

MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE EVENTOS EXTREMOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO – UMA APLICAÇÃO COM O SISMA DEN

João Bosco Coura dos Reis¹

Thiago Batista dos Santos²

Eymar Silva Sampaio Lopes³

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE; joaoreis@dpi.inpe.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE; batista@dsr.inpe.br

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE; eyumar@dpi.inpe.br

INTRODUÇÃO

Diante das tragédias que tem ocorrido no Brasil nos últimos anos, vinculados a eventos pluviométricos extremos durante o período chuvoso, que na região Sul e Sudeste equivalem de dezembro a março, expõe a necessidade de se investir na prevenção de desastres naturais. Atualmente as enchentes em áreas urbanas têm causado além das consideráveis perdas econômicas e danos materiais e patrimoniais, inúmeras perdas de vidas, fato que aumentou a importância de se discutir sobre a prevenção de desastres naturais por parte do governo.

Inundações e enchentes são eventos naturais que ocorrem com certa periodicidade ao longo dos cursos d'água e estão relacionadas com a quantidade e intensidade das chuvas, além de outras características da região como, taxa de infiltração de água no solo, grau de saturação, presença de cobertura vegetal e das características geométricas da bacia de drenagem. É um evento natural que não depende da intervenção humana, no entanto, o homem, desconfigurando as características de determinada região, pode intensificar as ocorrências de enchentes nas áreas urbanas (TOMINAGA, 2009).

As enchentes urbanas estão relacionadas à degradação ambiental, ao intenso e desordenado processo de expansão das cidades e pelas fortes chuvas, que com as mudanças ambientais globais estão se tornando cada vez mais intensas e concentradas (IPCC, 2007). Os prejuízos econômicos e perdas de vida que a sociedade sofre durante as chuvas devem-se à permissividade e omissão do governo em fiscalizar e orientar o

processo de uso e ocupação do solo, da intensa degradação ambiental que sofrem as cidades com a perda de sua cobertura vegetal, da incapacidade do sistema de drenagem urbano em suportar as grandes quantidades de água, como também da grande quantidade de lixo que entopem e prejudicam a já ineficiente infraestrutura hidráulica das cidades. Da mesma forma a constante expansão das cidades tem aumentado as áreas de riscos a enchentes, dado que as várzeas dos rios, local natural ao transbordamento de suas águas, denominadas de Áreas de Preservação Permanente (APP), agora são ocupadas por residências de riscos e impermeabilizadas pelo mau uso dos solos, impedindo a absorção e aumentando a quantidade de água que escoam pela superficial.

Como forma de mitigar os efeitos dos eventos pluviométricos intensos, avanços tecnológicos têm sido usados para o monitoramento e alerta de desastres naturais. A possibilidade de geração de alertas em áreas de riscos a enchentes antecipados é de suma importância para diminuir as perdas de vida. Hoje a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), uma das mais importantes do País, tanto no aspecto econômico (região fortemente industrializada e desenvolvida) como populacional (apresenta uma alta densidade populacional), sofre perdas sociais e econômicas cada vez mais significativas, motivadas pela falta de infraestrutura hidráulica para suportar as grandes quantidades de chuvas fortes, cada vez mais constantes, o que afeta direta e indiretamente não só as pessoas de menor renda, mas toda a região.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi monitorar e gerar alertas com antecedência para eventos extremos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com potencial de causar enchentes em pequenas bacias. Foi escolhido o período de 8 a 18 de janeiro de 2011 para testes de alertas com antecedência de 60 e 120 minutos para ocorrências nesse período.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

SISTEMA DE MONITORAMENTO

Para monitoramento da RMSP foi utilizado o software SISMADEN - Sistema de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (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 necessita, fundamentalmente, da entrada de dados representada pelo módulo climático e do mapeamento das áreas de risco (Figura 1). O módulo de informações sobre o tempo, clima e hidrologia fornece os parâmetros de tempo, clima e outros extremos ambientais, através da análise de dados observacionais e previsões numéricas, estas últimas normalmente disponíveis em centros

de meteorologia como, por exemplo, no CPTEC/INPE (www.cptec.inpe.br). O módulo que armazena informação sobre risco e vulnerabilidade a desastres naturais normalmente considera informações geotécnicas providas por institutos de pesquisas locais, como por exemplo, pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (www.ipt.br) e pelo Instituto Geológico – IG (www.igeologico.sp.gov.br) no Estado de São Paulo.

O núcleo do sistema é um módulo que automaticamente sobrepõe informação ambiental relacionada aos extremos climáticos e hidrometeorológicos aos mapeamentos de áreas potencialmente de risco. A intersecção de todas as informações permite que situações de risco potencial sejam identificadas e venham a alimentar o módulo de análise. O próximo passo é transformar as análises automáticas em alertas, os quais devem ser disponibilizados para usuários múltiplos (Defesa Civil, entre outros). Esta fase requer a intervenção de analistas especialistas, altamente treinados, para que os alertas sejam avaliados por diferentes profissionais a fim de identificar alarmes falsos. Finalmente os alertas, após avaliações por testes rigorosos de probabilidades serão enviados às agências responsáveis pelas ações de prevenção e mitigação. Acoplado a este sistema, uma base de dados geográficos adicionais devem permitir o cruzamento e visualização de qualquer mapa ou imagem que possam auxiliar na tomada de decisão, como por exemplo, vias de acessos, dutos, ou outras infraestruturas que possam ser afetadas por determinada área de risco associada a deslizamentos ou enchentes.

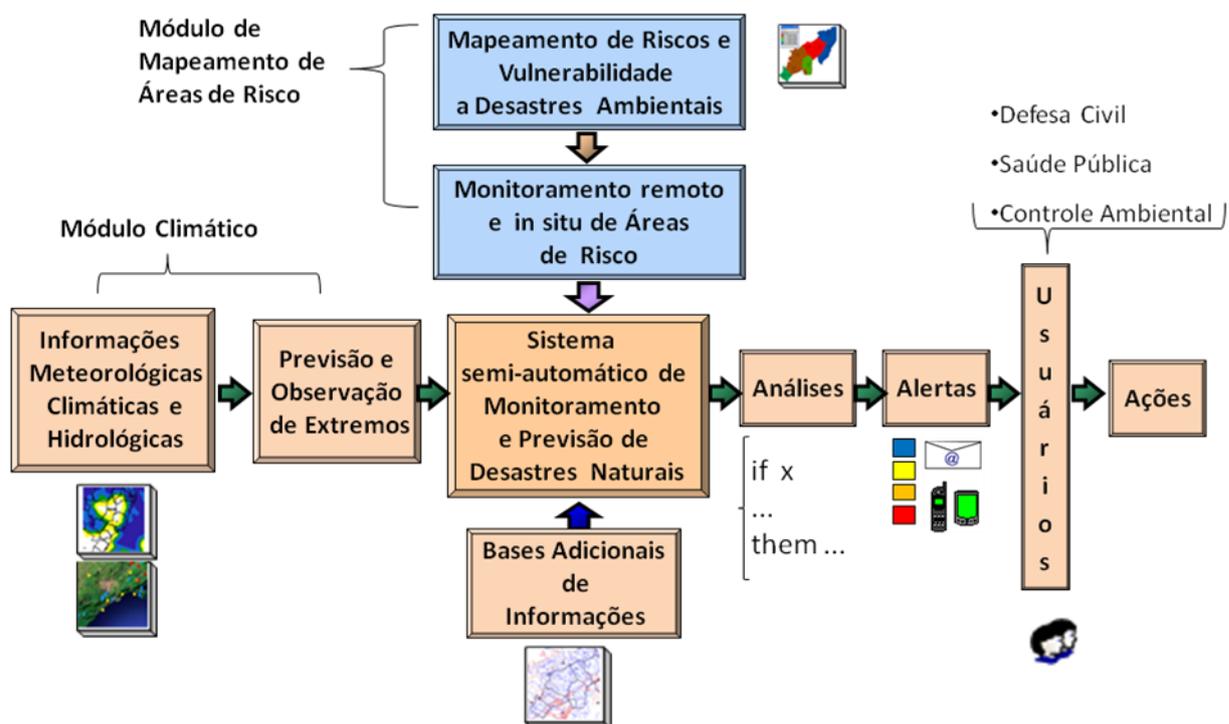


Figura 1 - Diagrama Ilustrativo dos Principais Módulos do Sistema de Alerta e Prevenção de Desastres Naturais.

O risco de desastre natural é formado, basicamente, pela conjunção de dois fatores independentes. Por um lado, há a “ameaça ambiental”, isto é, a probabilidade de ocorrência de fenômeno meteorológico, hidrológico e geotécnico deflagrador de desastre natural. O segundo fator é a vulnerabilidade física, social, econômica ou ambiental do sistema humano ou natural ao desastre natural. O primeiro fator ainda pode ser decomposto em dois termos: a probabilidade de ocorrência de um fator meteorológico-climático extremo e o modo como este fator externo se converte em um evento deflagrador de desastres (e.g., inundação em bacias hidrológicas; deslizamento em encostas, ou colapso de safras agrícolas). O segundo fator, igualmente, pode ser decomposto em dois termos: a exposição ao desastre natural (e.g., assentamentos em planícies de inundação de rios ou em áreas de encostas íngremes; populações dependendo de agricultura de subsistência como principal fonte de alimentação) e a capacidade de enfrentamento do desastre (“capacidade adaptativa”). Ressalta-se que todos os elementos descritos acima devem fazer parte do sistema de alerta e prevenção. É comum propor somente a primeira parte, isto é, monitoramento e previsão melhorados de eventos meteorológicos e climáticos extremos, e transferir a responsabilidade dos demais fatores relevantes para outros “atores”, normalmente a Defesa Civil.

A implementação operacional do sistema pode ser feita em Salas de Situação de agências operacionais de Defesa Civil, Meteorologia e Proteção Ambiental. Antes que alertas confiáveis sejam utilizados por usuários-finais, baseados nos quais serão tomadas decisões, técnicos altamente capacitados de agências de usuários-finais farão verificações, inclusive in loco, das áreas identificadas como expostas a riscos, a fim de que possam corrigir e remover possíveis erros. Detalhes da arquitetura do SISMA DEN e dos principais módulos de operação encontra-se em REIS et al. (2011).

BASES HIDROMETEOROLÓGICAS

Novas tecnologias permitem um monitoramento mais preciso das chuvas, as previsões de curto prazo são uma delas, conhecidas também de *nowcasting*, desenvolvidas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). No caso, os aplicativos FORTRACC (MACEDO, 2004) e HIDROTRACK (CALHEIROS, 2008) possibilitam identificar a distribuição da chuva, além de fazer a previsão da evolução e deslocamento dos sistemas precipitantes.

O Fortracc é um aplicativo que se centra na determinação de trajetórias e ciclo de vida dos Sistemas Convectivos, utilizando-se de imagens de satélite geoestacionário

(GOES) como base fundamental de dados. O sistema baseia-se na extrapolação da convecção como baseia-se na análise estatística dos dados históricos do ciclo de vida do Sistema Convectivo. A previsão realizada se baseia em propagação e evolução das condições de nebulosidade (radiância).

Hydrotrack é a junção dos modelos Fortracc e Hidroestimador, cujo objetivo é realizar prognósticos em curto prazo da precipitação levando em consideração as estruturas de precipitação ao invés das características da nuvem, como no Fortracc. Os resultados mostraram que seu viés médio é de aproximadamente 5mm/h. Em razão das previsões serem realizadas a cada 15 minutos para 30, 60, 90 e 120 minutos, o sistema proporciona uma alta resolução temporal e espacial.

Além dos dados de *nowcasting*, utilizamos para desenvolver o trabalho os dados do Hidroestimador e do Radar de São Roque.

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.

Radar São Roque é um radar meteorológico usada na detecção de precipitação e na previsão de sua intensidade por reflectividade. Com dados de radares é possível calcular a quantidade de chuva, determinar a intensidade e o potencial da chuva.

METODOLOGIA

O monitoramento das enchentes foi realizado utilizando como plano de risco os limites das microbacias na RMSP (Figura 2) para a previsão de inundações. Para isto foram feitas análises para comprovar o potencial do SISMADEN em gerar alertas com antecedência quando uma situação de risco for detectada.

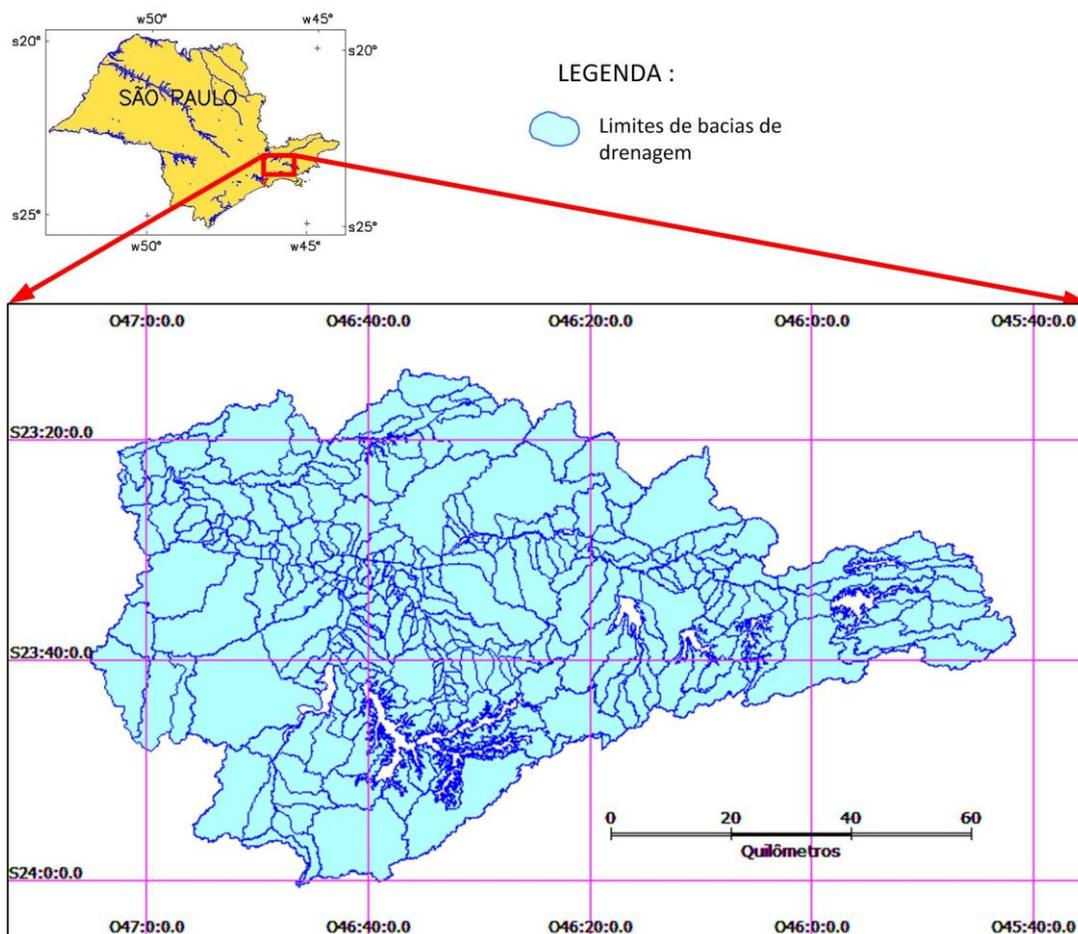


Figura 2 – Localização das bacias de drenagem no Estado de São Paulo.

Foram feita cinco análises, sendo que dessas, três com o objetivo de identificar o deslocamento e evolução da chuva em uma mesma área e a quarta com o intuito de medir a quantidade de chuva.

A primeira análise (Análise Hidroestimador) foi feita utilizando os dados do Hidroestimador como plano de entrada e usando o operador de máximo zonal para quantificar a precipitação instantânea nas microbacias da RMSP. A Figura 3 mostra o modelo de análise escrito em Linguagem Lua (www.lua.org).

```

local hidro = maximo('hidro')
if hidro == nil or hidro < 15 then
return 0
elseif hidro < 25 then
return 1
elseif hidro < 35 then
return 2
elseif hidro < 50 then
return 3
else
return 4
end

```

Figura 3 – Modelo de Análise.

A segunda análise (Análise Hydrotrack060) criada teve o intuito de acompanhar a precipitação detectada pela Análise Hidroestimador, prevendo seu deslocamento para os próximos 60 minutos pelo Hydrotrack. Foi utilizado o operador de máximo zonal para quantificar a chuva. A Figura 4 (esquerda) mostra o modelo de análise.

A terceira análise (Análise Hydrotrack120), assim como a segunda, teve como objetivo acompanhar a precipitação identificada pelo Hidroestimador na primeira análise, mas agora prevendo seu deslocamento nos próximos 120 minutos. Foi utilizado o operador de máximo zonal para quantificar a chuva. Com estas três análises, podemos visualizar a distribuição, deslocamento e evolução das chuvas na região. A Figura 4 (direita) mostra o modelo de análise utilizado.

<pre>local ht60 = maximo('hydrotrack060') if ht60 == nil or ht60 < 15 then return 0 elseif ht60 < 25 then return 1 elseif ht60 < 35 then return 2 elseif ht60 < 50 then return 3 else return 4 end</pre>	<pre>local ht120 = maximo('hydrotrack120') if ht120 == nil or ht120 < 15 then return 0 elseif ht120 < 25 then return 1 elseif ht120 < 35 then return 2 elseif ht120 < 50 then return 3 else return 4 end</pre>
--	--

Figura 4 – Modelo de Análise para as análises 2 e 3, respectivamente.

A quarta e última análise (Análise Hidro Hydrotrack) integra os dados do Hidroestimador e do Hydrotrack, onde se permite somar o valor acumulado de chuva do Hidroestimador nas últimas duas horas e simultaneamente somar a precipitação prevista pelo Hydrotrack para os próximos 120 minutos. Os operadores utilizados foram a soma histórica para grades em 2 horas e o operador máximo zonal para saber a quantidade de precipitação e o deslocamento nos próximos 120 minutos. A Figura 5 mostra o programa escrito em Lua para esta análise.

```

local max_prec = prec_historico_grid('hidro', 2) or 0
local prev120 = maximo('hydrotrack120')
if max_prec == nil then
max_prec = 0
end
if prev120 == nil then
prev120 = 0
end
local chuvaTotal = max_prec + prev120
if chuvaTotal == nil or chuvaTotal < 20 then
return 0
elseif chuvaTotal < 35 then
return 1
elseif chuvaTotal < 50 then
return 2
elseif chuvaTotal < 70 then
return 3
else
return 4
end
end

```

Figura 5 – Programa em Lua para a análise 4.

A quinta análise (Análise Radar) foi feita utilizando os dados do Radar de São Roque como plano de entrada. Utilizamos o operador de máximo zonal para quantificar a precipitação instantânea medida em dBZ nas microbacias da RMSP. A Figura 6 mostra o modelo de análise.

```

local radar = maximo('radar')
if radar == nil or radar < 35 then
return 0
elseif radar < 45 then
return 1
elseif radar < 47 then
return 2
elseif radar < 52 then
return 3
else
return 4
end
end

```

Figura 6 – Modelo de análise dos dados do Radar de São Roque.

RESULTADOS

O resultado da Análise Radar deixou evidente a quantidade de chuva que caiu principalmente sobre os microbacias do Rio Cabuçu de Cima e do Aricanduva (Figura 7), estes que desaguam no rio Tietê, o que provocou enchentes ao longo do rio e transtornos para a cidade. As primeiras chuvas apontadas pelo Radar de São Roque para a região próxima ao Tietê foram detectadas às 17 horas e 30 minutos do dia 10 de janeiro,

prolongando-se até às 2 horas da madrugada do dia 11. Este excesso de chuva nas microbacias que alimentam o Tietê foi suficiente para provocar uma grande inundação na região (Figura 8). Na Figura 8 vemos os polígonos pintados conforme o nível de risco, em azul o estado de Observação, em amarelo o estado de Atenção, laranja o estado de Alerta e vermelho o estado de Alerta Máximo.

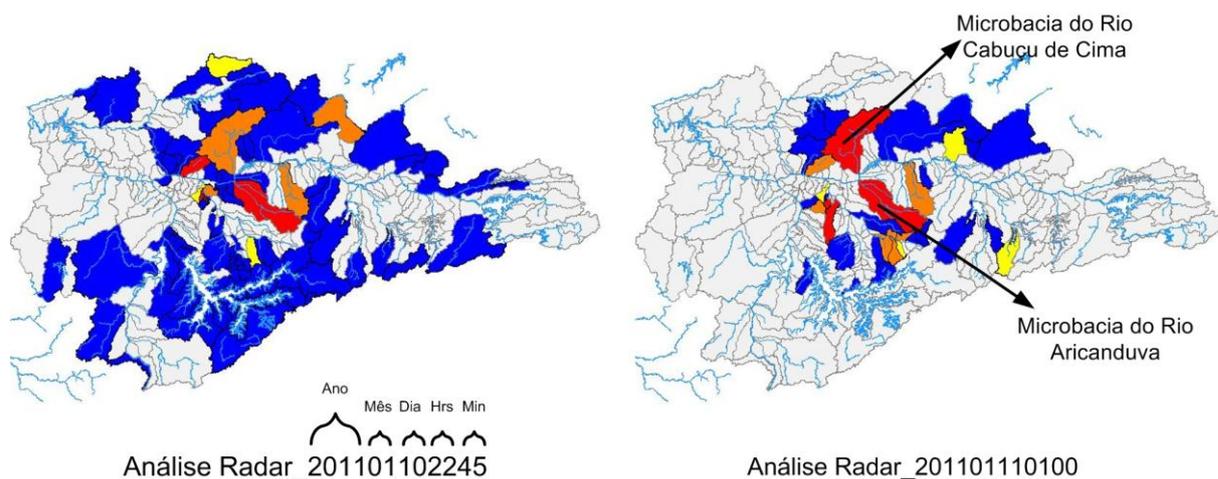


Figura 7 – Imagens da Análise Radar para a RMSP.

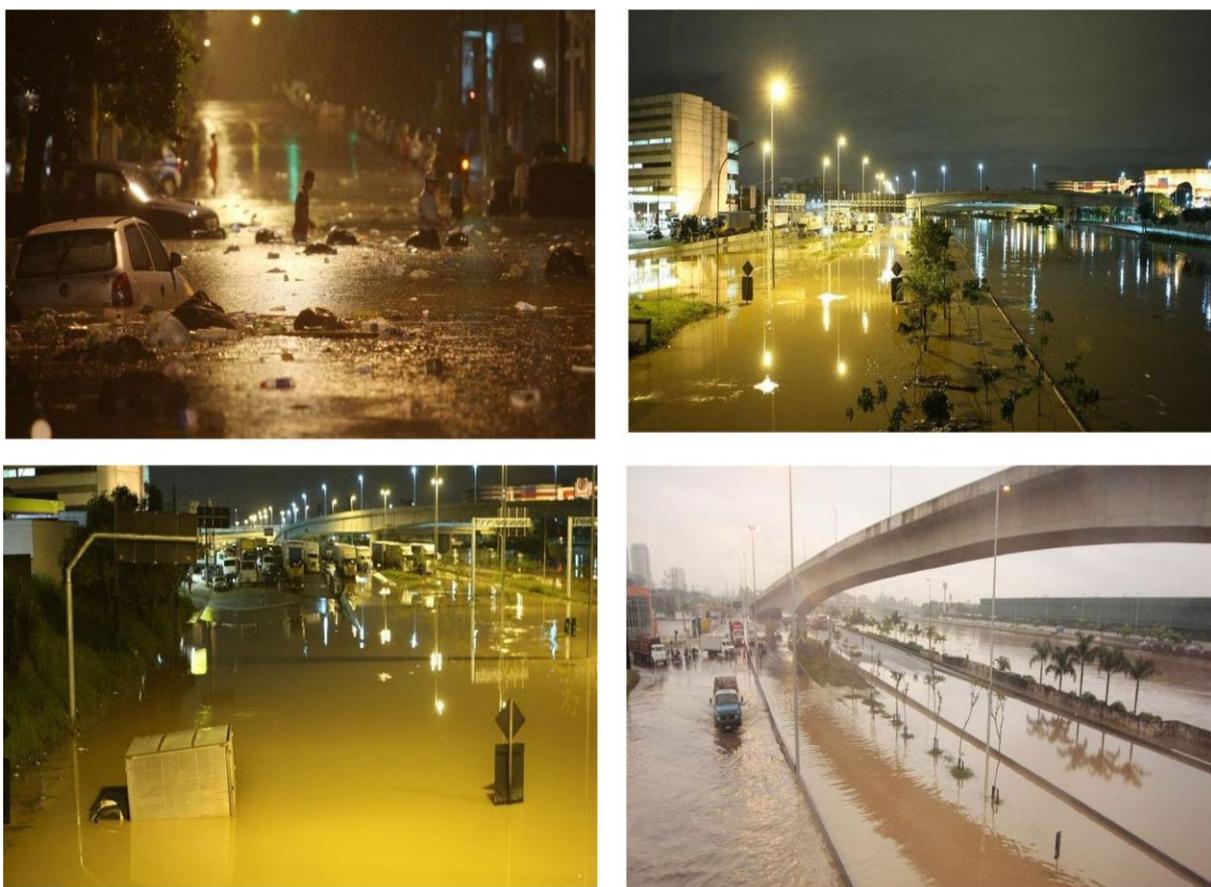


Figura 8 – Inundação do dia 10 para o dia 11/01/11 no rio Tietê.

A Análise Hidroestimador acusou a chuva nas microbacias que alimentam o rio Tietê durante o mesmo período indicado pela Análise Radar. A comparação na Figura 9 mostra a chuva do Hidroestimador e do Radar para o mesmo horário.

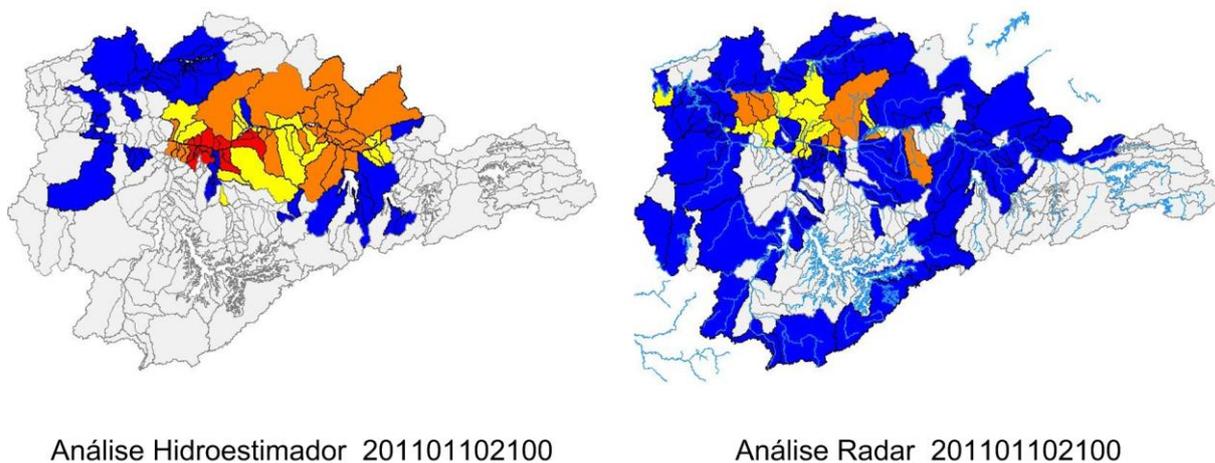


Figura 9 – Comparação da Análise do Hidroestimador com o do Radar.

Para as análises de previsão com o Hydrotrack, que é baseado no Satélite GOES, observamos que o acompanhamento e quantificação prevista de chuva não foi confiável, pois não acompanhou, por exemplo, a estimativa e distribuição de chuva do Radar. Como é característica do Satélite, ele subestimou a chuva forte que caiu na noite do dia 10 e madrugada do dia 11 de janeiro.

CONCLUSÃO

Já é consenso entre especialistas e pela população que o Brasil precisa de um sistema de prevenção de desastres naturais. A prevenção é uma alternativa para minimizar os efeitos causados pelos fenômenos naturais, dentre eles, as inúmeras perdas de vidas durante o verão rigorosamente chuvoso que o País apresenta. Como prova o trabalho, o SISMA DEN se coloca como uma ferramenta capaz de monitorar e gerar alertas, utilizando dados meteorológicos em tempo real quando uma anormalidade capaz de deflagrar enchentes for detectada, permitindo o envio de notificações às autoridades encarregadas de tomar as medidas necessárias para proteger a população em situações de risco.

Para gerar alertas mais precisos, é importante conhecer o modelo hidrológico que procura reproduzir o processo de transformação da chuva em vazão na região de interesse. Conhecer a permeabilidade da área, o escoamento superficial urbano, que é um mecanismo rápido de geração de vazão, fazer a identificação detalhada do terreno urbano com suas áreas inundáveis, é um desafio para os modelos, porém, muito importante para a análise,

que, apenas com os dados meteorológicos pode gerar resultados insatisfatórios. Por essas razões, também é importante ter uma sala de situação para acompanhamento das previsões e alertas, com uma equipe permanente e treinada, com profissionais específicos que irão avaliar os riscos de desastres naturais.

Como foi visto nos resultados, precisamos de mais análises para validar os dados do Hydrotrack, que não corresponderam às necessidades de gerar alertas com antecedência, até que possamos usá-lo novamente. Em trabalhos futuros pretendemos utilizar os dados de *nowcasting*, Hydrotrack e Fortracc, desenvolvidos pelo CPTEC, para previsão de evolução e deslocamento da massa precipitante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALHEIROS, A. J. P. **Sistema de Previsão Imediata da Precipitação: o HYDROTRACK**. Dissertação de Mestrado, São José dos Campos, INPE, 2008.

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: 1.nov.2010.

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/> 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, S. R., VILA, D., MACHADO, L. A., **FORTRACC** – Previsão a curto prazo e evolução dos sistemas convectivos. 2004. Disponível em: <<http://sigma.cptec.inpe.br/fortracc/pdf.php>> Acessado: 27 abr. 2011.

REIS, J. B. C.; CORDEIRO, T. L.; LOPES, E. S. S. **Utilização do Sistema de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais aplicado a situações de escorregamentos – caso de Angra dos Reis**. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 14., 2011, Dourados, MS. Anais. 2011.

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

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