



**Fatores de Vulnerabilidade ao Planejamento de
Emergência do Complexo Nuclear de Angra dos Reis – RJ**
Vulnerability Factors for Emergency Planning of the
Angra dos Reis Nuclear Power Complex - RJ

Corbiniano Silva¹; Luiz Claudio Gomes Pimentel²; Paulo Fernando Lavalle Heilbron Filho³;
Nilton Oliveira Moraes²; Luiz Landau⁴; Fabiana Guimarães Resende Gobbo¹;
Leandro de Souza Camargo⁵ & Priscila de Jesus de Sousa⁶

¹ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia

Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, 20550-013, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Meteorologia

Av. Athos da Silveira Ramos, 274, 21941-916, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

³ Comissão Nacional de Energia Nuclear, Coordenação de Rejeitos

R. Gen. Severiano, 90, Botafogo, 22290-901, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

⁴ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia, Programa de Engenharia Civil

Av. Athos da Silveira Ramos, 149, 21941-909, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

⁵ Secretaria de Defesa Civil do Estado do Rio de Janeiro, Cemaden RJ

R. Carmo Neto, s/n. Cidade Nova, 20210-051, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

⁶ Prefeitura Municipal de Angra dos Reis

Av. Júlio César de Noronha, 271, São Bento, 23900-010, Angra dos Reis, RJ, Brasil.

E-mails: corbiniano@gmail.com; pimentel65@gmail.com; paulo@cnen.gov.br; moraes.nilton@gmail.com;
landau@lamce.coppe.ufrj.br; fabiana.gobbo@gmail.com; leoscarmargo5@gmail.com; pryscilatamburini@gmail.com

Recebido em: 14/05/2018 Aprovado em: 19/07/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_448_460

Resumo

O complexo nuclear de Angra dos Reis, no litoral sul do estado do Rio de Janeiro, tem no seu espaço geográfico diferentes aspectos que integram a dinâmica ambiental de sua área de influência, onde os fatores geológicos, meteorológicos e demográficos caracterizam a região como um ambiente complexo, sobretudo com a projeção de ações de emergência a partir de um evento accidental, especialmente sob o ponto de vista da evacuação da população nas áreas impactadas, apresentando particularidades que contribuem no sentido de atuar como impacto negativo em situações de emergência, principalmente na fase de resposta a um possível acidente. Com o apoio de sistemas de informação geográfica (SIG), foram feitas análises entre a suscetibilidade aos deslizamentos e suas ocorrências (inventário dos anos 2007-2011), associando o regime de chuvas e a densidade populacional, aspectos que demonstram a vulnerabilidade da região, principalmente ao longo da rodovia BR-101, com potencial de inviabilizar as rotas de fuga em situações críticas. A análise integrada destes fatores apontou que, em conjunto, tais elementos são importantes gargalos para as situações de emergência na região, devendo ser incluídos como fatores críticos a serem analisados no sentido de contribuir para subsidiar ações e diretrizes que devem ser aplicadas no planejamento da emergência local.

Palavras-chave: Usina nuclear; planejamento de emergência; deslizamentos; suscetibilidade; precipitação; SIG

Abstract

The Angra dos Reis nuclear power complex, on the southern coast of the state of Rio de Janeiro, has in its geographic space different aspects that integrate the environmental dynamics of its area of influence, where geological, meteorological and demographic factors characterize the region as an environment complex, especially with the projection of emergency actions from an accidental event, especially from the point of view of the evacuation of the population in the impacted areas, presenting particularities that contribute to act as a negative impact in emergency situations, mainly in the phase response to a possible accident. With the support of geographic information systems (GIS), analyzes were made between the susceptibility to landslides and their occurrences (inventory of years 2007-2011), associating the rainfall regime and population density, aspects that demonstrate the vulnerability of the region, especially along the BR-101 highway, with the potential to render escape routes unfeasible in critical situations. The integrated analysis of these factors pointed out that, together, such elements are important bottlenecks for emergency situations in the region, and should be included as critical factors to be analyzed in order to contribute to subsidize actions and guidelines that should be applied in local emergency planning.

Keywords: nuclear power; emergency planning; landslides; susceptibility; rainfall; GIS

1 Introdução

No setor nuclear, os principais objetivos das ações de emergência para o caso de acidentes incluem a redução do risco ou mitigação das consequências dos acidentes (IAEA, 1997); a prevenção ou mitigação de suas consequências locais (IAEA, 2003), bem como que as emergências devem incluir provisões para garantir o sistema de resposta de emergência, como foi no caso de Fukushima (IAEA, 2013). De tal modo, diversos trabalhos têm focalizado questões correlatas em diferentes partes do planeta, onde se destacam Baum *et al.* (1983); Mohamed Shaluf (2007); Manfré *et al.* (2012); Tsai *et al.* (2012); Tsai & Yau (2013); Silva *et al.* (2013); Smith (2013); Steinhauer *et al.* (2014); Krieger *et al.* (2014); Duffa *et al.* (2016); Silva *et al.* (2017), cujos estudos demonstram a importância da análise de elementos integrados e sua contribuição para o planejamento de emergência.

Considerando os atributos geológicos, climatológicos e geográficos da região do entorno da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAEA) e analisando a dinâmica espacial desta área sob o ponto de vista de tais aspectos, avaliamos que, em conjunto, estes poderão atuar como um obstáculo ao planejamento da emergência local no caso de acidentes na usina nuclear, fator que desencadearia a evacuação da população. Sendo as rotas de fuga da região pela BR-101, principal rodovia que corta toda a extensão de Angra dos Reis e cidades vizinhas, é neste momento que os deslizamentos, o regime de chuvas e a densidade populacional poderão atuar como obstáculos neste processo, influenciando o processo de retirada da população possivelmente afetada.

Quanto aos deslizamentos, Soares (2006) considerou que os aspectos geográficos, geológicos, geomorfológicos e climáticos são os principais elementos determinantes para a ocorrência do risco de deslizamentos em determinada região, agravados principalmente quando associados ao uso e ocupação desordenada do solo. No caso brasileiro, a precipitação é o fator meteorológico de maior contribuição para a ocorrência de deslizamentos e alagamentos nas grandes áreas urbanas, devido

à ocupação desordenada de morros e encostas. Inúmeros estudos mostram a preocupação da sociedade em minimizar as perdas, conjugando métodos e critérios para previsões meteorológicas, possibilitando assim a prevenção dos deslizamentos.

Coelho Netto *et al.* (1999) analisou que a ocorrência de deslizamentos está associada aos domínios montanhosos, ao regime de chuvas e seus mecanismos principais: regime regular e regime extremo, além de um conjunto de outros fatores, onde se destacam o aumento da pressão da água nas articulações das rochas, o final da estação chuvosa e chuvas intensas, a queda de blocos falhados, o sistema conjunto subvertical e cobertura de floresta degradada, bem como outras condicionantes que integram os elementos causadores do processo.

Sobre a precipitação, no Brasil, os períodos chuvosos são bem definidos, embora sejam diversificados em suas diferentes regiões. As chuvas na região de Angra dos Reis se concentram entre os meses de outubro a abril, sendo mais intensas durante o verão, época onde os deslizamentos são intensificados. Os principais sistemas meteorológicos que predominam na região são a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), as frentes frias, os complexos convectivos de mesoescala, as linhas de instabilidade, os vórtices ciclônicos dos altos níveis, a brisa marítima e terrestre, a brisa de vale e montanha, chuvas orográficas e chuvas de verão.

Diversas pesquisas sobre a região correlacionam precipitações pluviométricas e deslizamentos, entre as quais Lumb (1962, 1975); Guidicini & Iwasa (1977); Caine (1980); Govi & Sorzana (1980); Brand *et al.* (1984); Brand (1985); Keefer (1984); Tatizana *et al.* (1987 a, b); Brand (1989); Johnson & Sita (1989); Cerri *et al.* (1990 a, b); Bhandari *et al.* (1991); Silva Jr. (1991); Polloni *et al.* (1996); Brugger *et al.* (1997); Au (1998); Ide (2005).

Em relação à dinâmica populacional, existem diversos núcleos populacionais que habitam o espaço geográfico local, bem como diferentes elementos que integram a sua dinâmica espacial e faz da região um ambiente ainda mais complexo: unidades de

conservação, empresas do setor petrolífero e naval, atividade turística e pesqueira, entre outros aspectos.

Considerando um acidente hipotético na CNAAA e sua evolução para um processo de emergência, com a evacuação em toda a sua área de influência, o artigo apresenta uma análise que integra a suscetibilidade aos deslizamentos, as ocorrências de deslizamentos (inventário do período 2007-2011), os dados climatológicos (regime de chuvas) e a densidade populacional, elementos que conjuntamente mostram a vulnerabilidade da região para situações críticas de emergência, cujos desdobramentos devem ser considerados no sentido de subsidiar ações com vistas ao planejamento da emergência local.

2 Área de Estudo

A área de estudo engloba o município de Angra dos Reis, tendo Paraty e Mangaratiba como

áreas de influência, cidades que integram a região da Costa Verde, situada na porção sul do estado do Rio de Janeiro (Figura 1), cujas principais características incluem a vegetação de mata atlântica; proximidade com o mar; relevo escarpado; uma diversidade de ilhas situadas em região de baía, o que facilita atividades náuticas e de pesca; belezas paisagísticas e clima agradável; atributos que potencializam o turismo como uma das principais atividades econômicas da região, que também é incrementada pelos empreendimentos dos setores naval, petrolífero e nuclear, onde se destaca a CNAAA, formada pelas usinas nucleares Angra 1, Angra 2 e Angra 3 (em construção), em operação na região desde 1982. O complexo possui ainda duas subestações elétricas, os depósitos de armazenamento de rejeitos de baixa e média atividade, além de diversas instalações auxiliares. A potência total das usinas é de 2007 MW, dos quais 657 MW em Angra 1 e 1350 MW em Angra 2. Angra 3, com capacidade de 1350 MW, tem previsão de entrada em operação em 2022.

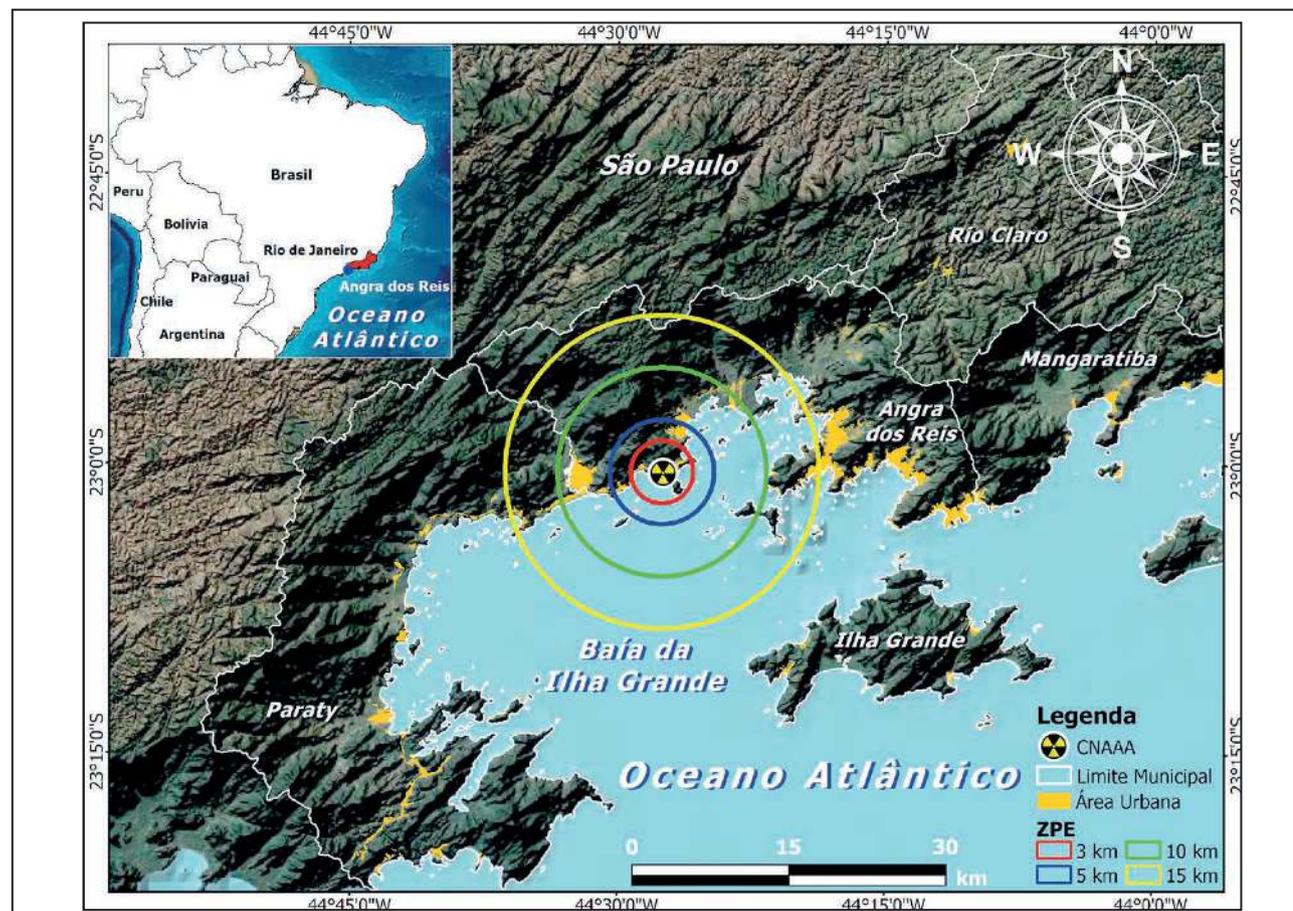


Figura 1 Enquadramento geográfico regional da área de estudo.

Atualmente, segundo IBGE (2017), a população estimada dos municípios é de 194.619 (Angra dos Reis), 41.454 (Paraty) e 42.415 (Mangaratiba), números que se multiplicam nos períodos de verão e épocas de feriados prolongados e alta temporada, sobretudo em função da população flutuante em decorrência do turismo. Na Figura 1 são representadas as áreas urbanas que indicam os núcleos populacionais da região, bem como as Zonas de Planejamento de Emergência (ZPE), áreas prioritárias de evacuação em caso de emergência. O único e principal eixo rodoviário que corta toda a região litorânea é a rodovia BR-101 (Rio-Santos), responsável pela ocupação e uso do solo que se desenvolveu ao longo do seu traçado, e que faz conexão com a região metropolitana do Rio de Janeiro (território de grande atração populacional para a região), à leste; e com o litoral norte de São Paulo (área com importantes espaços naturais e de atração turística local), à oeste.

As características geobiofisiográficas locais incorporam diferentes temas distribuídos espacialmente e associados aos impactos que um acidente nuclear poderá ocasionar nas áreas de influência da CNAAA. Nesta perspectiva, os aspectos geológicos/geomorfológicos e a climatologia configuram um quadro complexo, corroborando com consequências relacionadas à ocorrência de deslizamentos na região, onde a associação entre a precipitação e os deslizamentos, integrados à distribuição populacional, concentradas em grande parte em áreas consideradas de risco e de alta suscetibilidade, contribui para caracterizar pontos críticos. Essa integração de fatores constitui importante informação que necessita ser analisada para o caso de situações críticas, sobretudo no planejamento de ações emergenciais, especialmente a evacuação das populações das áreas possivelmente atingidas.

3 Materiais e Métodos

Um mapa de suscetibilidade aos deslizamentos foi construído, a partir da modelagem dos temas: geologia, estruturas geológicas, solos, hidrografia e rodovias; e os temas aspecto, curvatura, declividades e subbacias de drenagem, todos

somados, reclassificados e agrupados em 5 classes de suscetibilidade: muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta.

Declividades são oriundas do Mapa de Declividade em Percentual do Relevo Brasileiro (Ladeira Neto, 2013) e do mosaico de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), cuja classificação das formas de relevo é baseada no IBGE e EMBRAPA, sendo: Plano 0 a 3%; Suave ondulado 3 a 8%; Ondulado 8 a 20%; Forte ondulado 20 a 45%; Montanhoso 45 a 75%; e Escarpado > 75%.

As ocorrências de deslizamentos são gerenciadas pela Secretaria de Defesa Civil de Angra dos Reis, e através do cadastro dos processos de instabilização ou zoneamento de risco, sua identificação e georreferenciamento, foi elaborado um inventário de deslizamentos (período 2007-2011), com as informações organizadas num banco de dados espacial, em plataforma SIG.

Os dados de precipitação, oriundos de Soares (2006), são a partir da série pluviométrica de 25 anos (1980-2004); e de Pinto *et al.* (2011), através das médias mensais estimadas a partir das isoietas de médias mensais do período 1977-2006.

A densidade populacional foi elaborada com os dados do Censo Demográfico (IBGE, 2010), contabilizando a população dos bairros de Angra dos Reis, Paraty e Mangaratiba, sobretudo aqueles ao longo da rodovia BR-101.

Todos os temas foram espacializados e organizados em ambiente SIG, através da plataforma ArcGIS 10.4, cuja integração dos dados e informações subsidiaram a elaboração dos mapas temáticos produzidos.

4 Resultados

Do ponto de vista da análise espacial da região e considerando as situações de emergência e o processo de evacuação a partir de um evento acidental na CNAAA, os principais resultados incluem os mapas de declividades e suscetibilidade, o inventário de deslizamentos (período 2007-2011), precipitação e densidade populacional. A integração

desses dados e suas respectivas análises servem de subsídio para determinar diretrizes em apoio ao planejamento da emergência local.

4.1 Declividades

Newerla (1999) enfatizou que, do ponto de vista da geometria de encostas, considerando que o deslizamento envolve um movimento, quanto maior a sua declividade e amplitude, maior a possibilidade de ocorrer movimentos de massa. De tal modo, a declividade constitui-se como importante elemento que contribui para analisar a estabilidade de taludes e, no sentido de avaliar tal estabilidade, através de mapas topográficos são traçadas classes de declividade, técnica importante na detecção de áreas críticas para deslizamento de encostas.

A Figura 2 mostra as declividades predominantes na região, indicando a predominância de um

relevo forte ondulado (entre 20 a 45%). Entre o litoral, onde encontram-se instaladas as rodovias e áreas urbanas, até onde predomina o relevo escarpado, observa-se num espaço de 5 km, em média, inclinações entre 0 a 3% (plano) até 75% (escarpado), fator que explica as condições de bloqueio atmosférico existente na região, aspecto que afeta a dispersão dos poluentes, sendo ao mesmo tempo responsável pela intensidade de chuvas orográficas.

4.2 Suscetibilidade aos Deslizamentos

Suscetibilidade aos deslizamentos abrange o município de Angra dos Reis (Figura 3), com os resultados demonstrando que os trechos situados nas proximidades da BR-101 são aqueles com maior suscetibilidade. A sobreposição destas informações com os deslizamentos mapeados demonstra

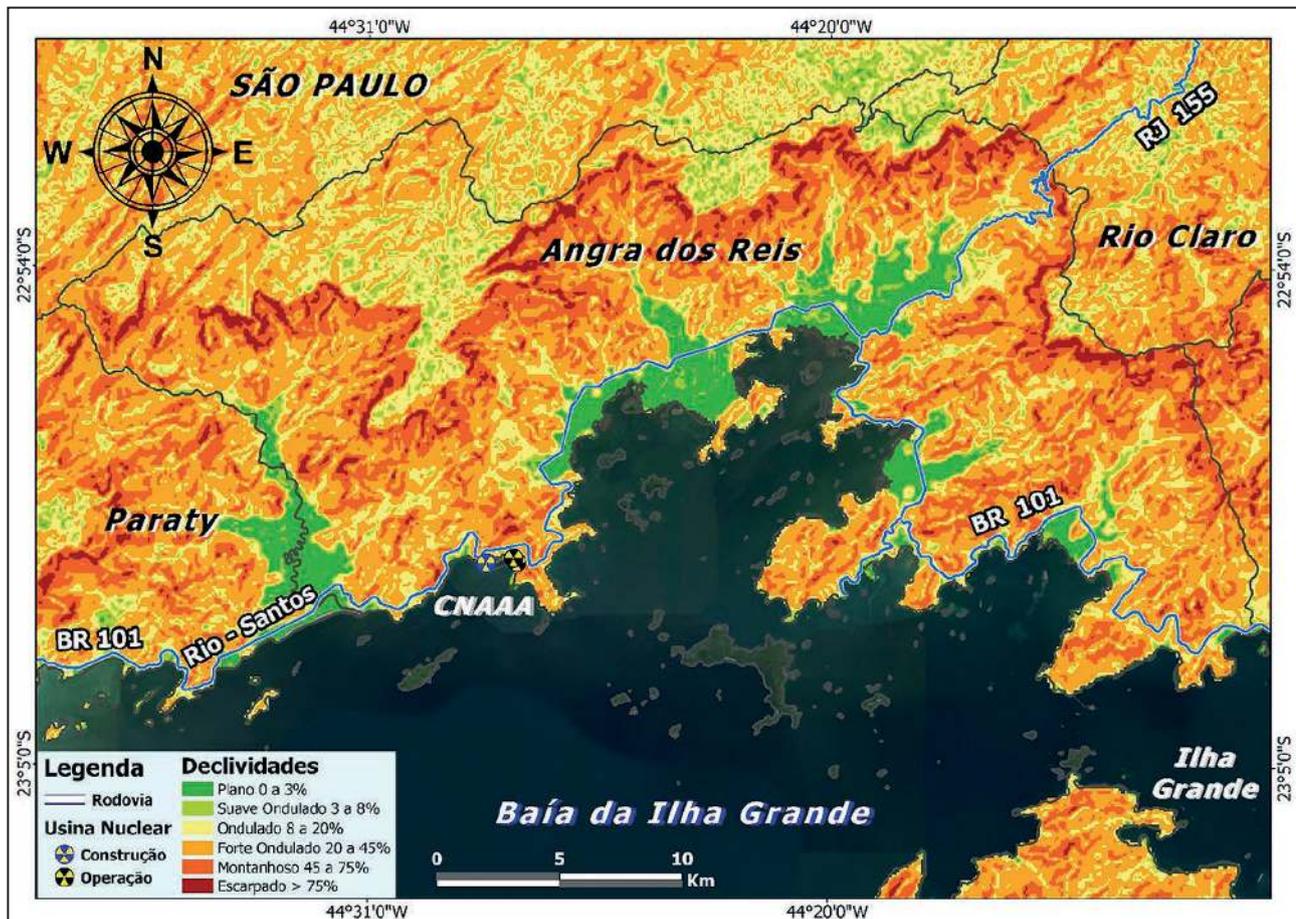


Figura 2 Declividades predominantes na área de estudo.

uma conexão e aderência entre eles, o que valida tais informações.

A partir da integração entre suscetibilidade e deslizamentos, suas informações estão dentro de uma escala temporal: por estações (verão, outono, inverno e primavera) e mensal (incluindo todos os meses do ano), cuja integração é representada nas Figuras 4 a 7. Devido a intensidade da precipitação no verão, a maior parte das ocorrências predominam neste período do ano. Como o regime de chuvas na região ocorre em cerca de 158 dias, sendo a chuva um elemento deflagrador dos deslizamentos, tal fator, pela predominância da precipitação em grande parte do ano, explica os números significativos de ocorrências também na primavera, outono, bem como no inverno, corroborando com as conclusões de Lumb (1975) sobre o tema.

4.3 Deslizamentos

Os dados sobre deslizamentos foram divididos pelos níveis de riscos: baixo, médio, alto e muito alto; seguindo a metodologia adotada por Silva *et al.* (2017).

Considerando esse critério, um total de 4.271 ocorrências de deslizamentos foram espacializadas a partir da escala temporal: estacional e mensal; demonstrados na Tabela 1 e representados nas figuras anteriores (Figuras 4 a 7).

Os níveis de riscos adotados para classificar os deslizamentos em Angra dos Reis constituem uma tipologia que caracteriza a complexidade do território e, quando integrados aos aspectos de densidade populacional, declividades, suscetibilidade, ocorrência de chuvas, além de outros elementos igualmente importantes, conjuntamente

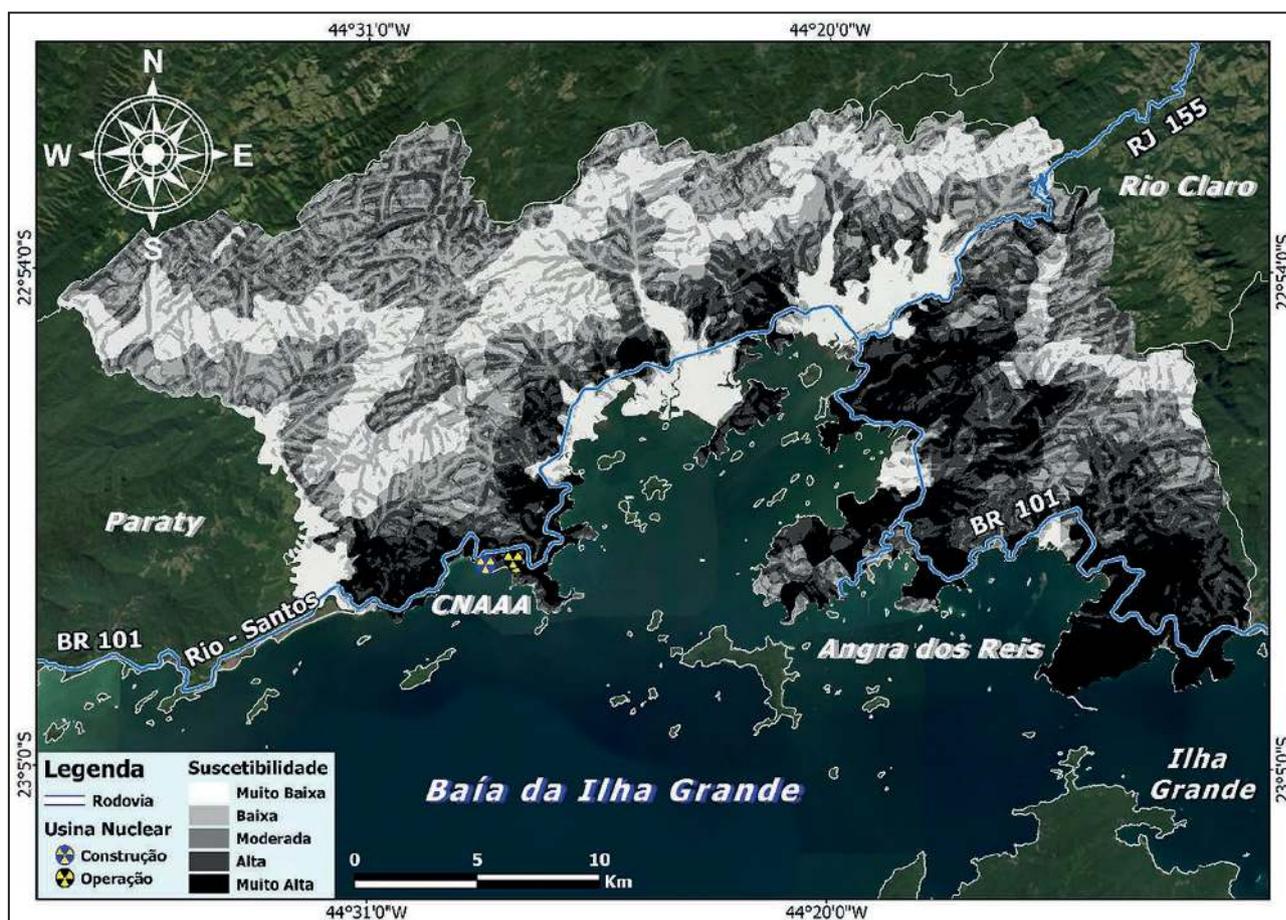


Figura 3 Mapa de suscetibilidade aos deslizamentos em Angra dos Reis.

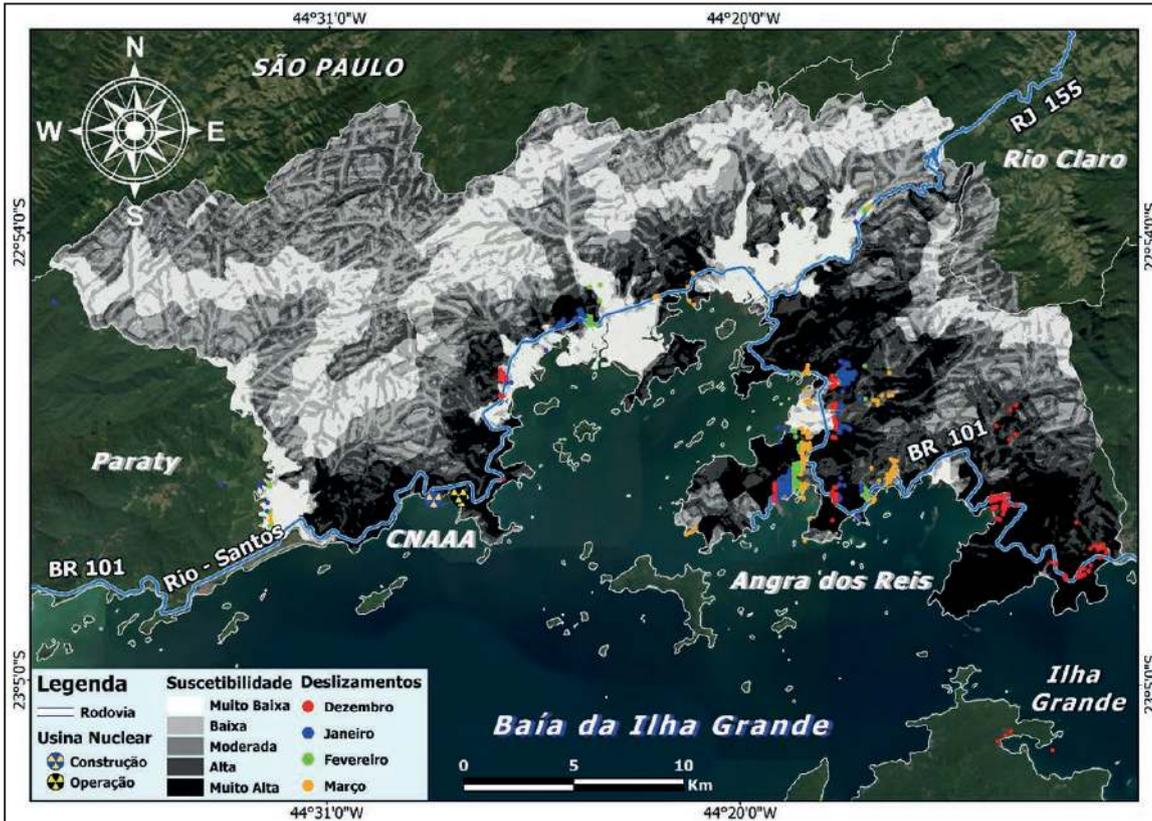


Figura 4
 Suscetibilidade aos deslizamentos e deslizamentos ocorridos no verão.

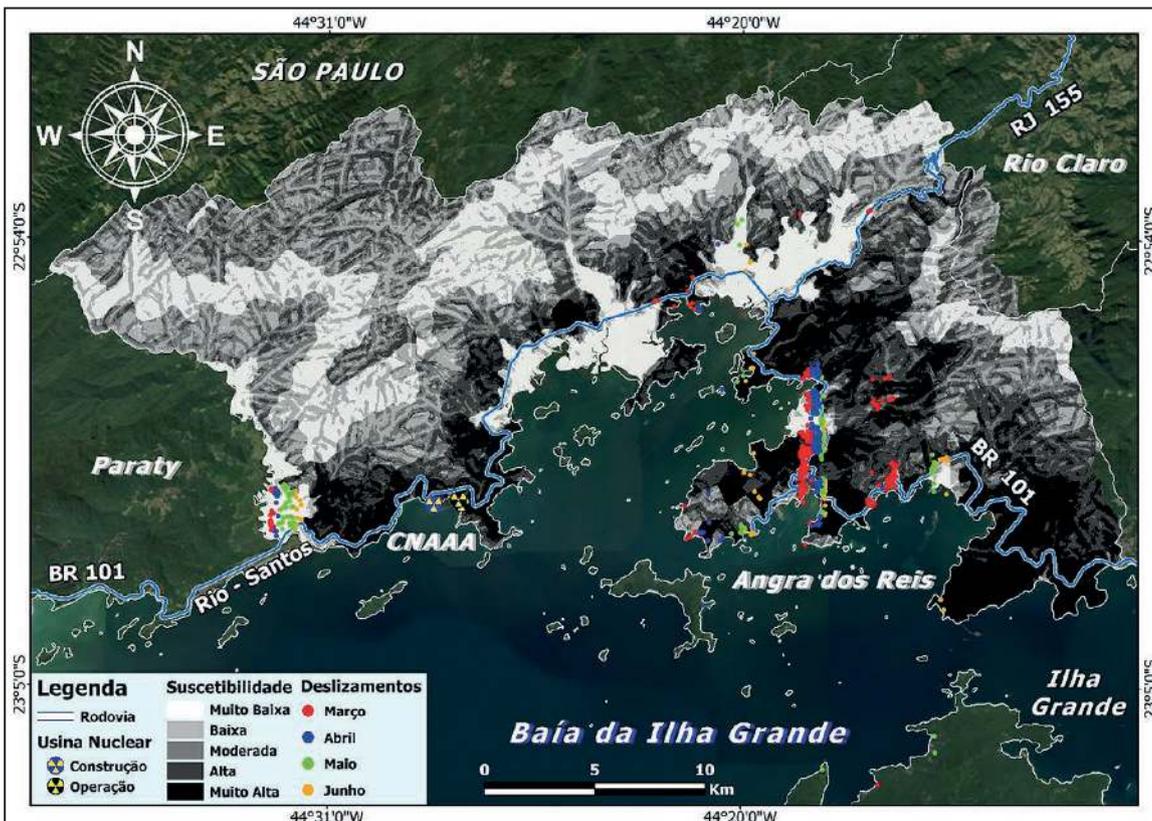


Figura 5
 Suscetibilidade aos deslizamentos e deslizamentos ocorridos no outono.

Fatores de Vulnerabilidade ao Planejamento de Emergência do Complexo Nuclear de Angra dos Reis – RJ

Corbiniano Silva; Luiz Claudio Gomes Pimentel; Paulo Fernando Lavelle Heilbron Filho; Nilton Oliveira Moraes; Luiz Landau; Fabiana Guimarães Resende Gobbo; Leandro de Souza Camargo & Priscila de Jesus de Sousa

Figura 6
Susceptibilidade aos deslizamentos e deslizamentos ocorridos no inverno.

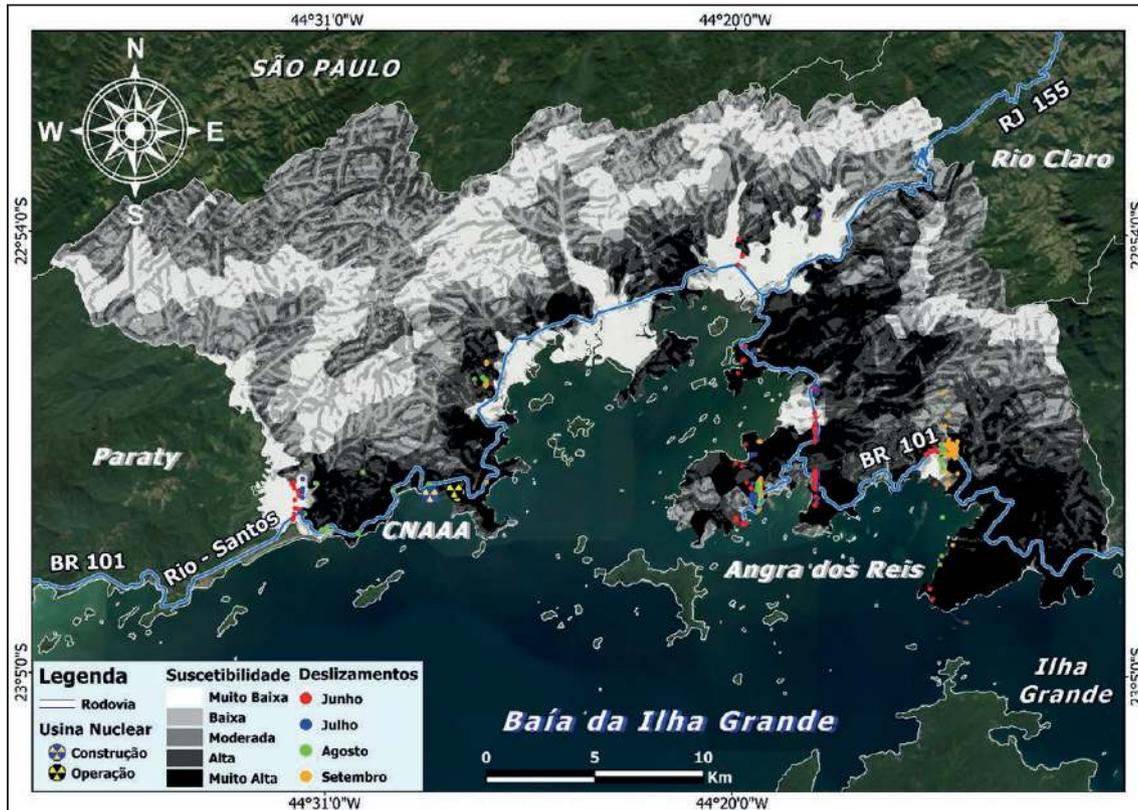
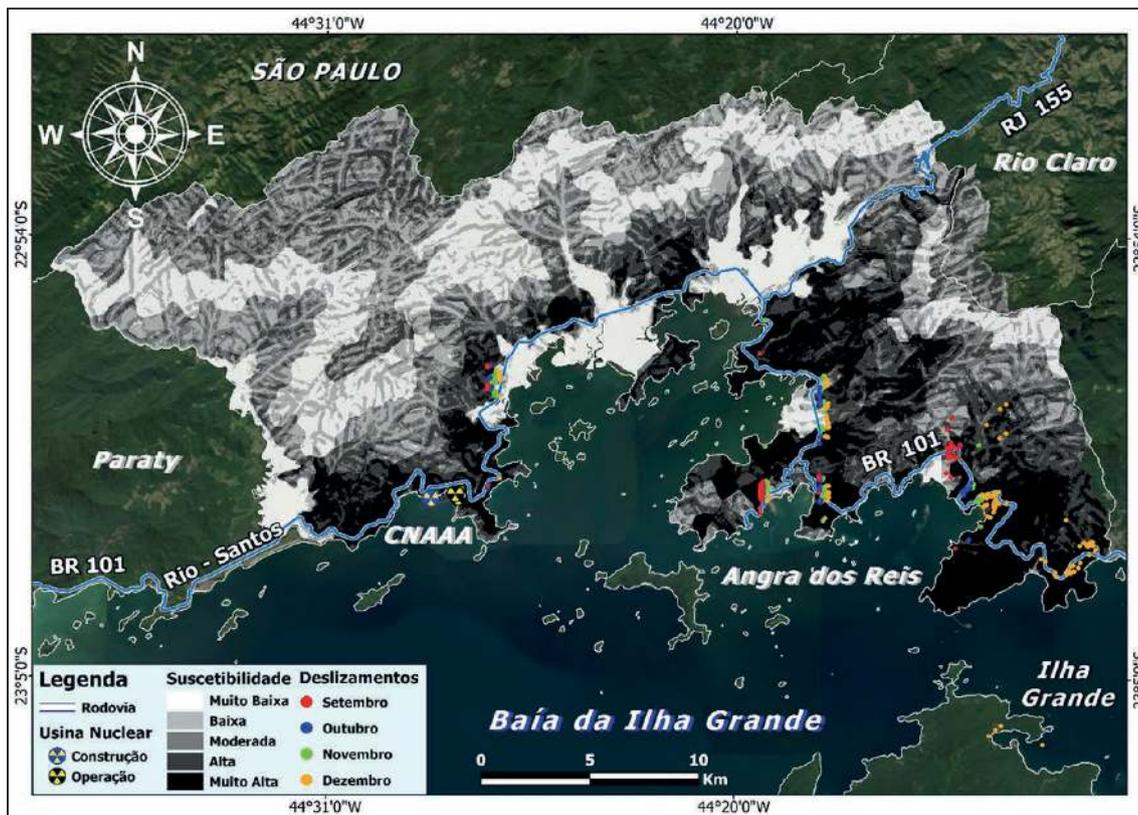


Figura 7
Susceptibilidade aos deslizamentos e deslizamentos ocorridos na primavera.



e associados a eventos acidentais na CNAAA, constituem pontos que devem ser observados com bastante criticidade e preocupação, especialmente nos locais mais populosos e áreas mais vulneráveis pela suscetibilidade da região.

Deslizamentos ocorridos durante o Verão (2007 – 2011)				
RISCO	MESES			
	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Baixo	112	116	238	209
Médio	172	129	52	161
Alto	84	207	199	160
Muito Alto	5	5	1	3
Total	373	457	490	533
Deslizamentos ocorridos durante o Outono (2007 – 2011)				
RISCO	MESES			
	Março	Abril	Maior	Junho
Baixo	209	273	75	113
Médio	161	163	98	90
Alto	160	60	36	63
Muito Alto	3	-	1	-
Total	533	496	210	266
Deslizamentos ocorridos durante o Inverno (2007 – 2011)				
RISCO	MESES			
	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Baixo	113	58	37	71
Médio	90	126	107	142
Alto	63	25	75	64
Muito Alto	-	-	-	1
Total	266	209	219	278
Deslizamentos ocorridos durante a Primavera (2007 – 2011)				
RISCO	MESES			
	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Baixo	71	52	95	112
Médio	142	129	52	172
Alto	64	207	199	84
Muito Alto	1	5	1	5
Total	278	393	347	373

Tabela 1 Deslizamentos ocorridos no período 2007-2011: por estações do ano e mensais.

4.4 Precipitação

A região de Angra dos Reis, segundo Oliveira Júnior (2008), é conhecida por altas taxas pluviométricas, mais intensas entre os meses de

novembro a março e acentuadas não apenas pela interação das massas úmidas marítimas com as escarpas, mas também pela passagem e o semi-estacionamento das frentes que muitas vezes são, em parte, retidas nas reentrâncias do relevo local. Em toda a região ocorrem em média 158 dias chuvosos durante o ano, com médias mensais registrando valores acima de 70 mm. Grandes períodos de chuvas ocorrem entre os meses de outubro a abril, sendo janeiro o mais chuvoso, com 276,4 mm em média. A umidade média do ar é de aproximadamente 81%, com uma nebulosidade média variando de 50% no inverno a 80% no verão. Os sistemas meteorológicos dominantes na área são baseados nos sistemas sinóticos e sub-sinóticos que atuam na região sudeste do Brasil, conforme observou Silva (2013).

Soares (2006), a partir de uma série pluviométrica de 25 anos (1980-2004), demonstrou que Angra dos Reis apresenta índices pluviométricos bastante elevados, principalmente no verão (Figura 8).

Pinto *et al.* (2011), utilizando médias mensais estimadas a partir das isoietas de médias mensais do período 1977 a 2006, representou a precipitação dos municípios, cujos dados foram elaborados a partir de estações pluviométricas em cada um dos municípios: Angra dos Reis (5), Paraty (6) e Mangaratiba (6). Os resultados corroboram com estudos desenvolvidos na região, cujo mapa (Figura 8) mostra os índices pluviométricos totais e os dias de chuvas ao longo do ano.

Considerando essa intensidade das chuvas, os riscos de deslizamentos, de acordo com Lumb (1975), se baseiam:

- Na precipitação pluviométrica ocorrida nas 24 horas que antecedem o deslizamento (>100 mm);
- Na precipitação pluviométrica ocorrida nos últimos 15 dias antecedentes ao deslizamento (>200 mm);
- Na definição de categorias de risco, em função do número de deslizamentos e chuvas acumuladas de 15 dias; e
- Na manutenção das condições de estabilidade das encostas.

Como a ocorrência das chuvas acontece entre os meses de outubro a março, a distribuição dos deslizamentos, segundo esse critério, acompanha tal dinâmica pluviométrica, uma vez que as chuvas são consideradas um dos principais elementos deflagradores dos deslizamentos, conforme Moura (2006) e Tavares & Mendonça (2010).

4.5 Densidade Populacional

O total populacional das 3 cidades supracitadas alcança em torno de 278 mil habitantes, considerando apenas a população residente. Contudo, em função do potencial turístico local, existe periodicamente uma população flutuante que frequenta a região nos finais de semana, feriados prolongados e períodos de férias, com mais frequência durante o verão.

Analisando apenas as áreas urbanas situadas ao longo e nas proximidades da rodovia BR-101

(Figura 1), devido ao conjunto de fatores associados em toda a região e, principalmente pela densidade populacional que essas localidades abrigam, estas áreas são consideradas vulneráveis, conforme observou Silva *et al.* (2017). Nesta perspectiva, somente em Angra dos Reis existe um total de 50 bairros, cujo contingente populacional chega a 118.800 habitantes, abrangendo toda a extensão do município de leste a oeste, desde os limites com Paraty e Mangaratiba. Em Paraty, esse número alcança 5.267 habitantes, distribuídos em 5 distritos (Chapéu do Sol, Vila Residencial de Mambucaba, Prainha de Mambucaba, Tarituba e São Gonçalo). Em Mangaratiba, os distritos de Vila Muriqui, Mangaratiba e Conceição de Jacaré incorporam aproximadamente 22 mil moradores. Portanto, considerando ainda o aumento da população flutuante, essa questão é muito preocupante em termos de evacuação da região em casos de emergência.

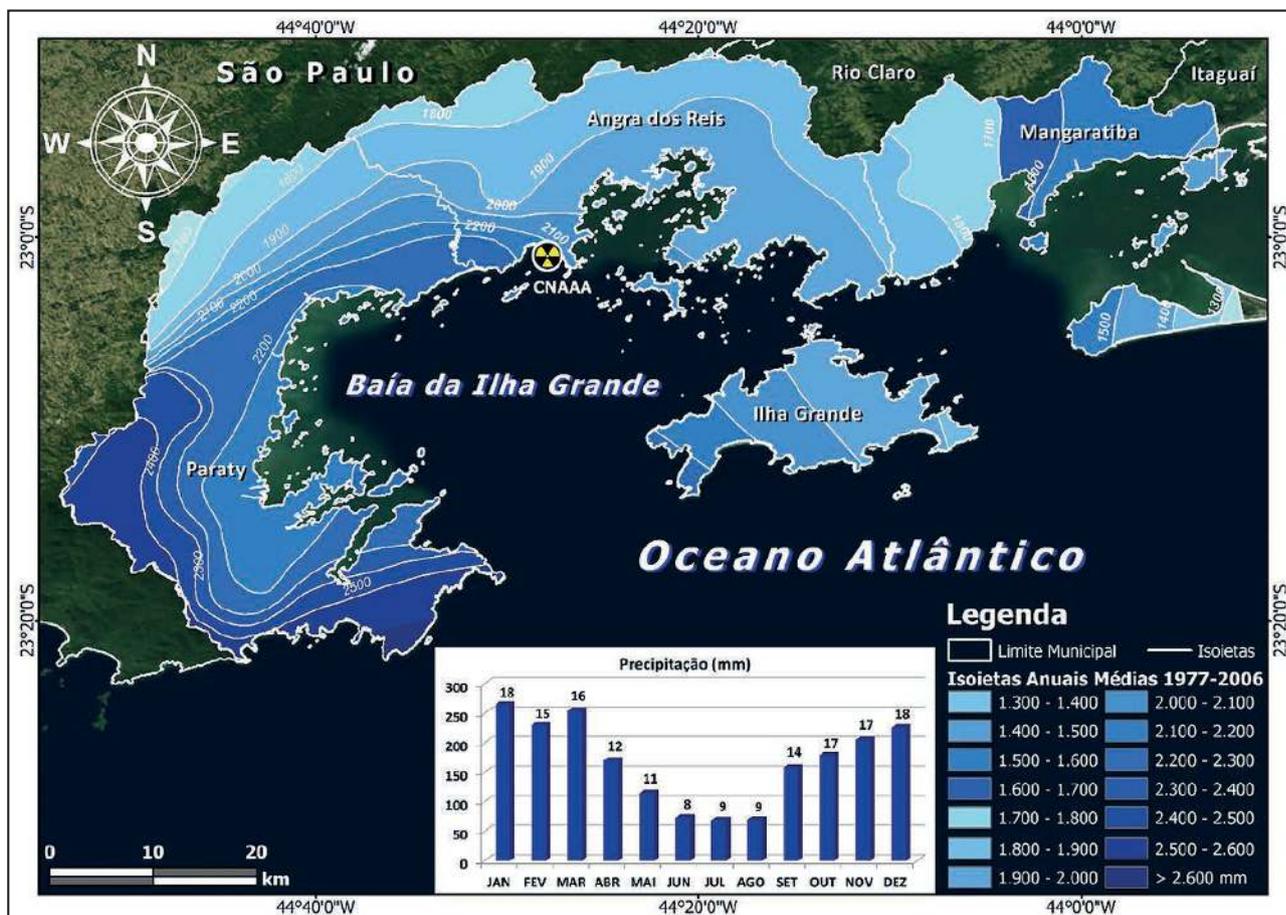


Figura 8 Totais pluviométricos e dias de chuvas na região de Angra dos Reis.

5 Discussão

Análises integradas considerando os temas: declividades, suscetibilidade, ocorrências de deslizamentos, precipitação e densidade populacional; demonstram a complexidade da região quanto ao planejamento de emergências a partir de um acidente na CNAAA, cujos resultados apresentam a existência de gargalos em termos de rotas de fuga no processo de evacuação desta porção da região sul do estado do Rio de Janeiro. Tal questão se complica principalmente em função da região possuir apenas um eixo rodoviário - a BR-101 - que é a principal via que interliga os acessos para que a população seja evacuada. Neste sentido, pela suscetibilidade e a ocorrência de deslizamentos ao longo dos trechos da rodovia, situação que perpassa os vários núcleos urbanos existentes, fica evidenciado uma limitação crucial e importante do ponto de vista da evacuação dessas áreas em situações de emergência, devendo ser fundamentalmente prioritária a sua consideração em termos de planejamento para uma emergência local, sobretudo nos períodos de maior precipitação pluviométrica e períodos de maior fluxo populacional.

A sobreposição entre suscetibilidade e deslizamentos mostra que a vulnerabilidade e pontos críticos desses eventos encontram-se exclusivamente em trechos situados nas proximidades da rodovia, com potencial de impedir o tráfego viário, conforme observou Silva *et al.* (2017), configurando uma situação crítica para o planejamento da emergência e o processo de evacuação da população.

Pela configuração geomorfológica da região, com o predomínio de um relevo escarpado, notadamente em Angra dos Reis, onde a maioria dos bairros, especialmente aqueles com maior contingente populacional, apresenta infraestrutura com ruas estreitas e áreas íngremes, com pontos de deslizamentos registrados em grande parte deles, fator que evidencia importante vulnerabilidade no processo de evacuação.

Além de tais fatores constituírem vulnerabilidades para o acaso de uma situação de emergência a partir de um acidente na CNAAA, existem diferentes outros aspectos extremamente relevantes, os

quais também devem ser integrados conjuntamente à análise dos problemas supracitados, entre os quais:

Aumento do fluxo populacional, seja a partir de variações sazonais (população flutuante) ou de concentrações demográficas excepcionais (festas populares e eventos regionais ou locais);

O tráfego viário, sobretudo os engarrafamentos em épocas de alta temporada e feriados prolongados, onde a atividade turística na região se intensifica;

Condições de tráfego nas rodovias de acesso, especialmente a topografia da estrada BR-101, que apresenta declividades com inclinações entre 5° a 30° no trecho de Paraty até Itaguaí; além das condições de pavimentação, sinalização e iluminação;

Falta de energia elétrica durante a emergência, sobretudo nos bairros de maior densidade populacional e de dificuldades de acesso pelas características dos logradouros; entre outros.

6 Conclusões

Com base no que foi apresentado, as seguintes conclusões podem ser consideradas:

Os condicionantes naturais representados pelos processos físicos que incluem os dados meteorológicos e os eventos naturais (ocorrências de deslizamentos e a precipitação) constituem elementos importantes de serem avaliados no sentido de se fazer um planejamento de longo prazo para situações de emergência na região, informações que demonstram que, mesmo não se sabendo quando ocorrerá um acidente, a partir da análise conjunta desses aspectos podem ser dadas informações indicativas sobre o que fazer no caso de uma emergência;

Considerando-se o planejamento de longo prazo, a análise da climatologia associada aos deslizamentos é um importante elemento para a avaliação de situações de emergência a partir de acidentes na CNAAA. Posteriormente, outras informações deverão ser integradas, fazendo-se uma análise interpretativa sobre a mobilidade da região e a sua estrutura de uso e ocupação, bem como a avaliação de períodos e áreas mais críticas atingidas

pela dispersão de radionuclídeos, no sentido de identificar quais seriam as melhores rotas e os pontos mais críticos durante a evacuação;

Estudos sobre os deslizamentos na região, sobretudo com vistas ao planejamento e situações de emergência a partir de eventos acidentais ocorridos na central nuclear, devem incorporar a determinação de diretrizes geoambientais que possam subsidiar ações conjuntas em relação a tais eventos, especialmente para a tomada de decisão e como ações de resposta ao acidente;

Um banco de dados geográfico foi elaborado, formando uma base de dados socioambientais sobre a região que, a partir da construção de um sistema SIG, integra outros elementos que retratam a realidade no entorno da CNAEA e enriquece a análise espacial sobre o contexto da dinâmica ambiental local e suas complexidades para o planejamento de emergência, entre outras contribuições, como o planejamento e o gerenciamento ambiental, etc.

7 Agradecimentos

Agradecemos as contribuições dos editores e revisores, ao apoio financeiro da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), bem como à FAPERJ, CAPES, CNPQ e o Programa de Engenharia Civil da UFRJ. In memoriam de Fabiana Guimarães Resende Gobbo, pelo seu amor, dedicação e brilhantismo como ser humano, mulher, esposa, amiga e cientista.

8 Referências

- Au, S.W.C. 1998. Rain-induced slope instability in Hong Kong. *Engineering Geology*, 51: 1-36.
- Baum, A.; Fleming, R. & Davidson, L.M. 1983. Natural disaster and technological catastrophe. *Environment and Behavior*, 15(3): 333-354.
- Bhandari, R.K.; Senanayake, K.S. & Thayalan, N. 1991. Pitfalls in the prediction on landslide through rainfall data. In: BELL, D.H. (ed.). *Landslides*. 2ed. Rotterdam: A.A. Balkema, v. 2, p. 887-890.
- Brand, E.W.; Premchitt, J. & Phillipson, H.B. 1984. Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. In: PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES. Toronto: Canadian Geotechnical Society, v. 1, p. 377-384.
- Brand, E.W. 1985. Predicting the performance of residual soil slopes. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 11, *Proceedings*, San Francisco: A.A. Balkema, v. 5, p. 2541-2578.
- Brand, E.W. 1989. Occurrence and significance of landslides in

- Southeast Asia. In: BRABB, E.E. & HARROD, B.L. (eds.). *Landslides – Extent and Economic Significance*. Rotterdam: A.A. Balkema, p. 303-324.
- Brugger, P.J.; Ehrlich, M. & Lacerda, A.W. 1997. Movements, piezometric level and rainfall at two natural slopes. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS – COBRAE, 2 & PAN AMERICAN SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 2Rio de Janeiro, 1997. *Anais*, Rio de Janeiro, ABMS, 1: 13-20.
- Caine, N. 1980. The Rainfall Intensity-Duration Control of Shallow Landslides and Debris-Flows. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 62: 23-27.
- Cerri, L.E.S.; Macedo E.S.; Ogura, A.T.; Nunes, C.M.; Carneiro, S.R.R. & Modesto, R.P. 1990a. Plano Preventivo de Defesa Civil para a minimização das consequências de escorregamentos na área dos Bairros - Cota e Morro do Marzagão, Município de Cubatão (SP) - Brasil. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 1, São Paulo, 1990. *Atas*, São Paulo, ABGE, p. 381-395.
- Cerri, L.E.S.; Macedo E.S.; Ogura A.T.; Nunes C.M.; Carneiro, S.R.R. & Modesto, R.P. 1990b. Plano Preventivo de Defesa Civil para a minimização das consequências de escorregamentos em municípios da Baixada Santista e Litoral Norte do Estado de São Paulo - Brasil. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 1, São Paulo, 1990. *Atas*, São Paulo, ABGE, p. 396-408.
- Coelho Netto, A.L.; Avelar, A.S. & Cruz, E.S. 1999. Conditions and Problems for Landslides in Southeastern Brazil. In: SYMPOSIUM ON MITIGATION OF WATER-RELATED DISASTERS, Nagoya, 1999. Nagoya, IDNDR, v. 1, p. 105-110.
- Duffa, C.; Du Bois, P.B.; Caillaud, M.; Charmasson, S.; Couvez, C.; Didier, D. & Thébault, H. 2016. Development of emergency response tools for accidental radiological contamination of French coastal areas. *Journal of environmental radioactivity*, 151: 487-494.
- Govi, M. & Sorzana, P.F. 1980. Landslide Susceptibility as Function of Critical Rainfall Amount in Piedmont Basins (North-Western Italy). *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 14: 43-61.
- Guidicini, G. & Iwasa, O.Y. 1977. Tentative correlation between rainfall and landslides in a humid tropical environment. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 16(1): 13-20.
- IAEA - International Atomic Energy Agency. 1997. *Method for the development of emergency response preparedness for nuclear or radiological accidents*. Vienna, IAEA-TECDOC-953. 124p.
- IAEA - International Atomic Energy Agency. 2003. *Method for Developing Arrangements for Response to a Nuclear or Radiological Emergency*. Vienna, Updating IAEA-TECDOC-953. 273p.
- IAEA - International Atomic Energy Agency. 2013. *IAEA Report on Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant*. Vienna. 59p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 09/10/2017.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. Brasil em Síntese: Panorama. Rio de Janeiro. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 16/10/2017.
- Ide, F.S. 2005. *Escorregamento, meteorologia e precipitação: uma proposta de método de investigação para a prevenção e monitoramento de riscos, aplicado em Campinas/SP*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 154p.
- Johnson, K.A. & Sitar, N. 1989. Hydrologic Conditions leading to Debris-Flow Initiation, *Canadian Geotechnical Journal*, 27:

Fatores de Vulnerabilidade ao Planejamento de Emergência do Complexo Nuclear de Angra dos Reis – RJ

Corbiniano Silva; Luiz Claudio Gomes Pimentel; Paulo Fernando Lavalle Heilbron Filho; Nilton Oliveira Moraes; Luiz Landau; Fabiana Guimarães Resende Gobbo; Leandro de Souza Camargo & Priscila de Jesus de Sousa

- 789-801.
- Keefer, D.K. 1984. Landslides caused by Earthquakes. *Geological Society of America Bulletin*, 95: 406-421.
- Krieger, K.; Amlôt, R. & Rogers, M.B. 2014. Understanding public responses to chemical, biological, radiological and nuclear incidents - Driving factors, emerging themes and research gaps. *Environment international*, 72: 66-74.
- Ladeira Neto, J.F. 2013. Mapa de declividade em percentual do relevo brasileiro. Rio de Janeiro, CPRM. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br> > Acesso em: 16/03/2017.
- Lumb, P. 1962. *Effect of Rain Storm on Slope Stability*. Hong Kong, Local Property & Printing Company. 87p.
- Lumb, P. 1975. Slope Failures in Hong Kong. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 8: 3165.
- Manfré, L.A.; Hirata, E.; Silva, J.B.; Shinohara, E.J.; Giannotti, M.A.; Larocca, A.P.C. & Quintanilha, J.A. 2012. An analysis of geospatial technologies for risk and natural disaster management. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 1(2): 166-185.
- Mohamed Shaluf, I. 2007. Disaster types. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 16(5): 704-717.
- Moura, C.A. 2006. *Zoneamento Geoambiental como Subsídio à Análise dos Indicadores Ambientais nas Áreas de Dutos: Caracterização do Clima como Fator Determinante da Instabilidade das Áreas de Implantação de Dutos*. Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista, Trabalho de Conclusão de Curso. 69p.
- Newerla, V.B. 1999. Deslizamentos: um mal inevitável? *Ciência & Ensino*, 6: 13-17.
- Oliveira Júnior, J.F. 2008. *Estudo da Camada Limite Atmosférica na Região de Angra dos Reis através do Modelo de Mesoescala MM5 e Dados Observacionais*. Programa de Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 244p.
- Pinto, E.D.A.; Azambuja, A.D.; Farias, J.A.M.; Salgueiro, J.D.B. & Pickbrenner, K. 2011. Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos. Brasília, CPRM. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br> > Acesso em: 06/04/2017.
- Polloni, G.; Aleotti, P.; Baldelli, P. & Noretto, A. 1996. Heavy Rain Triggered Landslides in the Alba During November 1994 Flooding event in the Piemonte Region (Italy). In: SENNESET, K. (Ed.). *Landslides: Proceedings of the Seventh International Symposium*. A.A. Balkema, 3: 1955-1960.
- Silva, C.; Pimentel, L.C.G.; Landau, L.; Heilbron Filho, P.F.L.; Gobbo, F.G.R. & Jesus de Sousa, P. 2017. Supportive elements to the decision-making process in the emergency planning of the Angra dos Reis Nuclear Power Complex, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 76(3): 133.
- Silva, C.; Landau, L.; Pimentel, L.C.G. & Heilbron Filho, P.F.L. 2013. GIS as a Decision Support Tool in the Area of Influence of the Nuclear Complex Angra dos Reis, Brazil. *Journal of Geographic Information System*, 5: 13-23.
- Silva, C. 2013. *Modelagem Lagrangeana da Dispersão Atmosférica de Radionuclídeos e Sistemas de Informação Geográfica como Ferramentas de Suporte ao Planejamento de Emergência na Área de Influência do Complexo Nuclear de Angra dos Reis - RJ*. Programa de Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 251p.
- Silva Jr., G.C. 1991. *Condições geológico-geotécnicas na estabilidade de taludes ao longo da rodovia BR-101 sul - RJ entre Itaguaí e Angra dos Reis*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 172p.
- Smith, K. 2013. *Environmental hazards: Assessing risk and reducing disaster*. Abingdon, Routledge, 478p.
- Soares, E.P. 2006. *Caracterização da Precipitação na região de Angra dos Reis e a sua relação com a ocorrência de Deslizamentos de Encostas*. Programa de Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 145p.
- Steinhauser, G.; Brandl, A. & Johnson, T.E. 2014. Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts. *Science of the Total Environment*, 470-471: 800-817.
- Tatizana, C.; Ogura, A.T.; Cerri, L.E.S. & Rocha M.C.M. 1987a. Análise de Correlação entre Chuvas e Deslizamentos – Serra do Mar – Município de Cubatão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA E ENGENHARIA, 5, São Paulo, 1987. *Anais*, São Paulo, ABGEA, 2: 225-236.
- Tatizana, C.; Ogura A.T.; Cerri, L.E.S. & Rocha, M.C.M. 1987b. Modelamento Numérico da Análise de Correlação entre Chuvas e Deslizamentos aplicados à Encosta da Serra do Mar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA E ENGENHARIA, 5, São Paulo, 1987. *Anais*, São Paulo, ABGEA, 2: 237-248.
- Tavares, R. & Mendonça, F. 2010. Ritmo Climático e Risco Socioambiental Urbano: Chuvas e Deslizamentos de Terra em Ubatuba-SP (BR) entre 1991 e 2009. In: SEMINÁRIO LATINO AMERICANO, 6 E SEMINÁRIO IBERO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 2, Coimbra, 2010. *Actas*, Coimbra, UC, p. 1-13.
- Tsai, M.K. & Yau, N.J. 2013. Enhancing usability of augmented-reality-based mobile escape guidelines for radioactive accidents. *Journal of Environmental Radioactivity*, 118: 15-20.
- Tsai, M.K.; Lee, Y.C.; Lu, C.H.; Chen, M.H.; Chou, T.Y. & Yau, N.J. 2012. Integrating geographical information and augmented reality techniques for mobile escape guidelines on nuclear accident sites. *Journal of Environmental Radioactivity*, 109: 36-44.