2010, chuvas excepcionais também geraram deslizamentos na região sul do Estado do Rio de Janeiro, causando danos em residências e rodovias, bem como muitas mortes nos municípios de Angra dos Reis, Parati e Mangaratiba.

Dinâmica geo-hidroecológica das encostas e suas relações com a ocupação urbana

A ocupação urbana no Município do Rio de Janeiro se acentuou a partir do início do século XIX, ocorrendo nas planícies flúvio-marinhas (baixadas) e avançando em direção às encostas e fundos de vale dos compartimentos montanhosos (maciços da Tijuca, Pedra Branca e Gericinó-Mendanha). Esta composição urbana associada com planícies e encostas montanhosas, entremeadas por fragmentos florestais é característica da paisagem carioca. As florestas em bom estado de conservação (secundárias tardias e clímax) representam o ecossistema original de Mata Atlântica sobre estes maciços, sendo paulatinamente removida conforme o adensamento da ocupação, principalmente após o início do século XIX. A remoção mais significativa perdurou até a metade do século XX

(Fernandes, 1997), quando em 1953 foi instituído o Parque Nacional da Tijuca (PARNA Tijuca). Apesar da demarcação do PARNA Tijuca, entre os anos 50 e este início do século XXI observa-se alguma redução da área florestada, em especial, devido á ocorrência de incêndios relacionados com a queda de balões juninos ou que se iniciam nas áreas mais pobres e se propagam para a borda dos fragmentos de floresta (GEOHECO, 2000). Devido a esta significativa redução da cobertura florestal, nos últimos 20 anos diversas encostas da Cidade foram reflorestadas com leguminosas de rápido crescimento entremeadas com espécies nativas, através do Projeto Mutirão de Reflorestamento da PCRJ, havendo bons resultados em algumas áreas no entrono do Maciço da Tijuca. O que se observa hoje é um mosaico com fragmentos florestais de diferentes dimensões, entremeados principalmente com vegetações pioneiras, gramíneas, estradas, logradouros públicos, manchas de ocupações comerciais e manchas de edificações residenciais formais ou informais (favelas). As incidências de chuvas intensas ou muito prolongadas neste ambiente urbano-florestal-montanoso resultam em ocorrências de deslizamentos catastróficos, pois a própria conformação do substrato geológico e dos solos associados são susceptíveis aos processos de movimentos de massa (GEOHECO, 2000; Coelho Netto et al., 2007).

O substrato geológico destes maciços é composto principalmente por rochas metamórficas de alto grau e por rochas ígneas intrusivas, formadas em profundidade na crosta terrestre (entre 6 a 10 km), oriundas do evento tecno-magmático Brasileiro (Pires, 1998; Almeida & Hasui, 1984), com idade pré-cambriana (mais de 630 milhões de anos atrás). Este evento tectônico-magmático deu origem a uma faixa de dobramento de escala continental, fazendo com que a maioria das rochas metamórficas adquirissem deformações expressivas, que se refletem na orientação de seus minerais e resultam em marcante foliação metamórfica (Heilbron et al., 1993). Em virtude disso, estas rochas apresentam-se muitas vezes com sistemas de fraturas tectônicas expressivos. Durante este evento tectono-magmático, algumas partes mais profundas e aquecidas da crosta atingiram condições para geração de magma (anatexia) e foram formados corpos ígneos anatóticos (granitos e granodiritos), parcialmente deformados.

Após o término do ciclo Brasileiro, todo esse conjunto de rochas foi ascendendo ao longo do tempo geológico através de processos epirogenéticos, relacionados com a abertura do Oceano Atlântico, até atingir à superfície terrestre e compor a atual paisagem carioca. As rochas metamórficas foliadas (principalmente biotita-gnaisses e xistos) apresentam menor resistência ao intemperismo e à erosão e compõem os fundos de vale principais e estruturalmente orientados. Por outro lado, as rochas ígneas (granitos) e as metamórficas sem foliação marcante (gnaisse facoidal e charnoquitos) mostram-se muito mais resistentes e compõem os maciços e pontões mais expressivos: Pedra da Gávea, Pico da Tijuca, Pico do Archer, Corcovado e Pão de Açúcar.

Esta composição geológica associada ao clima tropical úmido influencia diretamente a ocorrência de movimentos de massa nas encostas do Rio de Janeiro (Avelar & Lacerda, 1996; Amaral, 1996; Lacerda, 1999; Avelar, 2001; Coelho Netto et al., 2007; 2009, dentre outros). A ação do intemperismo químico no decorrer do tempo geológico sobre as rochas existentes no Rio de Janeiro produziu solos saprolíticos (solos residuais) com espessuras variadas no domínio de encosta (Meis & Silva, 1968). Nos trechos de maior espessura há a tendência a deslizamentos e, quando isto ocorre, formam-se solos depositados chamados de colúvios. Estes colúvios prevalecem no sopé das encostas ou nos fundos de vale geralmente com níveis de água subterrânea próximos à superfície do terreno, tornando-se muito susceptíveis aos movimentos de massa, em especial quando sofrem cortes para implantação de edificações ou rodovias. Por outro lado, nos trechos de encostas íngremes com solos residuais pouco espessos, as ocorrências de chuvas intensas levam os solos à saturação (ou próximo), reduzindo a resistência ao cisalhamento dos mesmos e causando também movimentos de massa (Fell et al., 2000). Além disso, por vezes, a incidência de chuvas intensas sobre os afloramentos de rochas fraturadas situadas em encostas mais íngremes ou escarpas, pode deflagrar ocorrências de quedas e rolamentos e deslizamentos de blocos ou lascas rochosas, que também são muito destrutivos para as edificações e infraestrutura urbana.

As ocorrências de afloramentos rochosos, encostas com saprolitos e trechos de sopés e fundos de vale com depósitos coluviais estão diretamente relacionados com dinâmica natural de geração de movimentos de massa, que vem sendo provocada ao longo do tempo geológico, em especial durante o período Quaternário (últimos 2 milhões de anos). Apesar disso, há indicadores que mostram que houve oscilações entre épocas de maior instabilidade nas encostas, ou seja, com mais atividade de movimentos de massa e outras mais estáveis. Segundo Bigarella et al., (1965), Ab'Saber (1966, 1967), Meis et al., (1975), Coelho Netto (1999) o fator que gerou maior estabilidade das encostas durante o Quaternário no sudeste do Brasil está relacionado ao adensamento da cobertura florestal. Este adensamento tende a aumentar nas épocas de maior temperatura e umidade, quando os processos de intemperismo químico se sobressaem em relação aos processos erosivos (incluindo os movimentos de massa). Já nas épocas menos quentes e menos úmidas, tende a ocorrer a rarefação da cobertura vegetal e a proliferação dos processos erosivos. Entretanto, Coelho Netto (1999) mostra que as maiores instabilidade mostraram-se na passagem do Pleistoceno para o Holoceno (cerca de 10 mil anos atrás), quando houve a transição de um clima menos quente e menos úmido, para o atual clima quente e úmido. Ao que parece, esta mudança climática ocorreu antes que a cobertura vegetal atingisse a condição de floresta densa, havendo maior freqüência de chuvas intensas, contudo sem que ainda houvesse maior estabilidade nas encostas; que somente seria proporcionada pela floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) a ser estabelecida posteriormente.

A qualidade ecológica da cobertura florestal mostra-se muito importante para evitar a intensificação dos processos de movimentos de massa, porém não se sabe ao certo quais seriam as conseqüências do aumento da temperatura atmosférica em curto prazo (cerca de 100 anos) e nem é possível desconsiderar estes efeitos junto com as interações dinâmicas de ocupação urbana e uso do solo. As relações espaciais e temporais na interface cidade-floresta não são tão fáceis de serem gerenciadas, especialmente quando se observa uma expansão urbana cada vez mais rápida (GEOHECO, 2000), característica de uma megacidade como o Rio de Janeiro. A situação se agrava mais ainda quando esta expansão é seguida pelo crescimento demográfico e intensificação da pobreza, aliada à escassez de moradias populares e ausência de medidas reguladoras, mitigadoras ou preventivas de desastres. A crescente vulnerabilidade sócio-ambiental das áreas de favelas, tanto nas encostas como nas planícies ou baixadas costeiras, anuncia os perigos e os riscos de desastres relacionados às chuvas intensas e especialmente quando se considera o aumento da freqüência dos eventos de maior intensidade. O ritmo da mudança do futuro próximo em relação ao passado histórico aponta para uma crescente degradação do estado de conservação geoecológico dos fragmentos de floresta (Mata Atlântica), decorrentes das mudanças climáticas anunciadas e do incremento da dinâmica de expansão urbana.

Deste modo, o aumento da freqüência dos eventos extremos de chuvas deverá ter um papel relevante na detonação dos movimentos de massa, porém mais que isso, a magnitude destes desastres estará associada ao estado de vulnerabilidade dos ecossistemas florestais nos domínios de encosta.

As chuvas intesas de 1988, 1996 e 2010 no rio de janeiro

As ocorrências generalizadas e mais recentes de movimentos de massa nas encostas do Município do Rio de Janeiro ocorreram em 18, 19 e 20 de fevereiro de 1988; 12 e 13 de fevereiro de 1996 e 05 e 06 de abril de 2010. Curiosamente, no momento da finalização deste presente texto ocorreram diversos movimentos de massa catastróficos na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro (figura 01), exatamente na passagem do dia 11 para 12 de janeiro de 2011, gerando mais de 1000 mortes e atingindo os municípios de Petrópolis, Sumidouro, Bom Jardim, Teresópolis e Nova Friburgo. Este evento catastrófico da Região Serrana ainda não pôde se melhor estudado, porém observações de campo dão conta que houve em alguns locais cerca de 170 mm de chuva em 8 horas, causando inúmeros deslizamentos rotacionais, planares e fluxos de detritos. A título de ilustração seguem abaixo algumas imagens deste evento.



Conjunto de deslizamentos em solo saprolítico, na localidade de Cascata do Imbuí, Teresópolis. Segundo informações locais, ocorreram 12 mortes nesta encosta. Estes materiais mobilizados são responsáveis pelo incremento de sólidos nos fluxos detríticos ocorridos na região, que ao se mobilizarem pelos fundos de vale vitimaram centenas de pessoas.



Depósito originado a partir do fluxo detrítico no Bairro Caleme, Teresópolis. Ressalta-se a ocorrência de deslizamentos translacionais rasos, situados a montante, que auxiliaram no incremento de sólidos para o fluido denso, que permitiu a mobilização de blocos de rocha e troncos de grande dimensão.



Deslizamento de grande dimensão em solo saprolítico decorrente da decomposição de granito, localizado próximo à localidade de Conquista, em Nova Friburgo. Além deste, vários outros movimentos de massa geraram acréscimo de sedimentos para os fundos de vale principais, gerando assoreamento generalizado e centenas de mortes.

Figura 01: Deslizamentos e fluxos de detritos ocorridos em 12 de janeiro de 2011, na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro.

Os movimentos de massa havidos em 1988 se concentraram nos municípios do Rio de Janeiro e Petrópolis, sendo mais comuns as ocorrências de deslizamentos planares e rotacionais, que causaram inúmeras perdas e cerca de 60 mortes. No Rio de Janeiro, isto é, na estação Capela Mayrink situada no Maciço da Tijuca, foram observados 980 mm de chuva para o mês de fevereiro, sendo que no dia 12 houve 148 mm de precipitação e no dia 13 foi considerado a maior á registrada na cidade, alcançando 242 mm.

As ocorrências de movimentos de massa ocorridas em 1996 se mostraram mais concentradas sobre o Município do Rio de Janeiro, mais precisamente sobre os maciços da Tijuca e do Pedra Branca, apresentando principalmente deslizamentos planares e fluxos de detritos ('debris flows') que produziram cerca de 75 vítimas fatais. No maciço da Tijuca os fluxos de detritos foram os mais destrutivos, pois desceram com extraordinária energia cinética ao longo dos vales dos rios Quitite, Papagaio, Leandro e Córrego da Fazendinha e soterraram inúmeras residências, estradas e equipamentos públicos na baixada de Jacarepaguá.

Os movimentos de massa ocorridos entre 05 e 07 de abril de 2010 observados no Maciço da Tijuca apresentaram uma tipologia muito similar entre si (Coelho Netto et al., no prelo), ou seja, essencialmente ocorreram movimentos de massa do tipo deslizamentos (também chamados de escorregamentos), havendo apenas um caso diagnosticado como fluxo de detritos (corrida de detritos) encontrado na Floresta da Tijuca (Figura 02 – Coelho Netto et al., no prelo). A maioria destes deslizamentos foi translacional, ligados principalmente aos saprolitos originados de biotita-gnaiss ou leptinito, muitas vezes ligados a cortes de estrada ou cortes relacionados à implantação de edificações residenciais. Neste evento extremo a Floresta da Tijuca assumiu um papel fundamental na estabilidade das encostas, uma vez que atuou na distribuição gradativa da água da chuva para o interior dos solos e também na resistência dos solos das encostas. Estes efeitos atenuadores da instabilidade são controlados pelo sistema radicular das espécies florestais em bom estado de conservação. Estudos de Coelho Netto et al. (1984) e Miranda et al. (1991) mostram que a floresta em bom estado de conservação intercepta entre 17 e 23% da precipitação média anual (2300 mm). Além disso, a serrapilheira florestal associada à atividade biogênica no topo do solo propicia altas taxas de infiltração e estocagem das águas das chuvas, mesmo aquelas intensas. Coelho Netto (2007) ressalta que apenas 30% da precipitação anual convergem para os canais fluviais durante os períodos chuvosos; cerca de 50% das chuvas anuais são estocadas nos solos e no meio rochoso fraturado, e parte deste estoque retorna gradualmente para a atmosfera por evapotranspiração. No caso dos eventos de abril de 2010 o ecossistema florestal constituiu-se como um sistema regulador das condições hidro-climáticas, melhorando a estabilidade dos solos e das encostas. Por outro lado, observou-se que a maioria dos movimentos de massa ocorreu junto às áreas edificadas (muitas formais) e aos cortes de estrada, acentuando o efeito catastrófico promovido pela interação dos fenômenos pluviométricos extremos com as áreas de expressivo uso urbano.

Cabe ressaltar que os solos envolvidos nestes movimentos de massa foram essencialmente solos saprolíticos. Os saprolitos de biotita-gnaiss apresentam granulometria argilo-arenosa ou areno-argilosa com coloração vermelho a vermelho-alaranjada quando os mantos de intemperismo são mais profundos (entre 3 a 6 m de espessura), variando para solos silto-arenosos de coloração rosada,

quando as espessuras de intemperismo ainda estão menores, variando entre 0,5 a 3 m. O solo saprolítico originado a partir do leptinito apresenta granulometria arenosa ou areno-siltosa, com coloração esbranquiçada e apresenta geralmente espessuras muito delgadas, atingindo no máximo até 3 metros.

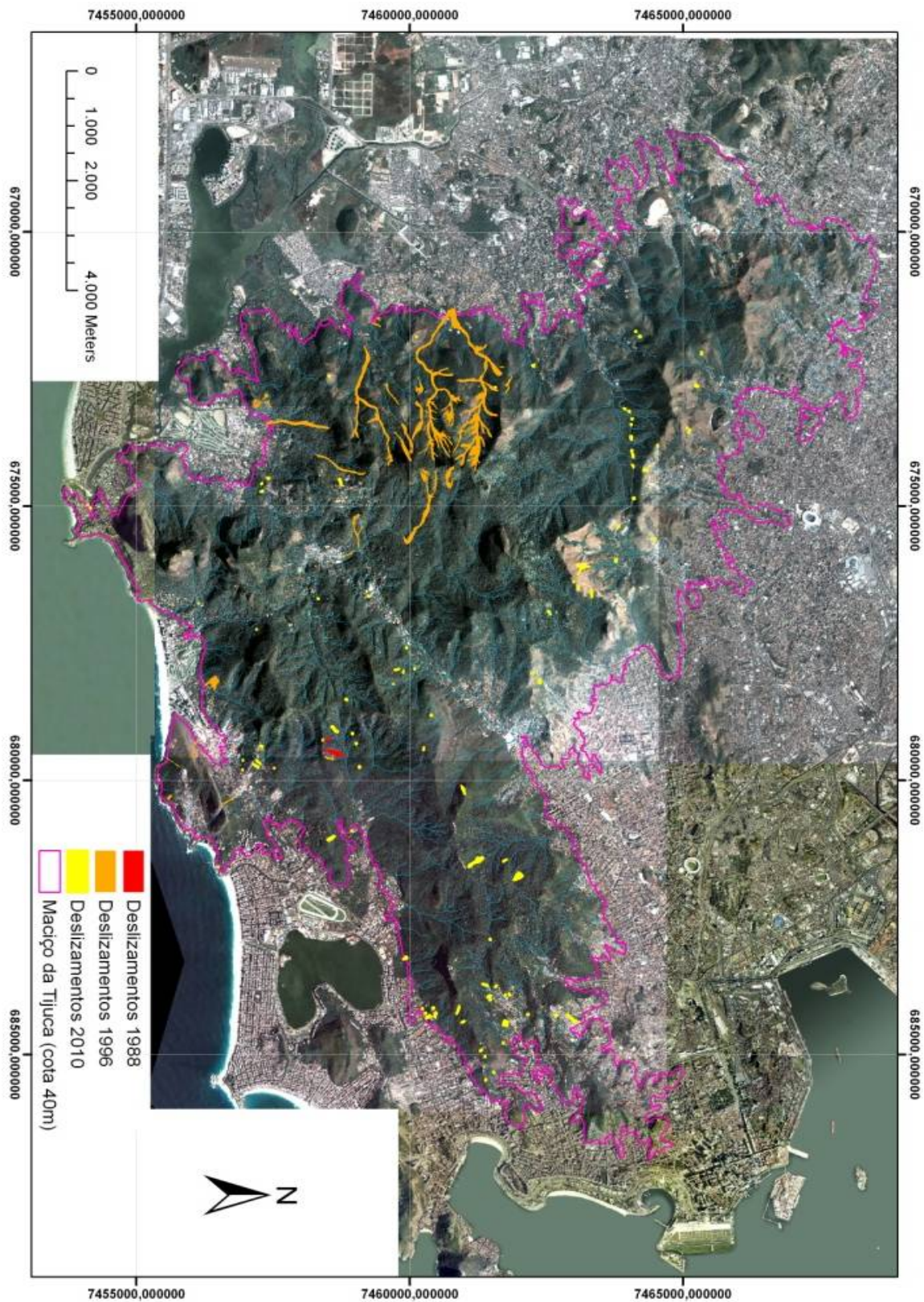


Figura 02: Comparação entre os movimentos de massa no Maciço da Tijuca durante os eventos catastróficos de abril de 2010; fevereiro de 1996 e fevereiro de 1988 (Coelho Netto et. al., no prelo).

A distribuição da chuva, entre os dias 05 e 06 de abril de 2010, mostrou elevada quantidade sobre o Pico do Sumaré, com incidência mais intensa nos bairros da Gávea, Jardim Botânico, Humaitá, Cosme Velho, Santa Teresa, Alto da Boa Vista e Tijuca, com valores acima de 240 mm e alcançando valor máximo de 340 mm em 24 h. Na passagem do dia 05 a tarde para o final do dia 06, praticamente não houve interrupção na chuva, tendo havido um contínuo de precipitação com intensidade elevada e quase constante. As conversas com moradores locais indicam que não houve um horário de chuva muito mais intensa que seja comum a todos os deslizamentos, que pudesse caracterizar um efeito 'trigger', ao contrário, parece que cada deslizamento ocorreu em um determinado horário.

Conforme as características das chuvas e dos materiais envolvidos, acredita-se que no decorrer do evento de chuva houve gradativo aumento da umidade no solo, com conseqüente diminuição da sucção, que levou à redução da resistência dos materiais e resultou nos escorregamentos. É possível que não tenha ocorrido a formação de uma zona de saturação junto à superfície de ruptura, ou, se isto ocorreu, deve ter havido uma saturação breve e restrita à superfície de cisalhamento. Isto pode ser inferido a partir da restrita mobilização do material rompido após o deslizamento, não havendo grandes distâncias de deslocamento de solos abaixo (a jusante) das rupturas. No caso dos deslizamentos ocorridos em cortes de estrada, muitos ficaram depositados junto à pista de rodagem, em vários casos permitindo a passagem de um veículo por vez. Alguns chegaram a ultrapassar a pista e somente poucos deslizamentos destruíram a pista de rodagem por inteiro.

Em Niterói ficou muito marcante o deslizamento ocorrido no Morro do Bumba, que vitimou 47 pessoas e que teve como principal característica a ruptura de um material composto por solo e lixo acumulado ao longo de dezenas de anos. Além deste evento do Morro do Bumba, ocorreram na cidade de Niterói vários deslizamentos planares e rotacionais de menor porte, que geraram danos a residências, estradas e equipamentos públicos. A maioria estava relacionado a cortes de estrada ou para implantação de edificações, com rupturas geradas devido à redução da sucção do solo por conseqüência das chuvas intensas. Cabe ressaltar, que em Niterói não houve registro de valores de precipitação, uma vez que não havia estação pluviométrica em funcionamento no município.

Medidas de monitoramento de chuvas e encostas frente aos eventos extremos decorrentes das mudanças climáticas

Tendo em vista que no decorrer deste século ocorrerá o aumento da frequência dos eventos de chuvas extremos (deflagradores de movimentos de massa), torna-se premente e necessária a implementação de intervenções (obras e medidas estruturais) mitigadoras dos riscos e de adequações para as novas condições climáticas e de maior vulnerabilidade quanto aos processos de

instabilização nas encostas que a Cidade estará exposta. Conforme foi indicado anteriormente para o Município do Rio de Janeiro (Coelho Netto, Avelar & d'Orsi, 2008), é importante realizar estudos para a qualificação e o zoneamento sócio-ambiental em escala detalhada (entre as escalas 1:10.000 e 1:5.000), incluindo diagnósticos da susceptibilidade e riscos de deslizamentos, como previsto na metodologia do GEOHECO-SMAC/RJ (2000). Além disso, em áreas críticas, tais estudos devem ser detalhados na escala 1:2.000, servindo também como base para a regularização das edificações nestas encostas. Outro trabalho nesta direção foi concluído pela GEO-RIO, em dezembro de 2010, aonde foi realizado um levantamento da suscetibilidade a escorregamento em todo o Município do Rio de Janeiro (na escala 1:10.000) e especificamente, no entorno do Maciço da Tijuca abrangendo 117 comunidades pobres, foram feitos mapas de risco na escala 1:2.000. Este trabalho apontou a identificação de 18.000 moradias em risco e foram iniciados os estudos geotécnicos para intervenções nestas áreas.

Dentre as medidas voltadas para redução dos riscos, devem ser citados como fundamentais os sistemas de monitoramento de chuvas e dos mecanismos de instabilidade das encostas, que visam fundamentalmente a emissão de alerta para a população.

Neste contexto, o monitoramento e a emissão de alertas de chuva intensas têm sido realizados desde 1996, quando foi criado o Sistema de Alerta de Chuvas e de Escorregamentos de Encostas do Município do Rio de Janeiro – Sistema Alerta Rio (<http://www0.rio.rj.gov.br/alertario> e <http://www.sistema-alerta-rio.com.br/>). Este serviço de utilidade pública é integralmente mantido e operado pela PCRJ e conta com a presença de geotécnicos, meteorologistas e técnicos em eletrônica e em tecnologia de informação (TI). A operação do Sistema Alerta Rio é feita 24h por dia e 7 dias por semana com a vigilância meteorológica do território municipal e circunvizinhanças e o monitoramento das condições de estabilidade das encostas. A vigilância meteorológica conta com imagens de radares meteorológicos, sendo um deles próprio da Prefeitura (Figura 03) instalado dentro da Cidade do Rio de Janeiro e outro pertencente ao Comando da Aeronáutica (instalado no Pico do Couto, Município de Petrópolis, RJ), imagens de satélite, informações meteorológicas regulares dos aeródromos (METAR), rede de detectores de descargas elétricas (RINDAT), modelos numéricos computacionais de previsão do tempo, cartas sinóticas e um grande variedade de informações meteorológicas disponibilizadas pelas instituições de pesquisa e prestação de serviços meteorológicos.

O monitoramento das encostas é basicamente efetuado por meio da constante medição e análise dos dados pluviométricos das (atuais) 32 estações pluviométricas e 2 estações meteorológicas automáticas que integram a rede telemétrica do Sistema (Figura 04). Estas estações enviam os seus registros a cada 15 minutos e, quando a pluviometria crítica é atingida as instituições municipais (Defesa Civil, Guarda

Municipal, Rio Águas, COMLURB, etc.) que atuam diretamente nos problemas associados às chuvas são avisadas.

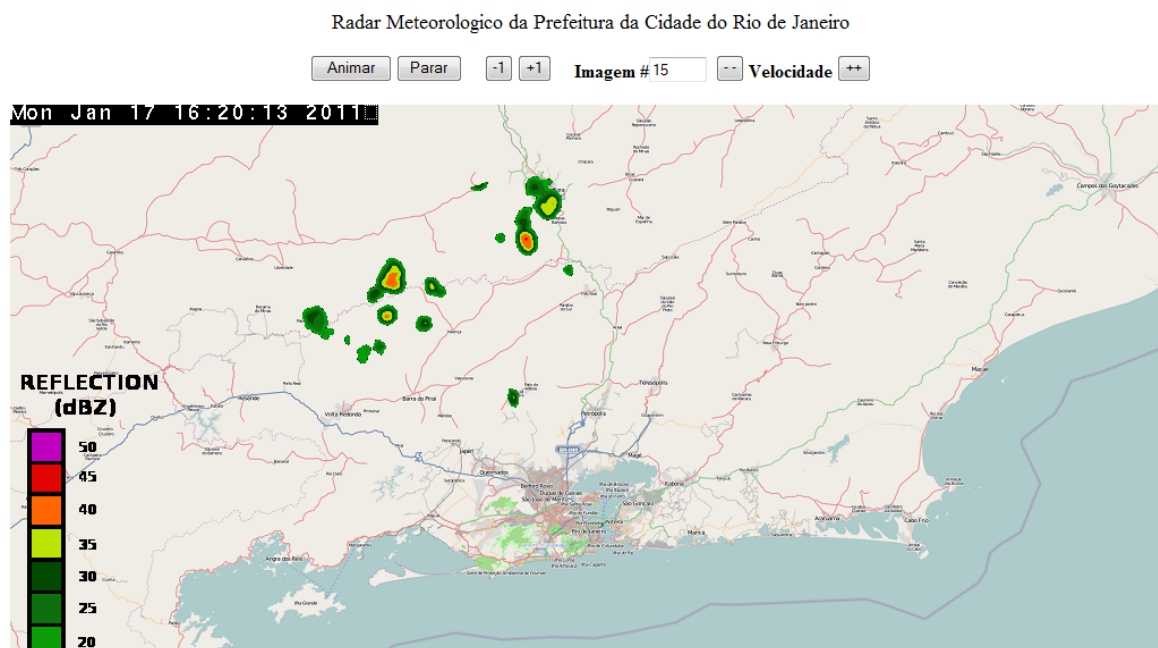


Figura 03: Imagem do radar meteorológico da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro: permite a previsão de chuvas intensas para Cidade com algumas horas de antecedência.

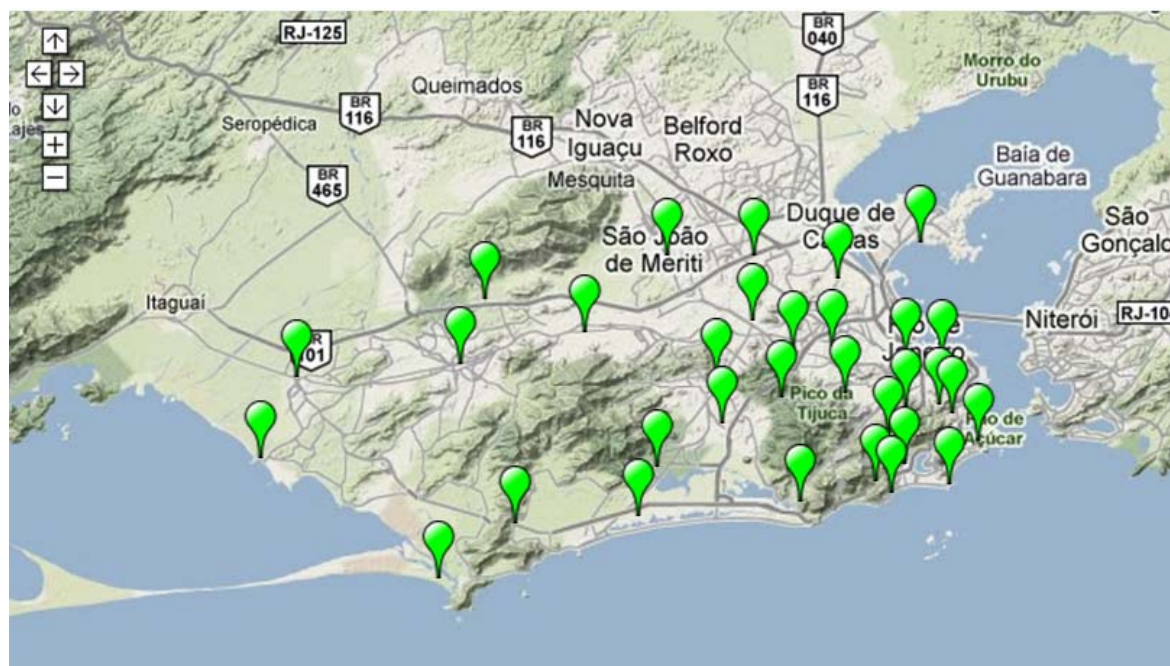


Figura 04: Rede telemétrica do Sistema Alerta Rio, utilizada para efetuar o monitoramento das condições de estabilidade das encostas. A rede é composta (até janeiro de 2011) de 32 pluviômetros e de 2 estações meteorológicas (temperatura, vento, pressão e umidade).

Quando são esperadas chuvas muito intensas, a população também recebe alerta através das emissoras de rádio e TV que repassam a informações a elas diretamente comunicadas pelo Sistema Alerta Rio.

Atualmente a sala de operação do Sistema está sediada no Centro de Operações da Prefeitura do Rio de Janeiro - COR (Fig. 5), , um moderno prédio que congrega mais de 30 instituições municipais e concessionárias (Light, CEDAE, LAMSA, etc.) que prestam serviço à Cidade, de tal modo que a Cidade pode ser integralmente monitorada, as comunicações sobre chuvas e encostas transitam muito mais rapidamente e os problemas advindos dos temporais podem ser atacados com maior brevidade e eficiência.

Finalmente, sobre a atuação da Prefeitura nos últimos meses, em especial após o evento pluviométrico intenso de abril de 2010, cabe ressaltar a ação de duas instituições municipais a Rio Águas e a Defesa Civil Municipal (COSIDEC) que têm envidados esforços na contribuição das consequências negativas dos temporais.

Outro organismo da PCRJ, a Fundação Rio Águas, iniciou no segundo semestre de 2010 a implantação de uma rede telemétrica composta por de linígrafos automáticos e por pluviômetros, com finalidade específica de monitoramento dos níveis dos rios das principais bacias hidrográficas existentes no Território Municipal. Os registros gerados por estes equipamentos também poderão ser utilizados nos monitoramentos das encostas e nos casos de acompanhamentos de eventos com desenvolvimento de fluxos de lama e/ou de detritos ('mud flow debris flow').

A Defesa Civil Municipal está implantando um serviço de alarme nas comunidades carentes (favelas) existentes nas encostas da Cidade. Este serviço inclui a utilização de agentes de defesa civil (moradores das comunidades) que foram treinados pela COSIDEC para avisar as famílias que habitam as moradias localizadas em áreas de risco (associado a escorregamentos em encostas), sempre que o Sistema Alerta Rio emitir boletins de alerta para a região da Cidade em que se localiza a comunidade em questão. Estes agentes recebem da Prefeitura um telefone celular que passa a receber, via SMS, os boletins de alerta solicitando que as pessoas moradoras de áreas de risco deixem temporariamente as suas moradias, até que o Alerta seja cancelado.



(A)



(B)

Figuras 05: Imagens do Centro de Operação da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (A), inaugurado em dezembro de 2010 e onde está sediada a sala de operação do Sistema Alerta Rio (B).

Quanto ao monitoramento das encostas, é possível estabelecer nas áreas críticas apontadas pelos mapeamentos de susceptibilidade (GEOHECO, 2000) ou pelas cartas de riscos (Geo-Rio, p.ex.). A implementação de instrumentações automatizadas com data logger e telemetria instrumentação automatizada permite leituras, registros e emissão de dados em intervalos de tempo relativamente reduzidos (em geral a cada 15 minutos), que convergem para uma central aonde são interpretados por especialistas e de onde partem boletins e alertas.

Esta instrumentação não se encontra pronta no mercado ou disponibilizada como um pacote de soluções, ainda é necessário o acompanhamento de estudos e desenvolvimento de pesquisas para torná-lo prático e viável o mais rápido possível. Neste sentido, aparece a necessidade da criação de um organismo federal e outros estaduais e até municipais, dotados de recursos orçamentários anuais voltados para mapeamento, monitoramento, desenvolvimento e aplicação. Análises de custo versus benefício que foram realizadas pela GEO-RIO nas décadas de 1980 e 1990 sobre utilização de instrumentação geotécnica (piezômetros, inclinômetros, etc.) como equipamentos para balizar a necessidade de alertas de escorregamentos nas encostas da Cidade revelaram que, de um modo geral, estes equipamentos precisavam ter melhor respaldo científico e tecnológico, não podendo ser utilizados naquela época. Isto se deve, principalmente, à grande velocidade verificada na imensa maioria das ocorrências dos movimentos de massa, tal como ocorrem no Município do Rio de Janeiro. Por este motivo, naquele momento, optou-se pelo uso da correlação entre a pluviometria acumulada e a previsão pluviométrica para as próximas 1 a 5 horas ('nowcast'). Este procedimento mostrou-se viável para a emissão de alerta de escorregamentos, desde que, logicamente, utilizado

em conjunto com os estudos que determinam a pluviometria crítica, ou seja, capaz de detonar os movimentos de massa.

Dentre as mensurações de encosta mais usuais (Anderson & Richards, 1987) e que trazem ótimas informações sobre a estabilidade das massas de solo, podem ser citadas:

Instalação de medidores de nível d'água (MNA): são tubos de PVC perfurados e adequadamente inseridos no perfil de solo, através de furos de sondagem, que servem para indicar a profundidade do lençol freático. Pode ter leitura manual através de sistemas elétricos ou também automáticas, com sensores de nível d'água que indicam as flutuações do lençol freático e, assim, possibilitando a elaboração de correlações com as condições de instabilidade da encosta ao longo do período chuvoso.

Instalação de Piezômetros: também são tubos de PVC, porém perfurados apenas em cerca de 50 cm da extremidade inferior, e que devem ser adequadamente inseridos no perfil de solo através de furos de sondagem. São úteis na definição da poro-pressão nas zonas saturadas dos solos, que constituem importantes indicadores da possibilidade de rupturas das encostas, quando já existem estudos prévios de resistência ao cisalhamento dos solos da encosta. A semelhança dos MNA, os piezômetros podem ter leitura manual ou por sensores automáticos de nível d'água que permitem medir as variações de poro-pressão e das possíveis condições de instabilidade da encosta ao longo de um evento chuvoso.

Instalação de inclinômetros: estes instrumentos são tubos de alumínio com cerca de 4 polegadas de diâmetros, com quatro canaletas guias em sua lateral, dispostas a cada 90 graus. São inseridos no perfil de solos através de furos de sondagem, até que se atinja uma zona reconhecidamente estável ou rochosa. A leitura manual é feita por meio da descida metro a metro, de um 'torpedo' medidor de inclinação (*tilt meter*) ligados por cabo elétrico a uma caixa de registro. Conforme a vertical inicial e as variações em relação a esta leitura, é possível determinar os deslocamentos da massa de solo em profundidade e a zona de deformação (ou ruptura) em seu interior, permitindo saber se há proximidade de um colapso súbito da encosta ou não. Neste caso, têm-se informações a respeito da encosta ao longo do período chuvoso. Há ainda sistemas de inclinômetros de leitura sofisticada, automatizados e com telemetria realizada a cada 15 minutos, porém são bem muito caros e geralmente se só se aplicam em encostas sujeitas a gerar acentuados prejuízos financeiros, danos em ecossistemas ou perdas de vidas.

Instalação de marcos superficiais com acompanhamento remoto: são marcos (alvos) fixados sobre a superfície do terreno, que são localizados a distancia e de cima, por meio de rastreadores aerotransportados. Os registros subseqüentes ao primeiro arranjo geométrico dos marcos sobre a

encosta analisada podem indicar deslocamentos superficiais, permitindo a avaliação das taxas de movimentação e da possibilidade de ruptura. Ainda são pouco difundidos no Brasil, principalmente devido ao custo elevado do sistema de acompanhamento.

Diante das possibilidades de monitoramento acima descritas, deve ser enfatizado que tais monitoramentos são ainda pouco adotados na atualidade, contudo poderão ser essenciais no futuro, tendo em vista, as crescentes possibilidades de intensificação dos problemas de encosta. Outro aspecto a considerar é a possibilidade de redução de custos dos sistemas de monitoramento, que deverão ocorrer devido ao avanço das tecnologias de mensuração, transmissão, registro e análise de dados. Deste modo, poderão ser instrumentos muito úteis na redução dos desastres em encostas decorrentes do aquecimento global neste século.

Referências bibliográficas

Ab'Sáber A.N (1966). "Domínios dos 'mares de morros' no Brasil". Geomorfologia, São Paulo, USP-IGEO, n. 2. 45-48.

Ab'Sáber A.N (1967). "Domínios morfoclimáticos e províncias fitoecogeográficas no Brasil. São Paulo, USP-IGEO, n. 3. 45-48.

Almeida, F.F.M e Hasui, Y. (1984) O Pré-Cambriano no Brasil, Editora Edgar Blucher, São Paulo, 378 p.

Amaral, C.P. (1996) "Escorregamentos em encostas do Rio de Janeiro: inventário, condicionantes geológicos e programa para redução dos acidentes associados", T. de Doutorado, Dept. de Eng. Civil, PUC-RJ, Rio de Janeiro, 230 p.

Anderson. M.G. & Richards, K.S. (1987) Slope stability: Geotechnical Engineering and Geomorphology. London, John Willey & Sons., 648 p.

Avelar, A.S. & Lacerda, W.A. (1996) "Causas iniciais do movimento de massa do Soberbo, RJ - Brasil", 2a Conf. Bras. Estab. de Taludes – II COBRAE & 2o Simp. Panam. Escorregamentos, Rio de Janeiro, v.1, p.3-12.

Avelar, A.S., Fernandes, M.C., Lacerda, W.A. & Coelho Netto, A.L., 2001, "Análise de susceptibilidade a movimentos de massa no maciço da Tijuca (RJ) utilizando SIG", 3a Conf. Bras. Estab. de Taludes – III COBRAE, Rio de Janeiro, v.1, p. 133-140.

Bigarella, J.J; Mousinho, M.R. & Silva, J.X. (1965) "Considerações a respeito da evolução das vertentes. Boletim Paranaense de Geografia, 16/17, Curitiba, p. 85-116.

Budyko, M.I. (1977) Climate Change, traduzido da edição russa (1974), pela American Geophysical Union, Washington, 261 p.

Coelho Netto, A.L; Avelar, A.S; Sato, A.M; Dias, M.A; Schlee, M.B. & Negreiros, A.B. (no prelo) “Vulnerabilidade das encostas montanhosas na interface florestal-urbana: controles geológicos, geomorfológico e geoecológicos”. In: Desastres Naturais no Sistema Encosta-Planície, Eds.: Lacerda, W.A.; Palmeira, E. & Coelho Netto, A.L.

Coelho Netto, A.L; Avelar, A.S; Lacerda, W.A. (2009) “Landslides and Disasters in Southeastern and Southern Brazil”. In: Edgardo Latrubesse. (Org.). Natural hazards and human-exacerbated disasters in Latin America. 1 ed. Amsterdam: Elsevier, v. 13, p. 223-243.

Coelho Netto, A.L; Avelar, A.S & D’Orsi, R. (2008) “Vulnerabilidades da cidade face em face das mudanças climáticas - domínio do ecossistema da floresta atlântica de encostas”. pp. 147-163 In: Gusmão, P.P.; Carmo, P.S. & Vianna, S.B. (Org.). Rio próximos 100 anos - O aquecimento global e a cidade., 1ª Ed, Rio de Janeiro: Imprinta Express Ltda., 229 p.

Coelho Netto, A. L; Avelar, A. S. ; Fernandes, M.C. & Lacerda, W.A. (2007) “Landslide Susceptibility in a Mountainous Geocossystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: The role of Morphometric subdivision of the terrain”. *Geomorphology (Amsterdam)*, v. 87, p. 120-131, 2007.

Coelho Netto, A.L., (1999) “Catastrophic landscape evolution in a humid region (SE Brasil): inheritances from tectonic, climatic and land use induced changes”, *Supplementi di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, Torino, III, T.3, p. 21-48.

Coelho Netto, A.L. (1984) “Mecanismos Internos de um Sistema de Drenagem Florestal: subsídio ao planejamento urbano regional – RJ”, I Simp. Nac. Geog. Física Aplicada, Rio Claro – SP, pp. 123-128.

Fell, R.; Hungr, O.; Leroueil, S. & Riemer, W., (2000) “Geotechnical engineering of the stability of natural slopes, and cuts and fills in soil”, keynote lecture, Int. Conf. on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne, pp. 45-67.

Fernandes, M.C. (1997) “Geoecologia do Maciço da Tijuca: uma abordagem geo-hidroecológica”, Tese de Mestrado, Dept de Geografia, IGEO/UFRJ, 141 p.

GEOHECO-SMAC/RJ (2000) “Estudos de Qualidade Ambiental do Geocossistema do Maciço da Tijuca – subsídios à regulamentação da APARU do Alto da Boa Vista”; Relatórios, vol. 1, 2 e 3, Solicitado pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente/Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro / No : 14/000.831/99.

Heilbron, M; Pires, F.R.M; Valeriano, C. & Bessa, M.P. (1993) "Litoestratigrafia, Evolução Tectono-Metamórfica e Magmatismo no Precambriano do Setor Sudeste do Município do Rio de Janeiro"; Atas do III Simp. Geol. do Sudeste, Rio de Janeiro, pp. 174-179.

IPP (2008) Rio próximos 100 anos - O aquecimento global e a cidade. (org.) Gusmão, P.P.; Carmo, P.S. & Vianna, S.B., 1ª Ed, Rio de Janeiro, Instituto Pereira Passos (IPP/PCRJ) e Imprinta Express Ltda., p. 229.

IPCC (2007) Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation and Vulnerability (WG II) , International Panel for Climate Change - Fourth Assessment Report – Cambridge Univ., 998 p.

Lacerda, W.A. (1997) "Stability of natural slopes along the tropical coast of Brazil" Proc. of Symp. on Recent Developments in Soil & Pavement Mechanics, Rio de Janeiro, v.1, pp. 409-414.

Meis, M.R.M. & Silva, J.X. (1967). Contribuição ao estudo dos movimentos de massa ocorridos na Guana bara em janeiro de 1966 e fevereiro de 1967. Revista Brasileira de Geografia, 30(1). Rio de Janeiro : IBGE. p. 55-73.

Meis, M.R.M; Machado, M.B. & CUNHA, S.B. (1975) Note on the distribution and origin of late Quaternary rampas near Rio de Janeiro, Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 47 (supl.), p.269-275.

Miranda, J.C; Alemão, A.V.F & Coelho Netto, A.L. (1991) "Distribuição de Chuvas e Intercepção pela Vegetação Florestal: Parque Nacional da Tijuca – RJ". Simp. Nac. .Geog. Física Aplicada, Porto Alegre, v. 1. p. 141-147.

Molion, L.C.B. (2008) "Aquecimento Global: Uma Visão Crítica", Rev. Bras. de Climatologia, v.3/4, pp. 07-24.

Pires, F.R.M (1988) Arcabouço Geológico, cap. 01 *in*: Cunha, S.B. & Guerra, A.J.T. (1998) Geomorfologia do Brasil, Ed. Bertrand, Rio de Janeiro, 388 p.