

# UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO E ALERTA DE DESASTRES NATURAIS APLICADO A SITUAÇÕES DE ESCORREGAMENTOS – CASO DE ANGRA DOS REIS

João Bosco Coura dos Reis<sup>1</sup>

Thiago Lobão Cordeiro<sup>2</sup>

Eymar Silva Sampaio Lopes<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE; joaoreis@dpi.inpe.br

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE; cordeiro@dsr.inpe.br

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE; eyumar@dpi.inpe.br

## INTRODUÇÃO

Não é de hoje que a humanidade sofre com desastres naturais que causam grande destruição no espaço, porém nos últimos anos os fenômenos que atingiram a humanidade ganharam mais destaque e importância em razão das inúmeras perdas de vidas, dos danos materiais e das paralizações temporárias das atividades econômicas. No Brasil, é durante os períodos chuvosos que mais sofremos a ação dos desastres em razão de estarem diretamente relacionados a eventos pluviométricos intensos e prolongados. E é o verão o período que registra a maior quantidade de precipitação no Sul e Sudeste brasileiro, fator com potencial de desencadear os processos de escorregamentos, também conhecido como deslizamentos, 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, podendo gerar enchentes e alagamentos mais severos e intensos num clima mais quente, como é a região do sudeste brasileiro.

Escorregamento é o processo de movimento gravitacional de massa que, de modo geral, ocorre quando uma vertente, já saturada pela água, é atingida por uma precipitação horária, provocando os deslizamentos. O processo é induzido por fatores climáticos e hidrológicos, geológicos, geomorfológicos, pela vegetação e também pelo homem. Tavares *et al.* (2004) consideram que o total de chuva acumulada no solo suficiente para causar deslizamentos na Serra do Mar é de 120 mm em 72 horas, fato observado em 70% dos

casos quando choveu igual ou superior a esta medida. A ação humana tem causado uma maior instabilidade das vertentes e contribuído para o aumento no número de ocorrência de escorregamentos em razão do mau uso e ocupação do solo, motivados pela falta de planejamento e infraestrutura adequada que garanta a estabilidade da vertente.

O aumento da incidência dos desastres naturais é explicado paralelamente ao intenso processo de urbanização, de densidade populacional e crescimento desordenado das cidades que o Brasil tem apresentado. A expansão das cidades para áreas impróprias e que apresentam riscos para a ocupação é impulsionado pela especulação imobiliária e desigualdade social, explicando assim a formação de favelas, áreas sem qualquer tipo de infraestrutura, condições básicas e segurança para se viver, aumentando a vulnerabilidade e os riscos da sociedade. A indevida ocupação de áreas suscetíveis a processos naturais, como escorregamentos, são áreas chamadas de Área de Preservação Permanente (APP) que segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) deveriam ser protegidas e preservadas. A falta de fiscalização dos órgãos competentes e descumprimento das leis por parte da população levam aumento dos riscos de desastres naturais.

Os desastres naturais estão ganhando grande importância no cenário atual, estão sendo feitas discussões e debates a fim de se encontrar soluções que minimizem os danos causados por esses fenômenos. Assim como a elaboração de políticas públicas eficientes que norteiem o crescimento das cidades e o processo de ocupação e uso do solo, de fiscalização por parte dos órgãos competentes para o cumprimento das leis, passando por uma verdadeira educação ambiental, os sistemas de monitoramento estão ganhando destaque pela capacidade de prever e diminuir perdas de vidas em desastres naturais.

Dentre os últimos desastres, nos chama a atenção o ocorrido na região do município de Angra dos Reis, no Estado do Rio de Janeiro, onde aproximadamente 52 pessoas morreram na virada do ano de 2009 para 2010 por conta de deslizamentos de terras que atingiram Ilha Grande e o morro do Carioca, na parte continental. Foi registrado para as últimas 12 horas do dia 31 de dezembro de 2009 e as 12 primeiras horas do dia primeiro de janeiro de 2010, um valor aproximadamente de 142 mm de água para a região de Angra dos Reis. Este episódio foi escolhido para realizar um estudo que teste a capacidade de monitorar e gerar alertas com antecedência de desastres naturais, com o objetivo de reduzir o número de vidas perdidas.

Brevemente, percebemos a importância de Angra dos Reis pelo fato de ser um polo turístico, principalmente no verão, que está em pleno desenvolvimento econômico e social, nela localiza-se a Usina Nuclear e por ela passa a BR-101, que é a principal rota de fuga da população, caso ocorra algum acidente com a Usina. O município ainda apresenta, em seu

processo de uso e ocupação do solo, a prática constante de corte de talude para dar lugar a residências, o que aumenta a suscetibilidade a escorregamentos de massa.

Através do monitoramento das áreas de riscos, hoje podemos prever desastres naturais contando com 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).

## **OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho foi de monitorar e gerar alertas com antecedência para eventos precipitantes extremos na região de Angra dos Reis, fazendo parte da área de estudo municípios dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Para demonstrar a capacidade de monitorar e gerar alertas nessa região foram utilizados dados observacionais e de previsão no período de 28 de dezembro de 2009 a 2 de janeiro de 2010.

## **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA**

### ***SISTEMA DE MONITORAMENTO E ALERTA DE DESASTRES NATURAIS***

Para realizar o monitoramento dos desastres naturais durante os eventos extremos utilizamos o software denominado de SISMA DEN - 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. 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 SISMA DEN é um produto de software livre, desenvolvido utilizando-se como plataforma de desenvolvimento o TerraLib ([www.dpi.inpe.br/terralib](http://www.dpi.inpe.br/terralib)). É um sistema computacional (Figura 1), baseado em uma arquitetura de serviços, aberta, que provê a infraestrutura tecnológica necessária ao desenvolvimento de sistemas operacionais para monitoramento de alertas de riscos ambientais. O sistema possui serviços para buscas de dados atuais através da internet e sua incorporação à base de dados do sistema. Serviços para tratar e analisar os dados recebidos em tempo real e verificar se uma situação de risco existe para cada evento, através de uma comparação com mapas de risco ou de um modelo definido. Serviços para executar, editar e criar novos modelos de risco e alerta, além dos serviços de notificação de alerta para os usuários do sistema.

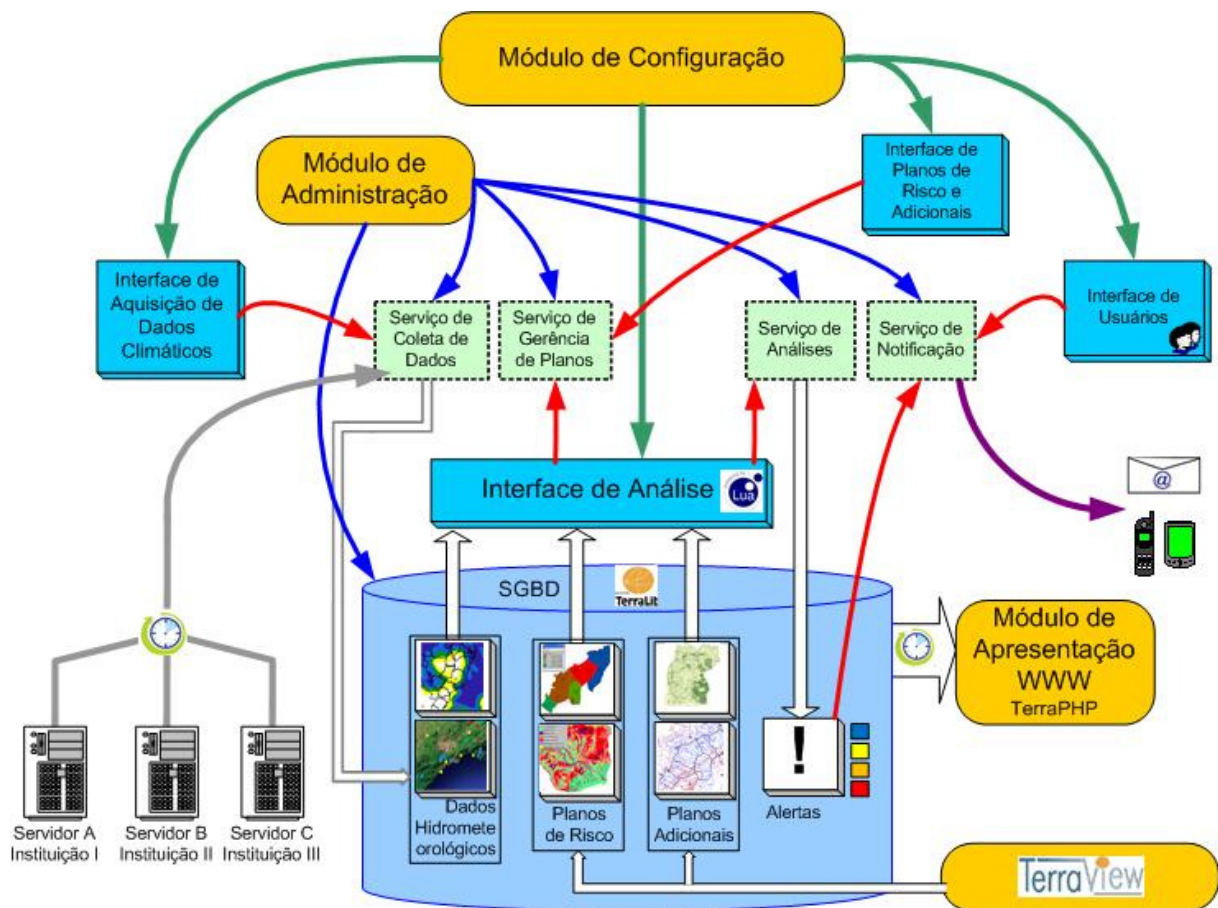


Figura 1 - Arquitetura do software SISMADEN

O sistema está baseado no conceito de serviços (SOA – Service Oriented Architecture), onde um serviço é uma funcionalidade independente, sem estado, que aceita uma ou mais requisições e retorna um ou mais resultados. Os serviços são administrados por um módulo (aplicativo) que permite executar operações em resposta a um “timer”. Um módulo de configuração passa os parâmetros para os serviços por interfaces específicas.

Os módulos e serviços usam uma Base de Dados Geográficos para a troca de informações geográficas. 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 responsável pela aquisição dos dados hidrometeorológicos disponibilizados por servidores remotos, buscando periodicamente arquivos. Caso 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.

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

O **serviço de análise** é responsável pelo cruzamento entre as informações hidrometeorológicas, planos de risco e planos adicionais para determinação da ocorrência de zonas de alerta. Para cada análise configurada que é afetada por dados novos 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 com a linguagem de programação LUA ([www.lua.org](http://www.lua.org)).

O **serviço de notificações** é responsável pelo envio de mensagens e relatórios contendo informações a respeito das alterações nos níveis de risco detectados pelo módulo de análise. Os usuários devem se cadastrar como observadores das análises para receberem os relatórios de alteração, enviados através de correio eletrônico.

O **Módulo de Administração** é o aplicativo responsável pela definição do banco de dados (se estudo ou operação), dos serviços que estarão em processamento para um banco e da distribuição de cargas para mais de um computador. Enquanto o **Módulo de Configuração** é o aplicativo responsável por configurações do sistema, que inclui interfaces para definir que 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 usuários cadastrados.

O SISMADEN considera cinco níveis de alertas, de acordo com a intensidade do risco, sendo eles: normal, observação, atenção, alerta e alerta máximo, oriundo dos resultados das análises a cada novo dado coletado.

## **BASES HIDROMETEOROLÓGICAS**

A utilização de dados hidrometeorológicos para gerar análises possibilitam monitorar áreas de riscos a eventos extremos. Para tal, foram utilizados os dados hidrometeorológicos de satélite (Hidroestimador), dados de plataforma de coleta de dados (PCD) e de previsão numérica de tempo – modelo ETA (BUSTAMENTE; CHOU, 2009), disponibilizados pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Hidroestimador, segundo Scofield, 2001,

*é um método inteiramente automático que utiliza uma relação empírica exponencial entre a precipitação (estimada por radar) e a temperatura de*

*brilho do topo das nuvens (extraídas do canal infravermelho do satélite GOES-12), gerando taxas de precipitação em tempo real. Através da tendência de temperatura da nuvem (e informações de textura) é utilizado um ajuste da área coberta pela precipitação. Variáveis como água precipitável, umidade relativa, orografia, paralax e um ajuste do nível de equilíbrio convectivo para eventos de topos quentes são utilizadas para ajustar automaticamente a taxa de precipitação.*

PCD: plataforma de coleta de dados fornece informações meteorológicas (temperatura, pressão, direção e velocidade dos ventos, umidade, quantidade de chuva) utilizadas para previsão do tempo e estudos climáticos. Para este trabalho foram utilizados os dados de um pluviômetro de propriedade da Eletronuclear.

Previsão numérica de tempo – modelo ETA: é um modelo de mesoescala em ponto de grade que utiliza equações primitivas para obtenção das previsões. Desta forma, conhecendo-se o estado inicial do escoamento da atmosfera é possível obter o estado em um tempo posterior integrando numericamente as equações que governam a atmosfera. O objetivo principal desse modelo é prever com maiores detalhes sistemas organizados em mesoescala como frentes, orografia, tempestades severas, brisa marítima, etc.

## **METODOLOGIA**

A metodologia utilizada para monitoramento englobou 121 municípios dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais no entorno de Angra dos Reis (Figura 2), onde foram realizadas três análises para demonstrar a capacidade de gerar alertas com antecedência. Estas análises foram realizadas em um banco de estudo que permite simular passo a passo o evento ocorrido.

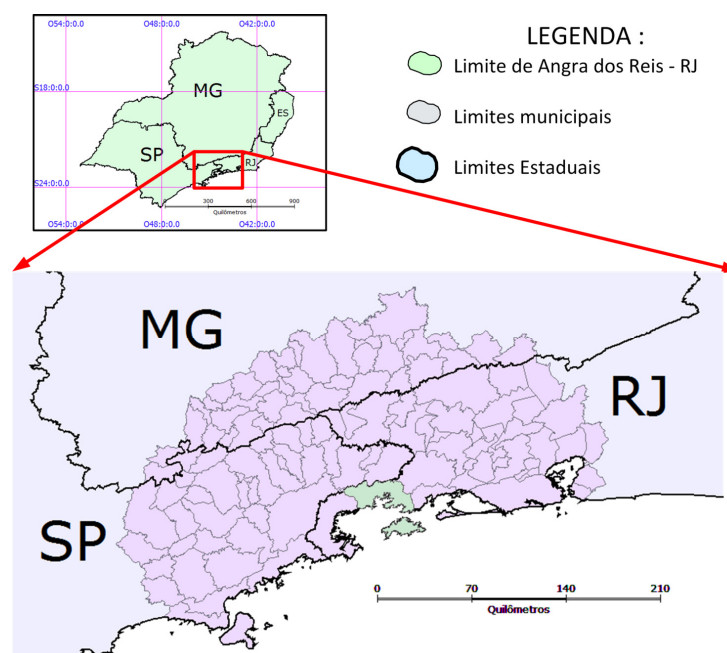


Figura 2 - Localização da área de interesse.

A primeira análise (Análise Hidro24hrs ETA12hrs) integra os dados do Hidroestimador e do modelo ETA, onde permite-se computar o valor acumulado de chuva através do Hidroestimador e simultaneamente somar a quantidade de precipitação prevista pelo modelo ETA. Os operadores utilizados foram a soma histórica para grades em 24 horas e o máximo operador zonal para grades com bandas para as próximas 12 horas. A Figura 3 mostra o programa escrito em Lua para esta análise. Esta análise foi configurada como sendo do tipo **ativa**, o que significa que é automaticamente executada a cada novo dado coletado.

```
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
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 3 - Modelo de Análise em linguagem Lua. (Análise Hidro24hrs ETA12hrs)

A segunda análise (Análise Prec. Acumulada PCD) foi elaborada utilizando os dados oriundos de um pluviômetro com valores instantâneos de chuvas a cada 1 hora. Nesta análise foi utilizado o operador de soma histórico para pontos com o objetivo de obter o acumulado de precipitação nas últimas 24 horas. A Figura 4 (da esquerda) mostra o programa escrito em Lua para esta análise. Esta análise também foi configurada como sendo do tipo **ativa**, porém é a mesma utilizada para disparar uma análise condicionada quando está atingindo um limiar já definido por um programa em Lua.

A terceira análise (Análise PCD24hrs ETA24hrs) está condicionada pela segunda, ou seja, está só será executada quando a segunda atingir um limiar de chuva pré-definido, isto é, um acumulado superior a 100 milímetros (MACEDO et al., 2004). Nesta análise foi computada a soma da chuva acumulada pela PCD à previsão das próximas 4 horas do modelo ETA. A figura 4 (da direita) mostra a análise escrita em Lua.

<pre> local chuvaAcumulada = 0 local pcd = influencia_pcd('PCD')  for i, v in ipairs(pcd) do chuvaAcumulada = chuvaAcumulada +   ( soma_historico_pcd('PCD', 'prec', v,72) ) end print(nome, ', ',chuvaAcumulada, ' ')  if chuvaAcumulada &lt; 50 then   return 0 elseif chuvaAcumulada &lt; 100 then   return 1 elseif chuvaAcumulada &lt; 140 then   return 2 elseif chuvaAcumulada &lt; 160 then   return 3 else   return 4 end end </pre>	<pre> local chuvaAcumulada = 0 local pcd=influencia_pcd('PCD') for i,v in ipairs(pcd) do chuvaAcumulada = chuvaAcumulada + (soma_historico_pcd('PCD', 'prec', v, 24)) end local prev24h = maximo_eta('eta5km', 24) if prev24h == nil then prev24h = 0 end local chuvaTotal = chuvaAcumulada + prev24h if chuvaTotal == nil or chuvaTotal &lt; 80 then   return 0 elseif chuvaTotal &lt; 120 then   return 1 elseif chuvaTotal &lt; 140 then   return 2 elseif chuvaTotal &lt; 160 then   return 3 else   return 4 end end </pre>
---	--

Figura 4 – Programas em Lua para as análises 2 e 3, respectivamente.

## **RESULTADOS**

Os resultados mostram que em casos como o de Angra dos Reis, os escorregamentos são deflagrados quando se dá a redução da resistência ao cisalhamento dos solos superficiais que resultada no avanço de um frente de saturação no maciço rochoso.

Através das análises realizadas 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 já havia sido previsto, apontando a situação de risco para a região. Este alerta nas mãos da Defesa Civil poderia ajudar na tomada de decisões, no estado de alerta para eventuais ações, como por exemplo, retirar a população das áreas de riscos e levá-las a um lugar seguro já definido.

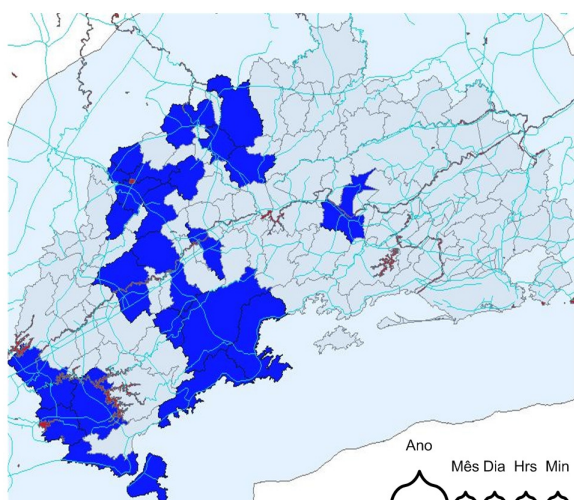
Somente a primeira análise que trabalhou com os dados do Hidroestimador e do modelo ETA fornecidos pelo CPTEC, onde as estimativas de chuva por satélite não são tão precisas como são dos radares meteorológicos e pluviômetros, a análise demonstrou antes do evento que o cenário de risco em questão já se configurava.

O resultado da segunda análise mostrou que às 19 horas do dia 30 de dezembro de 2009 a quantidade de chuva já havia alcançado o limiar de 100 mm em 24 horas, condição essa utilizada para ativar a análise condicionada, que quando foi ativada tornou possível

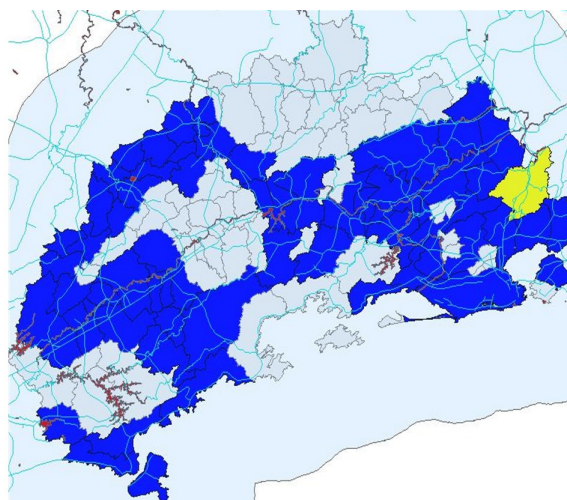


verificar a previsão de chuva para as próximas 24 horas, as duas associadas deram mais uma vez uma indicação com antecedência da situação de risco durante a madrugada.

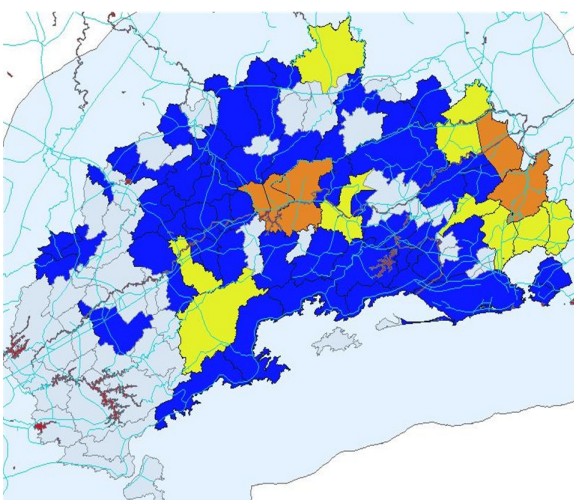
Pelas imagens que foram geradas pelas análises no SISMA DEN observamos como é gradativa a evolução da quantidade de alertas. A chuva era constante durante os dias antes da virada do ano, o que paulatinamente despertava o alerta de acumulado de chuva cada vez mais crítico. A figura 5 abaixo mostra a evolução no tempo dos alertas gerados e a capacidade de alertar com antecedência uma situação de risco. A primeira imagem mostra alguns polígonos em estado de Observação (azul), o segundo já apresenta mais polígonos em estado de Observação e um em Atenção (amarelo). A terceira imagem boa parte da área de estudo está em estado de Observação, Atenção ou Alerta (laranja). Por fim, a última imagem mostra com aproximadamente 18 horas de antecedência a estado de Alerta Máximo (vermelho) no município de Angra dos Reis.



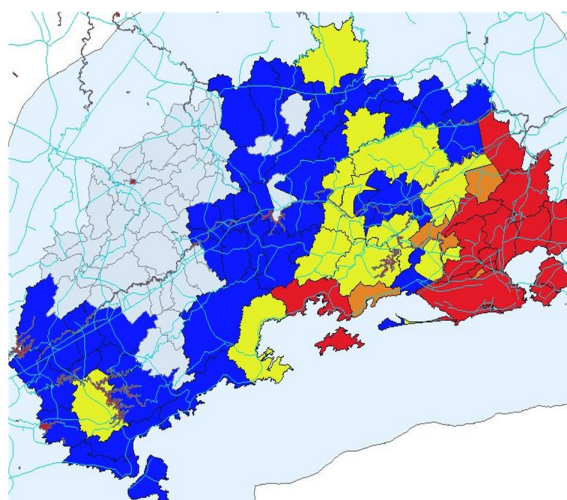
Análise Hidro24hrs ETA12hrs\_200912290700



Análise Hidro24hrs ETA12hrs\_200912292030



Análise Hidro24hrs ETA12hrs\_200912300830



Análise Hidro24hrs ETA12hrs\_200912310830

Figura 5 – Imagens da Análise Hidro24hrs ETA12hrs.

## 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 realizado. O monitoramento de sistemas convectivos permite alertar quando há a detecção de eventos meteorológicos extremos para a região de interesse, que no caso do trabalho foi a de Angra dos Reis e seus municípios vizinhos. Com a previsão de desastres naturais é possível alertar as autoridades competentes, por exemplo, a Defesa Civil, auxiliando na tomada de decisões rápidas para mitigar os efeitos causados pelos fortes eventos precipitantes.

O atual cenário nos mostra a importância de se investir em monitoramento de desastres naturais e na elaboração de mapas de riscos. A humanidade vem sendo assolada por catástrofes que poderiam ter seus efeitos reduzidos se houvesse ação por parte dos órgãos encarregados. Não só a implantação de um sistema de monitoramento nacional é importante, como também, paralelamente, políticas públicas (ações que norteiem o uso e ocupação do solo) que orientem a sociedade a enfrentar os constantes fenômenos naturais, que com as mudanças ambientais globais têm sido cada vez mais regulares e intensos.

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 BIBLIOGRÁFICAS

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.

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.

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> Acesso em: 27 abr. 2011.

MACEDO, E. S. de, SANTORO, J. & ARAUJO, R. E. Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) para deslizamentos, Estado de São Paulo, Brasil. **SIMPOSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS (SIBRADEN)**, Florianópolis, Santa Catarina, 2004.

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

TAVARES, R., SAT’ANNA NETO, J. L., TOMMASELLI, J. T. G., PRESSINOTTI, M. M. N., SANTORO, J. 2004. Análise da variabilidade temporal e espacial das chuvas associadas aos movimentos de massa no litoral norte paulista. In Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1, 2004, Florianópolis. **Anais do I SIBRADEN**. Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. P.680-696. (CD-ROM)

TOMINAGA, L. K., SANTORO, J., AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. – São Paulo: Instituto Geológico, 2009.