

CONTROLE E PREVISÃO DE CHEIAS NO ESTADO DE PERNAMBUCO, BRASIL: ESTRUTURA GERAL DO SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO

CONTROL AND FLOOD FORECASTING IN THE STATE OF PERNAMBUCO, BRAZIL: GENERAL STRUCTURE OF THE DECISION SUPPORT SYSTEM

José Almir Cirilo¹, Carlos Eduardo de Oliveira Dantas², Alfredo Ribeiro Neto¹, Edilson Raimundo Silva¹ and Susana Maria Gico Lima Montenegro¹

almir.cirilo@gmail.com, k_d_u@hotmail.com, ribeiront@gmail.com, edilsonrsilva@yahoo.com.br, suzanam.ufpe@gmail.com

¹Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil

²Serviço Geológico do Brasil - CPRM

Abstract

The occurrence of major floods in cities in Brazil requires the structuring of decision support systems, for planning interventions and to support civil defense actions. The motivation of this study is due to the floods in the states of Pernambuco and Alagoas, northeastern Brazil, occurred in 2010. The system herein presented is based on the use of hydrological and hydrodynamic models, coupled with high definition terrain numerical models, applied to the basins of the rivers Una and Mundaú, which cities were severely affect by a major flood event in 2010.

Palavras-Chave: Sistema de suporte à decisão, Controle de cheias, Modelagem hidrodinâmica

Key-words: Decision support system, Flood control, hydrodynamic modeling

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da última década, tem-se intensificado a frequência de eventos extremos de cheias particularmente na região mais úmida de Pernambuco, estado situado no Nordeste do Brasil, e no país de uma forma geral. Dois eventos marcantes foram as cheias de 2000 e 2010 e neste mês de maio de 2011, que atingiram bacias hidrográficas da Zona da Mata Sul e Litoral do Estado de Pernambuco. Os eventos de junho de 2010 atingiram de forma mais severa as cidades localizadas nas bacias hidrográficas dos rios Capibaribe, Una, Sirinhaém, Mundaú, Canhoto e Paraíba. No território do estado de Alagoas, ao sul de Pernambuco, os rios Paraíba e Canhoto se unem ao rio Mundaú, portanto fazem parte da mesma bacia hidrográfica que recebe a denominação do rio principal, o Mundaú. Nesta bacia foi gerada uma cheia extraordinária que, em virtude da grande declividade do rio Mundaú e seus afluentes no território de Pernambuco, provocou destruição avassaladora principalmente nas cidades do vizinho estado de Alagoas. Em vários rios da região foram registrados níveis superiores aos máximos históricos, acarretando enchentes de amplitudes até então não registradas.

Uma característica desse tipo de evento é o extravasamento do leito principal dos rios e o avanço das águas para a planície de inundação, atingindo estradas, casas e prédios de residências, comércio, indústrias e órgãos públicos. Os prejuízos provocados por cheias são classificados como tangíveis, quando se permite atribuir valores monetários, e intangíveis quando não é possível. Os prejuízos tangíveis podem ser divididos em diretos (resultantes do contato físico com água) e indiretos. Os prejuízos intangíveis são os impactos na qualidade ambiental e no bem-estar social.

Neste artigo são apresentados os princípios do Sistema de Suporte à Decisão desenvolvido pelos autores para previsão e acompanhamento das enchentes, neste primeiro momento aplicado à bacia do rio Una.

A Figura 1 a seguir apresenta a posição geográfica das bacias citadas.

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização Física da Região

A bacia do rio Una está localizada no limite sul do litoral do Estado de Pernambuco, estando a parte alta da bacia situada na zona fisiográfica do Agreste, área com predominância de clima semiárido, enquanto sua porção média e baixa encontra-se na Zona da Mata Sul, região com características principais de clima tropical úmido.

O comportamento hidrológico da bacia é caracterizado por precipitações elevadas nas porções média e baixa da bacia, enquanto no trecho alto as precipitações médias observadas tendem a reduzir-se:

- O curso superior, com cerca de 2.900 km² de área e precipitação média anual de 700 mm, é caracterizado por escoamentos intermitentes anuais e grandes picos de enchentes de média recorrência;
- No curso médio, com cerca de 2.100 km² de área e precipitação média anual de 1.500 mm, encontram-se os afluentes Panelas e seu tributário Pirangi. Os escoamentos são permanentes, com picos de cheias elevados e maior repetição de vazões máximas, comparadas à sua bacia de contribuição, do que os observados no curso superior;
- No curso inferior, com cerca de 1.700 km² de área e precipitação média anual de 2.000 mm, encontram-se os afluentes Santo Antônio e Jacuípe.



Figura 1 – Esquema com o traçado dos principais rios causadores de enchentes na mata sul pernambucana.

2.2 Componentes do Sistema de Suporte à Decisão - SSD

Para desenvolvimento do sistema foram consideradas as seguintes atividades:

- a) Levantamento do relevo ao longo dos rios e nas cidades mais vulneráveis à inundação;
- b) Melhoria da rede de monitoramento hidrológico;
- c) Estruturação de modelos para simulação das inundações;
- d) Estrutura de alerta, acompanhamento e comunicação com a população das áreas vulneráveis às inundações.

A seguir são detalhados os procedimentos realizados para compor as atividades descritas.

2.2.1 Levantamento do Relevo

A tecnologia utilizada para o levantamento planialtimétrico das áreas inundáveis foi a LIDAR- “Light Detection And Ranging”. O princípio de funcionamento do sistema consiste na emissão do feixe laser em direção à superfície terrestre. Este feixe é refletido por obstáculos e captado pelo sensor, onde é registrado o tempo de percurso. Como a área de cobertura de cada feixe é variável de acordo com a altitude, é possível que uma porção do mesmo feixe laser encontre um ou mais objetos antes de atingir o solo. Os encontros geram retornos parciais, denominados de primeiro e último retorno. De posse destas informações, é possível gerar modelos digitais a partir de ambos os retornos, ou seja, Modelo Digital de Elevação (MDE) ou só do último retorno, Modelo Digital de Terreno (MDT). O desvio padrão do laser calculado pelo fabricante é de 50 cm na planimetria e 15 cm na altimetria, sendo esta precisão variável conforme o modelo e ano de fabricação. O sistema ALTM 2050, do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC), entidade responsável pelo levantamento aqui apresentado, apresentou, durante os testes de aceitação, um desvio padrão de 33 cm na planimetria e 10 cm na altimetria. O trabalho levantou: a) na escala 1:5.000 a extensão dos rios Mundaú, Paraíba, Canhoto, Una, Sirinhaém, Panelas e Pirangi, considerando uma faixa de 750m para cada lado do eixo do rio, nos limites compreendidos no estado de Pernambuco, totalizando cerca de 1.158 km²; b) na escala 1:2.000 para as áreas urbanas dos municípios mais atingidos pelas inundações (Barreiros, Água Preta, Maraial, Correntes, São Benedito do Sul, Barra de Guabiraba, Cortês, Jaqueira, Palmares e Catende), totalizando cerca de 77 km².

A Figura 2 representa a área coberta no levantamento para as bacias dos rios Serinhaém (mais acima) e Una, com seus principais afluentes. A Figura 3 mostra detalhe de trecho de rio levantado (ortoimagem).

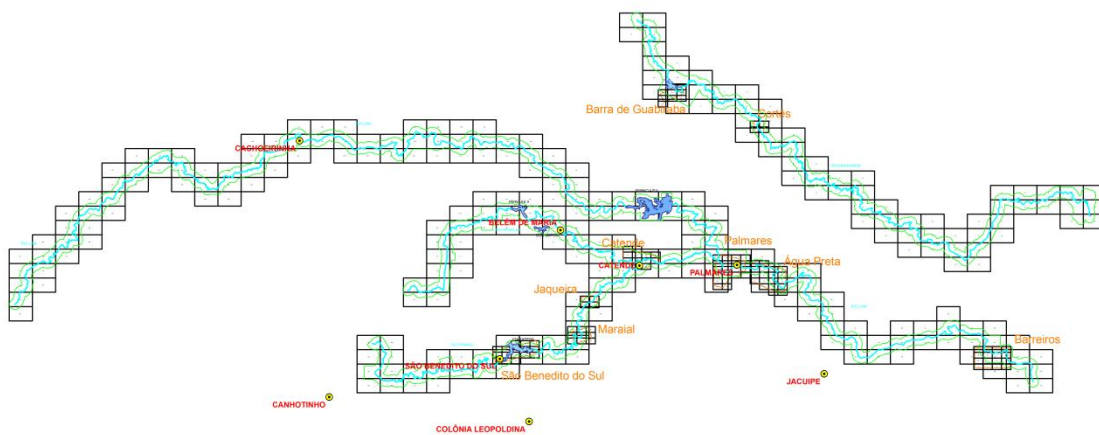


Figura 2 – Quadrículas representando a área objeto de levantamento planialtimétrico nos rios Serinhaém, Una, Panelas e Pirangi.

A tecnologia LIDAR tem sido utilizada como suporte para alimentar modelos de simulação hidrológicos e hidrodinâmicos, como mostra a literatura sobre o assunto (MARKS e BATES, 2000; HAILE e RIENTJES, 2005; GIBSON, NYGAARD e SCLAFANI, 2010).



Figura 3 – Imagem de trecho do rio Una (destacado em azul) e recorte lateral com cerca de 750m para cada margem.

2.2.2 Melhoria da rede de monitoramento hidrológico

Com o objetivo de monitorar de forma mais adequada a precipitação pluviométrica e o nível da água nos rios, está sendo ampliada a rede de sensores e Plataformas de Comunicação de Dados - PCDs nas bacias hidrográficas indicadas, com tempo de transmissão de dados a cada 15 minutos. A Figura 4 a seguir indica posição de estações de monitoramento da precipitação com leituras observadas (em milímetros) no evento da cheia de 2010. Estações de monitoramento do nível d'água nos rios são indicadas pelo círculo amarelo na Figura 2 já apresentada. Com o suporte da Agência Nacional de Águas – ANA estão em processo de instalação 30 estações de monitoramento com PCDs, com outras 50 estações a serem instaladas até o final de 2011 pela APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima, entidade responsável pelo monitoramento hidrometeorológico, vinculada à Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos de Pernambuco - SRHE.

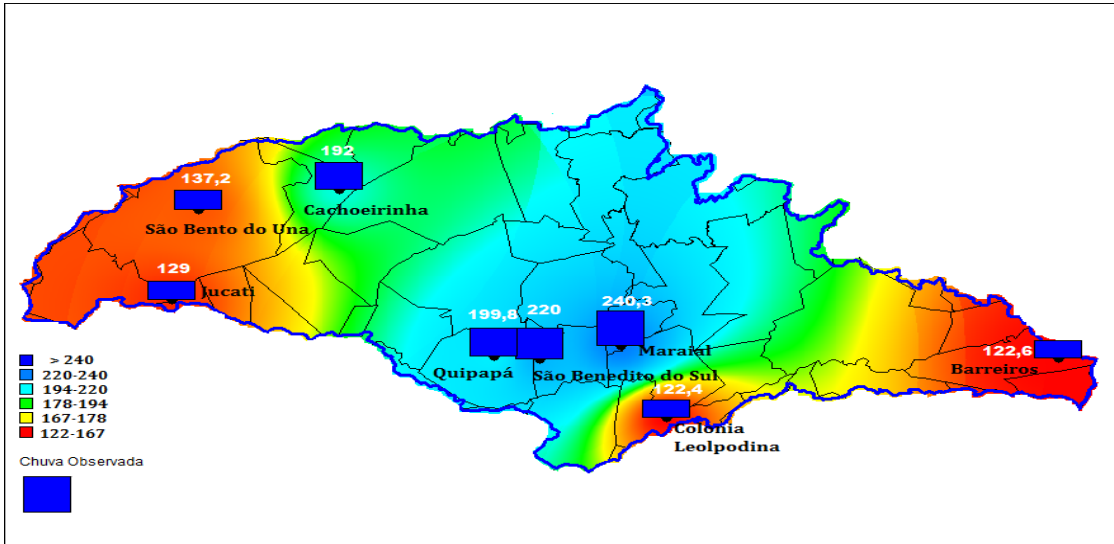


Figura 4 – ilustração da distribuição espacial da chuva registrada em evento em estações de monitoramento com transmissão de dados a intervalos de 15 minutos.

2.2.3 Estruturação do modelo

A formulação adequada para a propagação de ondas de cheia em rios e canais compreende a utilização das equações diferenciais de Saint Venant, resolvidas a partir da discretização do curso d'água em seções transversais representativas das suas características fisiográficas. A discretização é feita para que se obtenha a solução por meio de métodos numéricos, como diferenças finitas ou elementos finitos.

As equações de Saint Venant, que traduzem a conservação da massa e da quantidade de movimento ao longo do rio ou canal, são expressas por:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (\text{Eq. da Continuidade}) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} + v \frac{q}{A} = g(S_0 - S_f) \quad (\text{Eq. Dinâmica}) \quad (2)$$

onde **A** é a área da seção transversal, **Q** é a vazão, **t** o tempo, **x** é a distância no sentido longitudinal, **v** é a velocidade da água, **y** a profundidade da lâmina d'água na seção transversal, **S₀** a declividade do leito do rio, **S_f** a declividade da linha de energia e **q** é a vazão de contribuição lateral proveniente do escoamento superficial, pequenos tributários e do escoamento subterrâneo.

Além disso, o modelo deve possuir capacidade de integração com ferramentas de geoprocessamento para a realização de operações de pré-processamento dos dados de entrada e pós-processamento dos resultados gerados pelas simulações. Isso permite, por exemplo, a visualização do nível que a água atingirá nas cidades localizadas nas margens dos rios estudados.

Diversos programas computacionais foram desenvolvidos para integrar de forma eficiente as informações decorrentes dos levantamentos de relevo, para a caracterização mais fiel possível do modelo matemático à

semelhança do meio físico. Um desses modelos hidrodinâmicos é o HEC-RAS, do *Hydrologic Engineering Center* dos Estados Unidos, utilizado neste trabalho (Hydrologic Engineering Center, 2010). A integração do modelo com software de geoprocessamento facilita bastante a entrada de dados e o pós-processamento das informações para representar, por exemplo, as áreas inundáveis.

Para modelagem do rio Una foi considerado um trecho com extensão de aproximadamente 156km entre a estação de monitoramento de Capoeira, no município de Cachoeirinha, que controla praticamente a parte alta da bacia, e a foz no Oceano Atlântico, logo abaixo da cidade de Barreiros. As seções transversais foram geradas a partir da altimetria decorrente do levantamento LIDAR e complementadas com a parte submersa estimada a partir de algumas seções batimétricas disponíveis ao longo do rio. As seções foram traçadas com espaçamento entre si de aproximadamente 1km para as zonas rurais e 100m no perímetro urbano.

A Figura 5 a seguir mostra seções no perímetro urbano da cidade de Palmares.



Figura 5 – seções transversais escolhidas no trecho urbano de Palmares para alimentar o modelo hidrodinâmico

Dados de entrada e calibração do modelo

Na primeira fase de aplicação do modelo considera-se como meta a simulação de eventos de inundação nas cidades de Palmares, Água Preta e Barreiros. Nesse sentido, considerou-se como seção de controle de montante a estação fluviométrica de Capivara, situada no rio Una, no município de Cachoeirinha (Figura 5). As condições de contorno são as vazões na seção de Capivara e o nível das marés a jusante.

Para calibração do modelo, as contribuições em marcha foram calculadas a partir das vazões nos afluentes (bacias do Pirangi e Jacuípe) e por diferença das vazões registradas nas estações de Capivara e Palmares. O ajuste do modelo foi avaliado considerando-se o grau de aderência entre dados de níveis e vazões na estação de Palmares e a mancha de inundação levantada à época, em trabalho dos departamentos de Engenharia Civil e Arquitetura da Universidade Federal de Pernambuco para a FIDEM – Fundação de Desenvolvimento Municipal de Pernambuco.

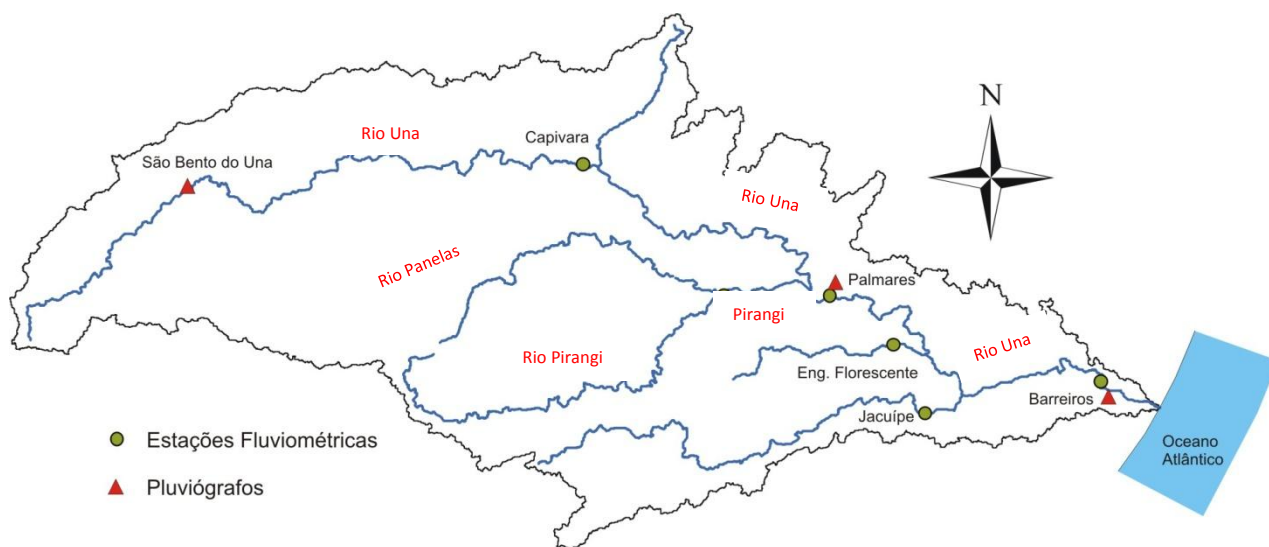


Figura 5 – Estações fluviométricas e pluviógrafos na bacia do rio Una.

A Figura 6 a seguir mostra as vazões simuladas e medidas na estação de Palmares.

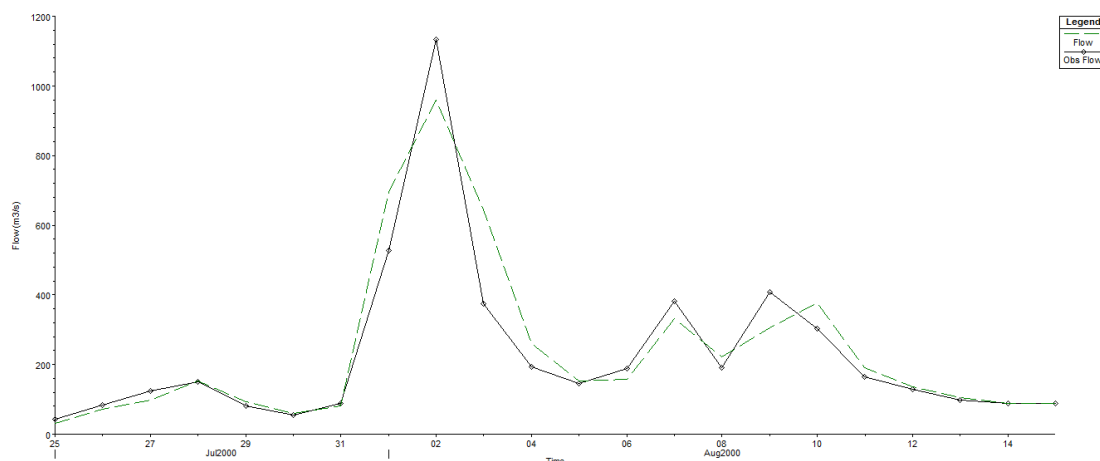


Figura 6 – Vazões registradas e simuladas pelo modelo no posto fluviométrico de Palmares no evento de cheia de 2000.

As Figuras 7 a 9 mostram a simulação das áreas inundadas e o contorno da inundação registrado no trabalho da UFPE/FIDEM. Esse levantamento cobriu parcialmente a área atingida, mais especificamente onde existe maior densidade populacional. Pode-se observar um ajuste satisfatório entre a simulação da área inundada e as marcas de cheia onde as mesmas foram levantadas.



Figura 7 – Simulação da área inundada no evento de julho de 2000 e limites da inundação registrados no perímetro urbano da cidade de Palmares.



Figura 8 – Simulação da área inundada no evento de julho de 2000 e limites da inundação registrados no perímetro urbano da cidade de Água Preta.

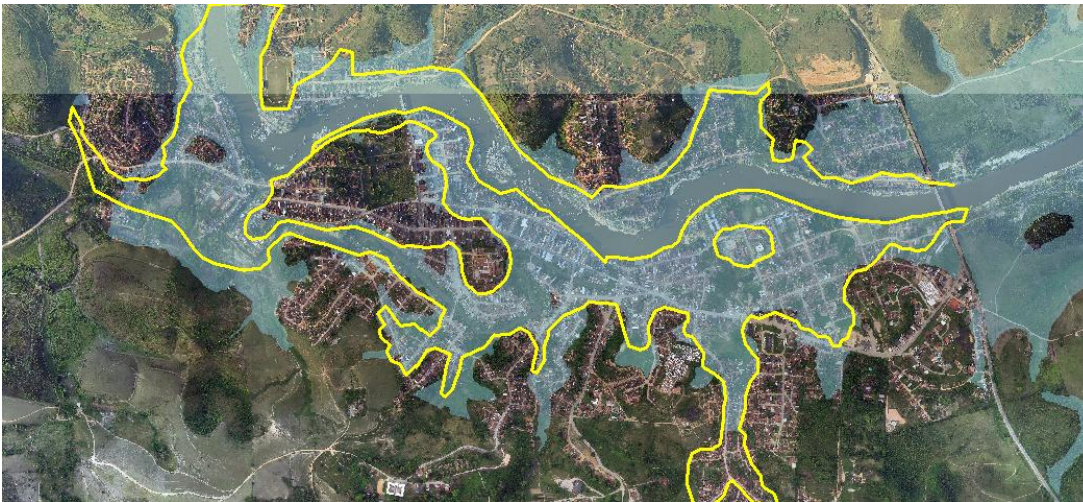


Figura 9 – Simulação da área inundada no evento de julho de 2000 e limites da inundação registrados no perímetro urbano da cidade de Barreiros.

Simulação de Cenários

Uma vez calibrados, os modelos passam a ser utilizados para a simulação de cenários nos sistemas em estudo. Como as vazões de entrada são desconhecidas, é necessário estimá-las utilizando um modelo de simulação hidrológica para avaliação das contribuições da parte alta da bacia do rio Una, até à estação de monitoramento de Capivara, assim como a contribuição difusa e dos afluentes, principalmente as bacias mais representativas que são a do rio Pirangi e do rio Mucuri. O modelo em uso é o HEC-HMS (HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER, 2000), do tipo distribuído por sub-bacias. A estrutura de base de dados hidrológicos e a calibração do modelo é apresentada em outro artigo neste congresso (RIBEIRO NETO, CIRILO E DANTAS, 2011).

Com base nesses cenários, a partir da precipitação prevista, baseada primeiramente em modelos meteorológicos e na sequência de ocorrência do evento na rede de observação, serão dados os alertas de inundação.

2.2.4 Estrutura de alerta, acompanhamento e comunicação

O alerta à população para os riscos de inundações, no Brasil, é função dos órgãos de Defesa Civil dos estados, dos municípios e da União. Essas entidades emitem os alertas principalmente a partir de dados e informações dos institutos de meteorologia.

Em Pernambuco a responsabilidade de informar a Defesa Civil sobre a possibilidade de ocorrência de enchentes cabe à APAC, que mantém relacionamento contínuo com a rede de monitoramento hidrometeorológico nacional e redes internacionais, emitindo boletins a partir de informações de modelos e satélites de observação do tempo, como ilustrado na Figura 10 a seguir, bem como da rede de monitoramento em terra, com operação centralizada em uma sala de situação integrada à Agência Nacional de Águas – ANA.

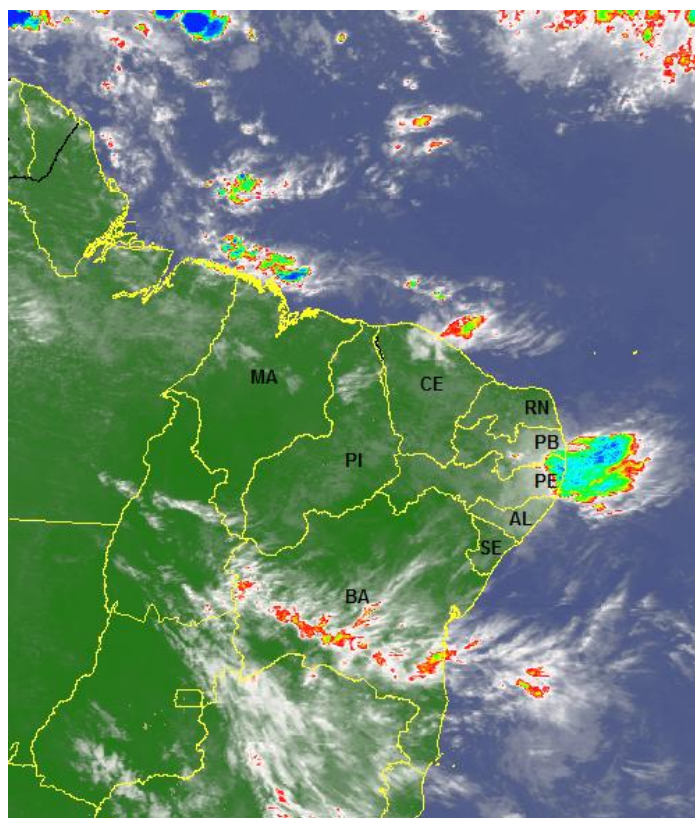


Figura 11 – Exemplo de evento indicativo de chuvas intensas monitorado pela APAC.

CONCLUSÕES

A estrutura desenvolvida pela Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos e pela Agência Pernambucana de Águas e Clima de Pernambuco para o suporte à decisão por ocasião de eventos de cheia em Pernambuco foi testada durante este período chuvoso de 2011 com resultados satisfatórios. A previsão, o alerta e o acompanhamento das ocorrências de inundação foram feitos principalmente com o suporte da rede observacional, com o registro de precipitações, nível da água nos rios e barragens e avaliação das vazões em marcha. Os cenários gerados pelos modelos de simulação aqui apresentados estão sendo validados com o levantamento das marcas de cheia de 2010 e 2011 nas cidades de Palmares, Água Preta e Barreiros e farão parte dos instrumentos de alerta da Defesa Civil. O sistema de suporte à decisão, além disso, está sendo essencial como uma ferramenta de planejamento, para decisão de reordenamento da calha fluvial e de deslocamento da população e das atividades comerciais da cidade, como também para o projeto das barragens de contenção de cheias, como é mostrado em outro artigo neste congresso (CIRILO, MONTENEGRO, ASFORA e TORRES FILHO, 2011).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio de muitos técnicos das instituições envolvidas na previsão e acompanhamento de enchentes em Pernambuco: a Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos de Pernambuco- SRHE, a Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC, a Agência Nacional de Águas – ANA, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM, a Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA e a equipe coordenada pelo Prof. Mariano Aragão, da UFPE, responsável pelo mapeamento das áreas inundadas durante a enchente de 2000.

REFERÊNCIAS

CHRIS NYGAARD, C., PAUL SCLAFANI, P.; Mobile Bed Modeling of the Cowlitz River using Hec-Ras: Assessing Flooding Risk and Impact Due to System Sediment. 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV, June 27 - July 1, 2010

CIRILO, J. A., MONTENEGRO, S. M. G. L., ASFORA, M. C., TORRES FILHO, C.O.; Control and flood forecasting in the state of Pernambuco, Brazil: hydrological aspects and actions for reconstruction. XIV World Water Congress, Porto de Galinhas, Pernambuco, Brasil, 2011. Anais.

COBBY, D. M., MASON, D. C., MATTHEW S. HORRITT, M. S., BATES, P.D.; Two-dimensional hydraulic flood modelling using a finite-element mesh decomposed according to vegetation and topographic features derived from airborne scanning laser altimetry. Hydrological Process. 17, 1979–2000 (2003)

GIBSON, S., NYGAARD, C., SCLAFANI, P; Assessing Flooding Risk and Impact due to System Sediment. 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV, June 27 - July 1, 2010

HAILE, A. T., RIENTJES, T.H.M.; Effects of Lidar Dem Resolution in Flood Modelling: a Model Sentitivity Study for the City of Tegucigalpa, Honduras.

HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER. HEC-RAS – River Analysis System. User's Manual. Davis, USA: US Army Corps of Engineers, 2010.

HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER. HEC-HMS - Hydrologic Modeling System. Technical Reference Manual. Davis, USA: US Army Corps of Engineers, 2000.

ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop "Laser scanning 2005", Enschede, the Netherlands, September 12-14, 2005.

MARKS K, BATES P. D. 2000. Integration of high-resolution topographic data with floodplain flow models. Hydrological Processes 14: 2109–2122, 2000.

RIBEIRO NETO, A. ,CIRILO, J. A., DANTAS, C.E.O. Integração de Modelos Chuva-Vazão e Hidrodinâmico para Simulação de Cheias. XIV World Water Congress, Porto de Galinhas, Pernambuco, Brasil, 2011. Anais.

U.S.ARMY CORPS OF ENGINEERS. HEC-RAS River Analysis System – Hydraulic Reference Manual – Version 3.0. Davis. 2001.