

# RISCO DE ESCORREGAMENTOS: MONITORAMENTO E ALERTA DE ÁREAS URBANAS NOS MUNICÍPIOS NO ENTORNO DE ANGRA DOS REIS – RIO DE JANEIRO

Eymar Silva Sampaio Lopes<sup>1</sup>; Laercio Massaru Namikawa<sup>1</sup>; João Bosco Coura dos Reis<sup>1</sup>

## RESUMO

A ocorrência de escorregamentos em áreas urbanas ou mesmo em áreas não habitadas é um processo natural e/ou induzido que precisa ser monitorado preventivamente, uma vez que estas ocorrências são a principal causa de mortes no Brasil decorrentes de desastres naturais. O processo é induzido por fatores climáticos, hidrológicos, geológicos e geomorfológicos, pela vegetação e também pelo homem. Entretanto, a declividade é o principal agente predisponente na deflagração de escorregamentos. O objetivo desse trabalho é demonstrar a aplicabilidade do SISMA DEN no monitoramento e alerta em áreas urbanas, com diferentes declividades, dos municípios no entorno da cidade de Angra dos Reis, quanto ao risco a escorregamentos. Utilizando dados observacionais de satélite e a previsão do final do ano de 2009, demonstra-se que alertas podem ser emitidos com um sistema informatizado que integra dados hidrometeorológicos em tempo real e mapas de risco.

*Palavras-Chave: monitoramento, escorregamentos, Serra do Mar, SISMA DEN.*

## ABSTRACT

The occurrence of landslides in urban areas and n-urban areas is either a natural process or induced, which needs to be monitored proactively, since this is the main cause of deaths in Brazil due to natural disasters. The process is driven by climate, hydrological, geological, geomorphological, vegetation and also by human action. However, the slope is the main predisposing agent in the initiation of landslides. The aim of this study is to demonstrate the applicability of SISMA DEN monitoring and alert in urban areas with different slopes, at the municipalities around the city of Angra dos Reis, based on landslide risk. Using observational data from satellite and forecast of the end of year 2009, it is shown that warnings can be issued with a computerized system that integrates real-time hydrometeorological data and flood risk maps.

*Keywords: monitoring, landslides, Serra do Mar, SISMA DEN.*

---

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE; Av. dos Astronautas 55-12-3208-6500 ; [eymar@dpi.inpe.br](mailto:eymar@dpi.inpe.br), [laercio@dpi.inpe.br](mailto:laercio@dpi.inpe.br), [joaoreis@dpi.inpe.br](mailto:joaoreis@dpi.inpe.br)

## 1- INTRODUÇÃO

Os escorregamentos de terra, sobretudo os translacionais, representam os principais processos do quadro evolutivo das encostas da Serra do Mar, e ocorrem naturalmente nas médias e altas encostas da serra, mesmo em vertentes totalmente isentas de qualquer ação antrópica (WOLLE, 1985). Estes escorregamentos podem ocorrer de diversas maneiras, ou seja, de forma isolada, muitas vezes induzida pelo homem, ou de forma generalizada, com potencial para criar corridas de lama e detritos que alcançam grandes distâncias com alto poder destrutivo. Como exemplo recente da primeira forma, existe o caso da região de Angra dos Reis, onde em dezembro de 2009 ocorreram 63 mortes na Ilha Grande e na cidade de Angra. Como exemplo da segunda forma, existe o evento da região serrana do Rio de Janeiro, onde em janeiro de 2011 ocorreram mais de 900 mortes e outros 400 desaparecimentos, entre os municípios de Teresópolis, Petrópolis, Nova Friburgo, Sumidouro e São José do Vale do Rio Preto.

A velocidade de deslocamento de material das encostas, assim como, a capacidade de transporte de solos e rochas, são diretamente proporcionais à declividade sendo, portanto, a declividade uma das principais causas predisponentes na deflagração de escorregamentos. Entretanto, o maior número de escorregamentos não ocorre necessariamente nas encostas mais íngremes. Segundo IPT (1987), Fernandes & Amaral (2003), os escorregamentos ocorrem em encostas com declividade acima de  $20^\circ$ , sendo que a maior densidade de movimentos não ocorre em declividades maiores que  $35^\circ$ , mas entre  $21^\circ$  a  $35^\circ$ . Tal comportamento é atribuído a variações na cobertura vegetal e, que nas altas encostas, as espessuras de solo são menores, indicando onde o material já teria sido removido por movimentos pretéritos. Lopes (2006) mapeou e analisou as cicatrizes de escorregamentos, extraídas de ortofotos, em dois eventos de escorregamentos generalizados, nos anos de 1985 e 1994 na região da Serra do Mar paulista, encontrando cicatrizes preferencialmente no intervalo de declividade entre  $35^\circ$  e  $40^\circ$ .

Nos processos de movimentos de massa o clima representa, segundo Wolle (1988), um papel preponderante, tanto como agente predisponente, isto é, tanto como preparador do potencial de causar instabilidade das encostas, quanto como causa imediata e deflagradora de instabilidades, geralmente na forma de chuvas intensas. Além disso, chuvas intensas interferem no fator de segurança das encostas, criando uma diminuição da coesão e ângulo de atrito interno do material, um aumento do peso específico do solo e a formação de um nível de água (NA) que cria linhas de fluxos paralelos à encosta, com o mesmo sentido da tensão cisalhante.

No Brasil, é durante os períodos chuvosos que mais sofremos a ação dos desastres em razão de estes estarem diretamente relacionados a eventos pluviométricos intensos e prolongados. E é o verão o período que registra a maior quantidade de precipitação nas regiões Sul e Sudeste brasileiros, fator com potencial de desencadear os processos de escorregamentos, estes, por sua vez, é a maior causa de mortes por desastres naturais e/ou induzidos pelo homem no Brasil, superando as inundações. Paralelo a estas questões, o relatório do IPCC (2007) menciona que eventos extremos de precipitação podem aumentar ainda mais que a média recente, podendo gerar enchentes e alagamentos mais severos e intensos num clima mais quente, como é a região do sudeste brasileiro.

O aumento da incidência dos desastres naturais é explicado paralelamente ao intenso processo de urbanização, com alta densidade populacional e crescimento desordenado das cidades, que o Brasil tem apresentado. A expansão das cidades em direção às áreas impróprias e que apresentam riscos para a ocupação é impulsionado pela especulação imobiliária e pela desigualdade social, explicando assim a formação de favelas, áreas sem qualquer tipo de infraestrutura, de condições básicas e de segurança para se viver, aumentando a vulnerabilidade e os riscos da sociedade. Quando as áreas urbanas estão em áreas de relevo mais acidentado, como o litoral da região sudeste, notamos que cada vez mais as cidades, principalmente as litorâneas, estão espremidas pelo relevo, refletindo num avanço em áreas cada vez mais declivosas.

A tecnologia existente hoje permite atuar em diversas frentes para agir de forma preventiva na ocorrência de escorregamentos de terra, utilizando um conjunto de dados meteorológicos fornecidos em tempo real por institutos de meteorologia como o Centro de Previsão de Tempo e

Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), dados observacionais provenientes de satélites, radares e plataformas de coleta de dados (PCD), e modelos de previsão. Outra frente de trabalho do INPE é o desenvolvimento de um sistema monitoramento e alerta, que permite coletar os dados meteorológicos para transformar os avisos meteorológicos em alertas efetivos.

## 1.1 - Objetivos

O objetivo deste trabalho é demonstrar a aplicabilidade do SISMADEN no monitoramento e alertas em áreas urbanas dos municípios no entorno da cidade de Angra dos Reis, quanto ao risco a escorregamentos. Foram utilizados dados observacionais e de previsão no período de 28 de dezembro de 2009 a 2 de janeiro de 2010. A Figura 1 mostra a localização da área com destaque para o município de Angra dos Reis.

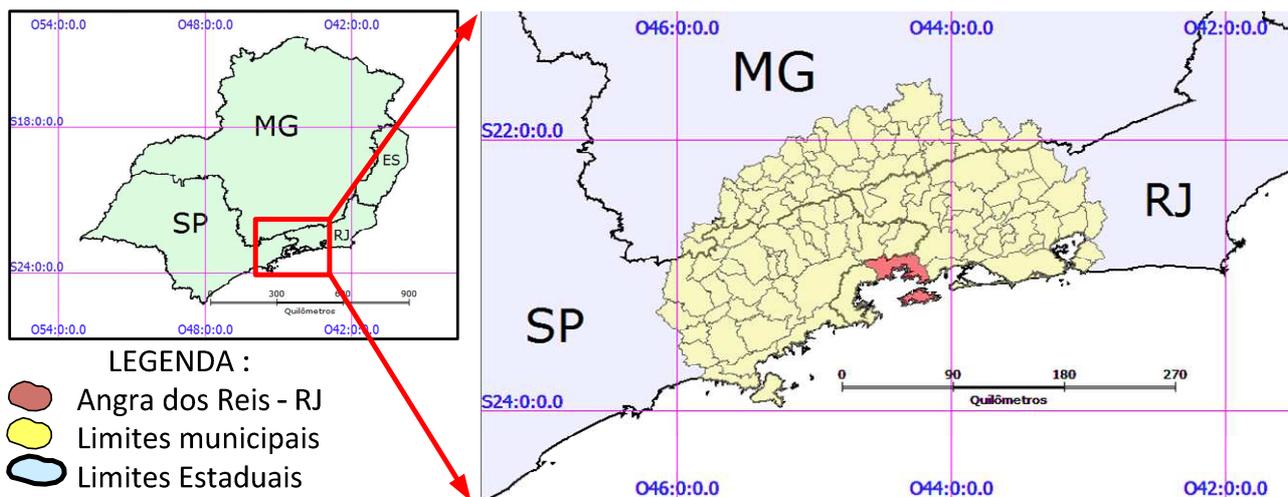


Figura 1 - Localização da área de estudo.

## 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

### 2.1 – Sistema de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais

Para realizar o monitoramento dos desastres naturais durante os eventos extremos utilizamos o software denominado de SISMADEN - Sistema de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais ([www.dpi.inpe.br/sismaden](http://www.dpi.inpe.br/sismaden)), desenvolvido no Departamento de Processamento de Imagem (DPI) no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em São José dos Campos (INPE, 2010). Este software permite cruzar em tempo real os dados hidrometeorológicos com mapas de riscos ambientais, com o objetivo de gerar alertas para diversos tipos de desastres naturais.

O SISMADEN é um produto de software livre, desenvolvido utilizando-se como plataforma de desenvolvimento a biblioteca de software TerraLib ([www.dpi.inpe.br/terralib](http://www.dpi.inpe.br/terralib)). Ele é baseado em uma arquitetura de serviços (Figura 2), aberta, que provê a infraestrutura tecnológica necessária ao desenvolvimento de sistemas operacionais para monitoramento de alertas de riscos ambientais. Os serviços incluem a busca de dados atuais através da internet e sua incorporação à base de dados do sistema, o tratamento e análise dos dados recebidos em tempo real para verificar se uma situação de risco existe, através de uma comparação com mapas de risco ou de um modelo definido. Outros serviços executam, editam e criam novos modelos de risco e alerta, além de notificar os alertas para os usuários do sistema.

O sistema está baseado no conceito de serviços (SOA – Service Oriented Architecture), onde um serviço é uma independente e aceita uma ou mais requisições, retornando um ou mais

resultados. Os serviços são administrados por um aplicativo que permite executar operações em resposta a um temporizador e outro aplicativo que define os parâmetros dos serviços por meio de interfaces específicas.

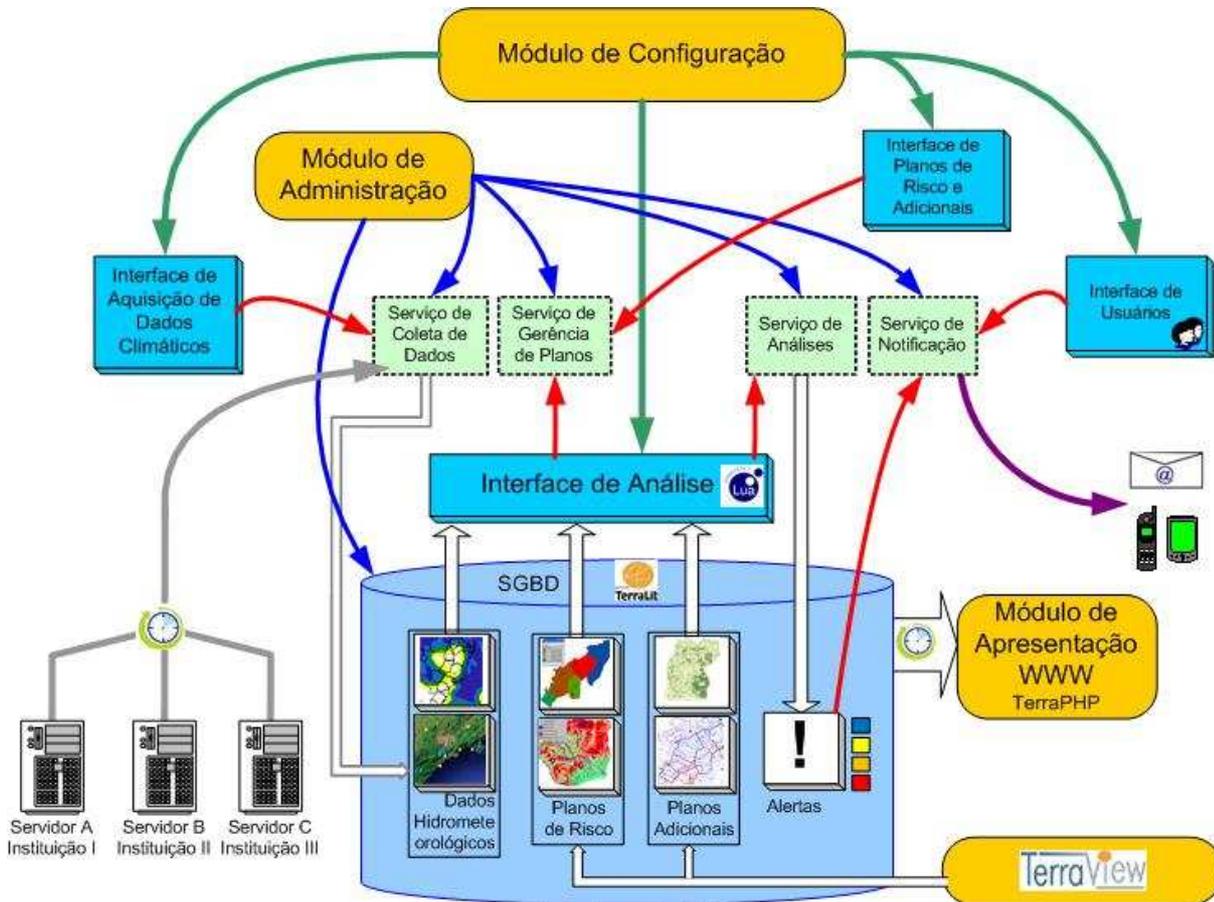


Figura 2 - Arquitetura do software SISMADEN

O SISMADEN usa uma Base de Dados Geográficos para a troca de informações. Os dados da base são armazenados no formato padrão TerraLib e incluem os dados hidrometeorológicos, planos de risco e planos de informação adicionais necessários para a execução das análises e definição de alertas.

O **serviço de coleta de dados** é o responsável pela aquisição dos dados hidrometeorológicos disponibilizados por servidores remotos, através da busca periódica de novos arquivos. Caso estes sejam encontrados, os arquivos são baixados e incluídos na base de dados geográficos. Os servidores de dados e a localização destes nos servidores são configuráveis através dos aplicativos.

O **serviço de gerência de planos** executa a manipulação de planos de informação na base de dados geográficos, como a inclusão de novos planos e a listagem de planos existentes.

O **serviço de análise** é o responsável pelo cruzamento entre informações hidrometeorológicas, planos de risco e planos adicionais para determinar a ocorrência de zonas de alerta. Para cada análise configurada afetada por novos dados, o algoritmo de análise respectivo é executado. Caso novos alertas sejam gerados ou um alerta antigo tenha seu nível alterado na análise, os alertas são gravados na base de dados geográficos. As análises são configuráveis utilizando a linguagem de programação LUA ([www.lua.org](http://www.lua.org)).

O **serviço de notificações** é o responsável pelo envio de mensagens e relatórios contendo informações a respeito das alterações nos níveis de risco detectados pela análise. Os usuários

devem se cadastrar como observadores das análises para receber os relatórios de alteração, que são enviados através de correio eletrônico.

O **Módulo de Administração** é o aplicativo responsável pela definição do banco de dados, dos serviços que estarão em processamento para um banco e do balanço de cargas dos serviços. O **Módulo de Configuração** é o aplicativo responsável por configurações do sistema, que inclui a definição dos dados hidrometeorológicos serão obtidos dos servidores externos, a definição dos planos de riscos e adicionais, a definição das análises, e quais alertas serão enviados para os usuários cadastrados.

O SISMA DEN considera cinco níveis de alertas: normal, observação, atenção, alerta e alerta máximo; definidos de acordo com a intensidade do risco oriunda dos resultados das análises a cada novo dado coletado.

## 2.2 – Planos de Risco

Para definir o plano de risco (um plano de informação contendo um mapa com geometria de polígonos) utilizado nos alertas, foram extraídas as áreas urbanas do “Atlas dos Remanescentes Florestais” (<http://mapas.sosma.org.br/>) da Fundação SOS Mata Atlântica e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Os polígonos de áreas urbanas foram analisados sobre os dados de declividade das grades do SRTM do projeto TOPODATA (VALERIANO, 2005). A partir da fronteira de cada área urbana foi calculada uma distância de 300 metros (“buffer”), para definir polígonos na forma de anéis (cor verde na Figura 3).

Utilizando operadores zonais sobre as áreas urbanas e sobre as áreas com distância de 300 metros, foi calculado o máximo zonal da declividade em ambas as áreas. Posteriormente, foi criado um índice de risco com valores entre 0 e 1, a partir dos valores mínimo e máximo dentro de cada área.

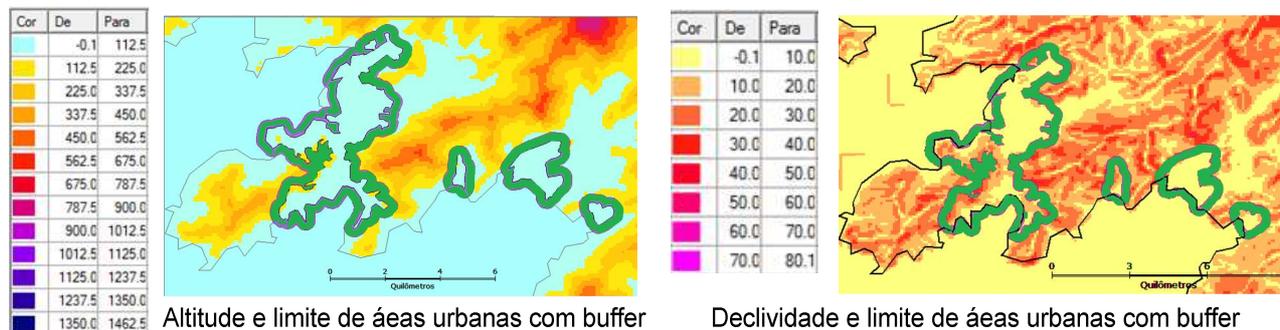


Figura 3 – Detalhe da área urbana de Angra dos Reis e respectiva distância de 300 metros (aneis verdes).

## 2.3 – Análise Desenvolvida

A análise escrita em LUA foi elaborada com base nos dados acumulados em 24 horas de precipitação estimada através de imagens de satélite, somados à chuva prevista para as próximas 12 horas pelo modelo ETA (BUSTAMENTE; CHOU, 2009) de previsão numérica do tempo do CPTEC/INPE. Os dados do modelo ETA são atualizados 2 vezes ao dia, às 00 e às 12h GMT e os dados do Hidroestimador (estimador de precipitação instantânea baseada na imagem de satélite, mais informações em SCOFIELD, 2001) são atualizados a cada 15 minutos na hora GMT (-3 horas com relação a horário local, desconsiderado o horário de verão).

A Figura 4 exemplifica o mecanismo automático de análise envolvendo duas fontes de dados em 3 tempos diferentes. No Tempo 1, a chuva total é dada pela soma da precipitação acumulada e da chuva prevista, realizada com um conjunto de arquivos adquiridos do Hidroestimador e um arquivo de previsão com intervalo de 1 hora entre cada banda, disponível a partir da 0 hora. No Tempo 2, a chuva total é recalculada com um novo conjunto de arquivos

adquiridos a cada 15 minutos do Hidroestimador e o mesmo arquivo de previsão. No Tempo 3, a chuva total é recalculada com um novo conjunto de arquivos adquiridos a cada 15 minutos do Hidroestimador e um novo arquivo de previsão, disponível a partir das 12 horas. Note que a passagem do arquivo de previsão da 0 hora para o das 12 horas é automático. Note ainda que o valor de chuva total é atualizado sempre que um dado novo chega, no caso, pelo menos a cada 15 minutos, que é a maior frequência de coleta.

Este exemplo é a uma situação hipotética, pois na verdade os arquivos de previsões sempre chegam com um atraso normal, dado que as 0 e 12 horas respectivamente se inicia a coleta dos dados que serão processados diariamente pelos modelos matemáticos de previsão do INPE e portanto, os resultados das previsões ficam disponíveis algumas horas depois, com 4 a 6 horas de atraso. Este atraso não causa problema algum, dado que sempre existirá um arquivo anterior de previsão que será utilizado até que o arquivo da nova previsão seja coletado pelo SISMA DEN.

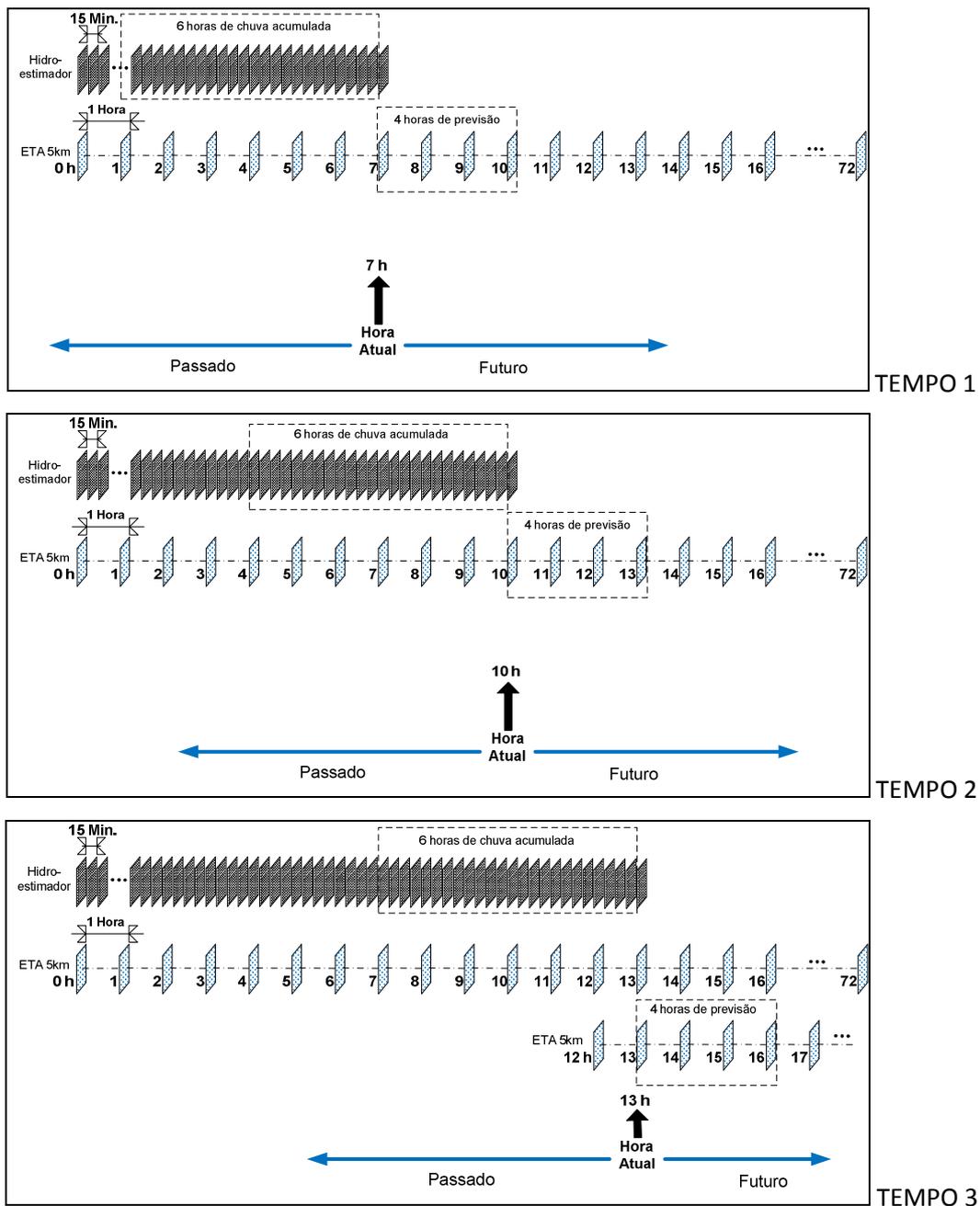


Figura 4 – Esquema automático do cálculo de chuva acumulada por satélite e previsão numérica.

A metodologia utilizada para monitoramento engloba 319 áreas urbanas de 121 municípios dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais no entorno de Angra dos Reis (Figura 1), onde foi realizada uma análise para demonstrar a capacidade de gerar alertas com antecedência quanto ao risco de escorregamentos. A análise foi realizada em um banco de estudo que permite simular, passo a passo, o evento ocorrido entre dezembro 2009 e janeiro de 2010.

A análise (Análise\_Hidro24hrs\_ETA12hrs) integra os dados do Hidroestimador e do modelo ETA, e permite computar o valor acumulado de chuva através do Hidroestimador e, simultaneamente, somar a quantidade de precipitação prevista pelo modelo ETA. Esta soma foi multiplicada pelo fator de risco para definir os limites de cada nível de alerta. Os operadores utilizados foram “prec\_historico\_grid” em 24 horas e “maximo\_eta” zonal para grades com bandas para as próximas 12 horas. A Figura 5 mostra o programa escrito em Lua para esta análise.

```
local max_prec = prec_historico_grid('hidro', 24) or 0
local prev24h = maximo_eta('eta5km', 12)
if max_prec == nil then
    max_prec = 0
end
if prev24h == nil then
    prev24h = 0
end
local chuvaTotal = (max_prec + prev24h) * risco
if chuvaTotal == nil or chuvaTotal < 50 then
    return 0
elseif chuvaTotal < 100 then
    return 1
elseif chuvaTotal < 120 then
    return 2
elseif chuvaTotal < 140 then
    return 3
else
    return 4
end
```

Figura 5 - Modelo de Análise em linguagem Lua. (Análise Hidro24hrs ETA12hrs)

### 3 - RESULTADOS

Os resultados mostram que, em geral, a declividade máxima interna as áreas urbanas é ligeiramente menor que a declividade máxima na periferia dessas mesmas áreas urbanas, dentro de uma faixa de distância de 300 metros. Esta constatação era esperada uma vez que as manchas urbanas das cidades em regiões da Serra do Mar e Mantiqueira estão na maioria das vezes limitadas pelas regiões de maior declividade nas suas periferias.

Na análise realizada pelo SISMA DEN foi possível identificar com antecedência de aproximadamente 18 horas que o acumulado de chuva na madrugada do dia primeiro de janeiro de 2010, quando os deslizamentos ocorreram, apontava a situação de risco para a região. Este alerta, nas mãos da Defesa Civil, poderia ajudar na tomada de decisões, na definição do estado de alerta para eventuais ações, como por exemplo, retirar a população das áreas de riscos e levá-la a um lugar seguro.

A chuva acumulada em 24h estimada por satélite atingiu 101,71 mm às 10 horas do dia 31/12/2009 na área urbana de Angra dos Reis, justamente nas áreas onde as declividades máximas, interna e na faixa de 300m, são maiores, isto é, 37,6 e 40,3 graus, respectivamente. Nota-se que o mesmo limiar de 100 mm de chuva acumulada foi registrado num pluviômetro da Eletronuclear, instalado junto a usina nuclear de Angra, foi atingido às 9 horas da manhã. No mesmo dia, às 22h30min, a chuva acumulada atingiu o valor de 173,4 mm e a previsão anunciava mais 48,87 mm para as próximas 12 horas.

Das imagens geradas pela análise no SISMA DEN observamos a gradativa evolução da quantidade e nível de alertas nas áreas urbanas. A chuva era constante durante os dias antes da virada do ano, despertando o alerta devido ao acumulado de chuva cada vez mais crítico. A Figura 6 abaixo mostra um momento do alerta gerado na área principal do município de Angra dos Reis em cor laranja (nível de alerta: **Alerta**). Nota-se que outras manchas urbanas próximas ao centro de Angra apresentam um nível de alerta menor, de cor amarela (nível de alerta: **Atenção**), mesmo com intensidades de chuva acumulada e prevista próximas ao registrado no centro, porém com declividades menores, gerando um nível de alerta menor.

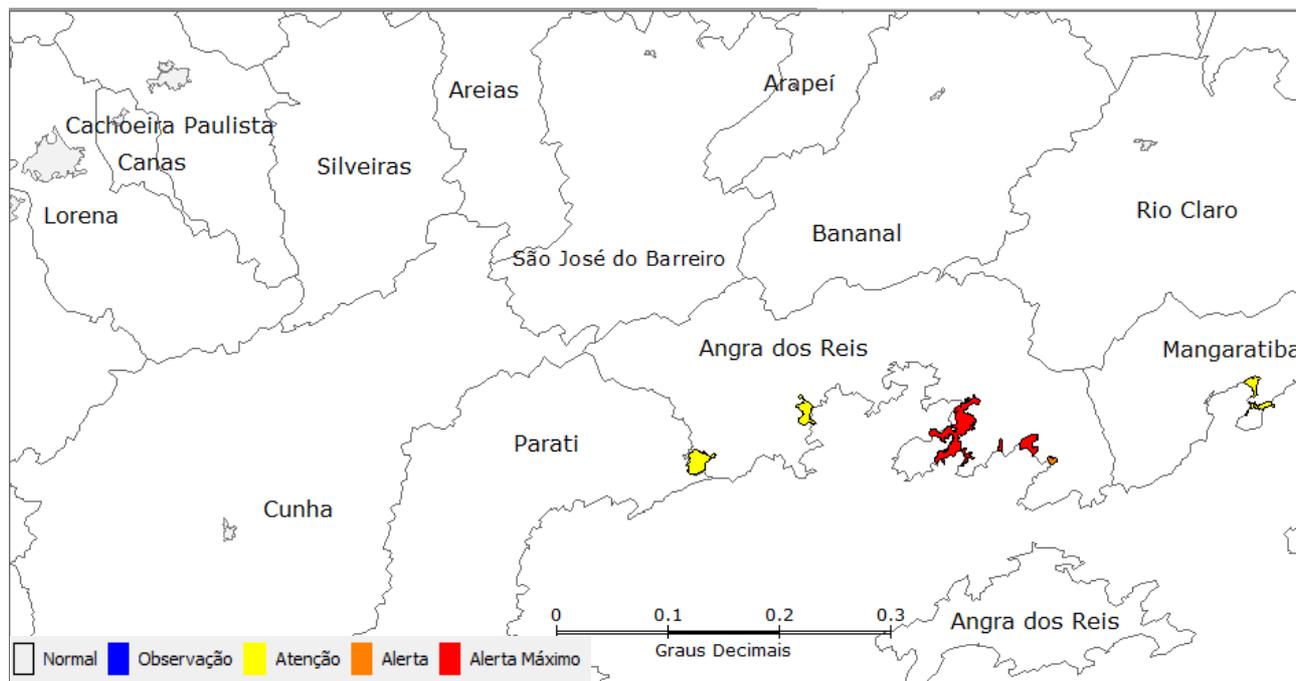


Figura 6 – Imagem da Análise Hidro24hrs\_ETA12hrs as 18:30 horas do dia 31/12/2009.

## 5 - CONCLUSÕES

Os resultados obtidos através das análises realizadas em um banco de dados no programa SISMA DEN demonstraram que a geração de alertas de escorregamentos com antecedência é possível de ser realizada. O monitoramento de áreas urbanas com maiores declividades permite alertar quando a probabilidade da ocorrência de escorregamentos de terra é maior, como durante o evento na cidade de Angra dos Reis e municípios vizinhos, no final do ano de 2009. Assim, é possível alertar as autoridades competentes, por exemplo, a Defesa Civil, auxiliando na tomada de decisões rápidas para minimizar os efeitos causados pelos fortes eventos precipitantes.

A estimativa de precipitação por satélite neste evento atingiu valores muito próximos aos valores medidos pelo pluviômetro na região de Angra dos Reis, o que mostra a importância de ter acesso a esses dados em tempo real. Entretanto, deve-se fazer uso de outras fontes de dados como radares meteorológicos, uma rede pluviométrica mais densa e, mais importante, mapas de riscos detalhados das encostas dentro das áreas urbanas.

Análises que consideram somente o fator declividade relacionada à ocorrência de escorregamentos demonstraram que é possível atribuir importâncias relativas no monitoramento em tempo real, demonstrando o valor de se investir em sistemas que permitam integrar dados meteorológicos ou ambientais com mapas de riscos, como é a proposta do SISMA DEN.

O SISMA DEN é um software inovador com a capacidade de cruzar dados meteorológicos em tempo real com dados da vulnerabilidade do município ou região, de onde surge a necessidade dos municípios em produzir mapas de riscos atualizados de suas áreas. Apesar

desse trabalho não utilizar dados geotécnicos, estes podem ser incorporados às análises e aos dados meteorológicos cada vez mais precisos, implicando em alertas mais confiáveis.

## REFERÊNCIAS

BUSTAMANTE, J. F. F., CHOU, S. C., 2009: Impact of including moisture perturbations on short-range ensemble forecasts. **Journal of Geophysical Research**. DOI: 10.1029/2009JD012395.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. 4.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. Cap. 3, p. 123-194.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. **Sistema de Monitoramento e Alerta a Desastres Naturais – SISMA DEN**. 2010. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/sismaden/>>. Acesso em: 27 abr. 2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT) **Estudos das instabilizações de encostas da Serra do Mar na região de Cubatão, objetivando a caracterização do fenômeno “Corrida de Lama” e a prevenção de seus efeitos**. São Paulo, 1987. Relatório n 25636/87.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Working Group I, AR4, Chapter 11. Regional Climate Projections. Paris, 2007. Disponível em: <[http://www.cptec.inpe.br/mudancas\\_climaticas/](http://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas/)> Acessado: 27 abr. 2011.

LERUSALIMSCHY, R.L.H.; FIGUEIREDO, L.H.; CELES FILHO, W. **Lua - an extensible extension language software**: Practice & Experience 26:6, 635-62, 1996. Disponível em: <[www.lua.org](http://www.lua.org)> Acesso em: 27 abr. 2011.

LOPES, E.S.S. **Modelagem espacial dinâmica em sistema de informação geográfica – uma aplicação ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar paulista**. Rio Claro, 2006. 320p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

SCOFIELD, R. A.. **Comments on “A quantitative assessment of the NESDIS Auto-Estimator”**. *Weather and Forecasting*. - v. 16, n. 2, pp. 277-278, 2001.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia, GO. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. p. 1-8.

WOLLE, C.M. Slope stability. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TROPICAL LATERITIC AND SAPROLITIC SOILS, 1, 1985, Brasília. **Progress Report**. t.3.2, 51 p. (Discussion).

WOLLE, C.M. **Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encostas**. 1988. 394f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da USP, São Paulo.