

IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE PREVISÃO DE EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS NO MUNICÍPIO DE MANAUS/AM

Giuliana Baron^{1}; & Nadia Bernardi Bonumá²; & Pedro Guilherme de Lara³*

Resumo – Os desastres hidrológicos causam enormes prejuízos por onde passam. Somente para o período de 2007 a 2015, as ocorrências registradas no município de Manaus chegaram a causar um custo estimado de R\$1,92 bilhões de reais em danos materiais, prejuízos totais e danos ambientais. Além disso, para o mesmo período, estas ocorrências deixaram 3 mortos, 36.370 desabrigados, somando-se ao todo 165.881 pessoas afetadas. Para amenizar as perdas e alertar a população ribeirinha, tem-se desenvolvido sistemas de previsão e alertas de eventos para que população possa sair da zona de risco. Frente a isso, este estudo implementou o Sistema de Previsão de Eventos Hidrológicos Críticos (SPEHC) em duas bacias hidrográficas, Igarapé Tarumã-Açu e Igarapé do Mindú, que abrangem a região urbana de Manaus, capital do Amazonas. O sistema implementado, além de possuir uma plataforma online, emite boletins via e-mail e alertas para aparelhos celulares.

Palavras-Chave – Sistema de Previsão, PM Tank Model, Eventos Hidrológicos Críticos.

IMPLEMENTATION OF HYDROLOGIC FORECASTING SYSTEM OF CRITICAL EVENTS IN THE CITY OF MANAUS

Abstract – In its eventuality, Hydrological disasters cause great damage. Only between 2007 and 2015, occurrences registered in the city of Manaus account for an estimate cost of 1.92 billion in material damage, total loss and environmental damage. Notwithstanding, at this time these occurrences left 3 deceased, 36.370 homeless and a total of 165.881 affected. To ease the losses and warn the "Ribeirinha" population, it has been developed a system of prevention and alert of events to assist people in evacuating the high risk zones. In accordance to this matter, this study has implemented the Hydrologic Forecasting System of Critical Events (SPEHC), in two of the hydrological basins, which conveys the urban region of Manaus, estate capital of Amazonas. They are the hydrological basins known as "Igarapé Tarumã-Açu" and "Igarapé do Mindú". The implemented system not only comprises of an online platform, it also emits online reports via e-mail and mobile devices.

Keywords – Forecasting System, PM Tank Model, Critical Hydrological Events.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com os relatórios do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2id), no período de janeiro de 2007 a 2015, para o município de Manaus, capital do Amazonas, tem-se um valor de perdas totais estimado em 1,92 bilhões de reais em danos materiais, ambientais e prejuízos econômicos devido as ocorrências de eventos hidrológicos críticos. Para o mesmo período, estes desastres naturais afetaram 165.881 pessoas, deixando 3 mortos e 36.370 desabrigados.

Uma forma de prevenção desses desastres consiste em um sistema de monitoramento e alerta. Isto permite que a comunidade seja informada da ocorrência dos eventos extremos e possibilita a

¹ Fractal Engenharia Meio Ambiente e Inovação SS EPP, giulibaron@gmail.com.

² Universidade Federal de Santa Catarina, nadia.bonuma@ufsc.br.

³ Fractal Engenharia Meio Ambiente e Inovação SS EPP, pedro@fractaleng.com.br.

retirada de pessoas, animais e bens da área a ser atingida, de modo a garantir as melhores condições de resposta frente aos desastres.

Mediante aos problemas apresentados, este estudo implementa o Sistema de Previsão de Eventos Hidrológicos Críticos (SPEHC) em duas bacias hidrográficas, que abrangem a região urbana de Manaus: Igarapé Tarumã-açu e Igarapé do Mindú. Este sistema permite a emissão de boletins diários para o auxílio de técnicos e gestores de interesse, para que ações frente aos desastres possam ser tomadas com antecedência.

2. SISTEMA DE PREVISÃO DE EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS

O Sistema de Previsão de Eventos Hidrológicos Críticos (SPEHC) é embasado na teoria do modelo hidrológico PM Tank Model, desenvolvido por Lara e Kobiyama (2012). Este modelo possui embasamento físico e hidrológico na modelagem computacional, não utilizando a auto calibração dos parâmetros de entrada (Lara e Kobiyama, 2012).

Composto também por um sistema de assimilação de dados de pluviometria de diversas fontes, como telemetria, radares e dados de satélite, que assimilam dados a cada hora, o SPEHC permite que o modelo preveja desastres de forma confiável, pois simula cenários de vazões em tempo real. As previsões são feitas por conjunto (ensemble), nas quais são consideradas várias faixas de probabilidade de ocorrência (Lara *et al*, 2015).

O modelo hidrológico utilizado no SPEHC, o PM Tank Model, proposto por Lara e Kobiyama (2012), é uma variante do modelo Tank Model desenvolvido por Sugawara (1995). Este modelo, classificado como estocástico e conceitual, possui uma estrutura simples que demanda poucos dados de entrada, de forma a permitir seu uso em regiões carentes de dados. No estudo, foram adotados os seguintes parâmetros: armazenamento inicial, profundidade do solo, tempo de concentração, condutividade hidráulica, tempo de base, capacidade de infiltração, interceptação e área da bacia.

3. ESTUDO DE CASO

A região de estudo abrange duas bacias hidrográficas no município de Manaus, AM: Igarapé Tarumã-Açu e Igarapé do Mindú, conforme mostra a Figura 1.

A área de drenagem da bacia do Igarapé Tarumã-açu é de 1.354,95km², enquanto que a área de drenagem da bacia do Igarapé do Mindú é de 118,46 km². O clima da região de Manaus, de acordo com a classificação proposta por Köppen (1948), pertence ao grupo A, de clima tropical, sendo dividido em quatro categorias: clima tropical úmido ou super úmido (Af); clima tropical úmido ou subúmido (Am); clima tropical, com inverno seco (Aw); e clima tropical quente e úmido, com estação seca no verão (As). A temperatura média normalmente é superior a 26 °C, com um índice pluviométrico elevado, em torno de 2.369 mm anuais, sendo de março a abril o bimestre de maior precipitação e julho a agosto o de menor (CPRM, 2012).

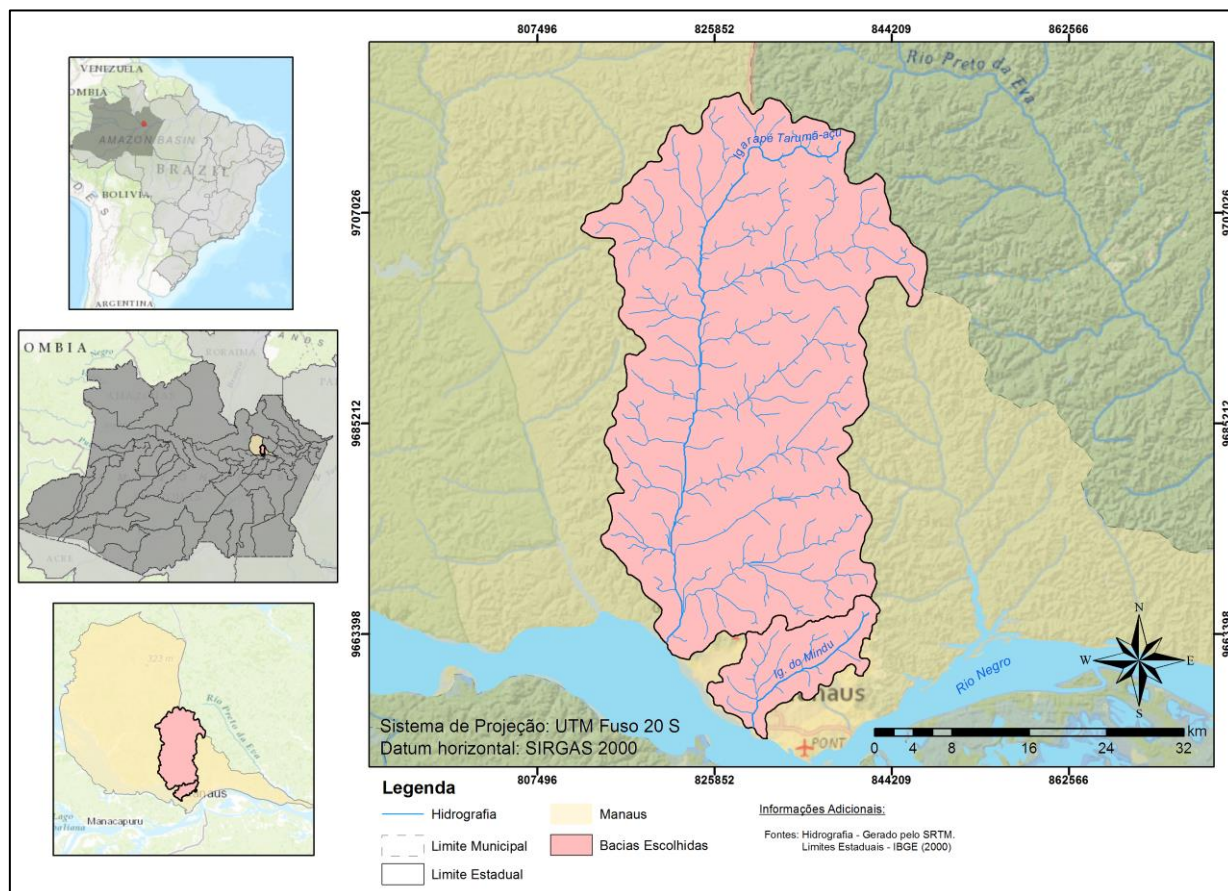


Figura 1 - Área de estudo.

Os dados de entrada do modelo foram adotados de acordo com valores encontrados em estudos realizados no entorno da área (Frota Filho, 2016; Miranda, 2017; Corrêa, 1985; Ferreira *et al*, 2007; Drucker, 2001; Franken *et al*, 1982; Leopoldo *et al*, 1982; Macena, 2016). A exceção é o tempo de concentração, que foi calculado de acordo com as recomendações de Silveira (2005), que testou o desempenho das fórmulas deste parâmetro em bacias urbanas e rurais. Para o presente trabalho, a bacia do Igarapé Tarumã-açu foi considerada rural e a Igarapé do Mindú, urbana. Os dados de entrada são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados de entrada.

Dados de Entrada	Bacia Ig. Tarumã-açu	Bacia Ig. do Mindú
Armazenamento inicial [mm]	70,8	70,8
Tempo de Concentração [hr]	24,38	1,75
Condutividade hidráulica [mm/hr]	171	171
Tempo de base	0,0001	0,0001
Profundidade do solo hidrológico [mm]	400	400
Capacidade de infiltração [mm/s]	0,025	0,0028
[%] Interceptação	28,47	6,77
Área da bacia [km ²]	1.360,14	118,94

Os parâmetros de entrada para o PM Tank Model foram inseridos no SPEHC, no qual aqueceu o modelo com os dados de chuva do GPM Early com 45 dias. Este aquecimento assimilou os dados pluviométricos encontrados para região georreferenciada nos centros geométricos das bacias hidrográficas. Após, foi realizada a previsão da precipitação com o modelo meteorológico ETA.

Na Figura 2 estão apresentados os valores de precipitação do GPM Early, representados em azul, e os valores da precipitação prevista pelo modelo ETA, representados em vermelho.

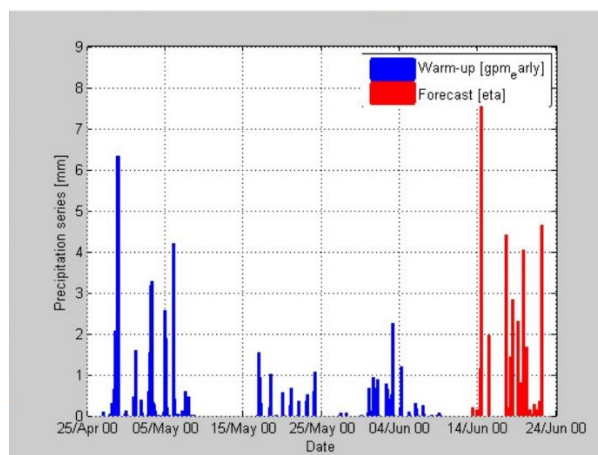


Figura 2 - Valores da precipitação para a Bacia Igarapé Tarumã-Açu.

Com os valores de precipitação, o modelo PM Tank Model, junto com a previsão por ensemble, gerou os valores de vazões que estão apresentados na Figura 3.

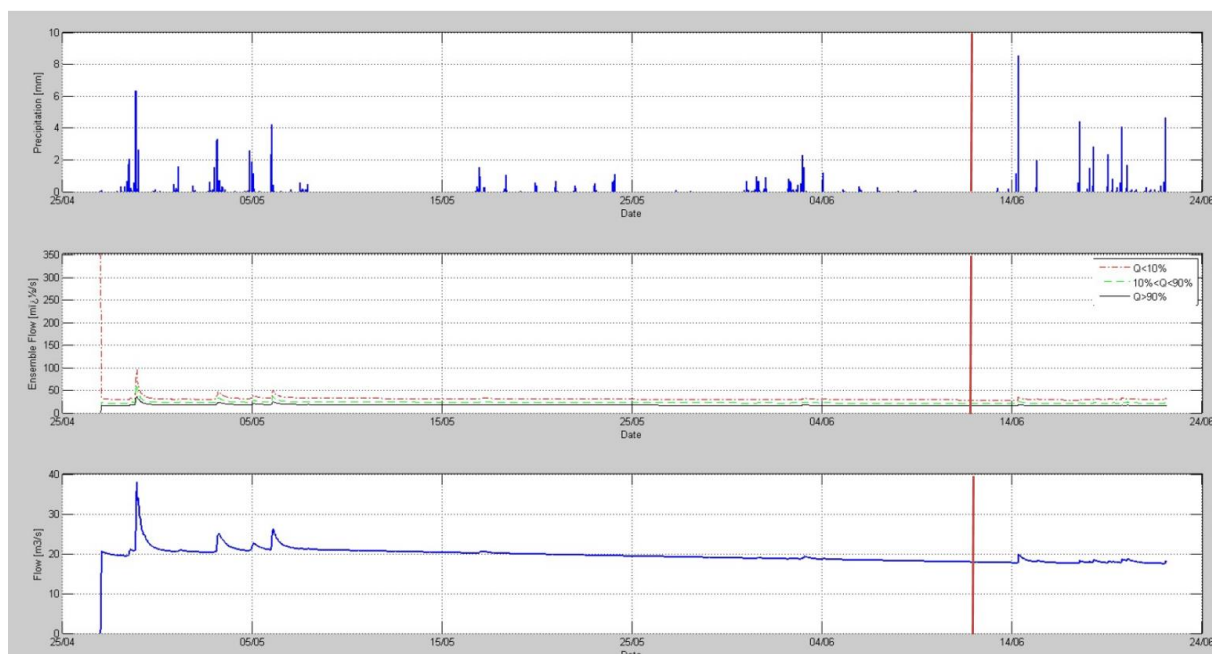


Figura 3 - Resultado do Sistema SPEHC para a bacia hidrográfica do Igarapé Tarumã-açu.

O primeiro quadro apresenta os valores de entrada da precipitação no modelo PM Tank Model. Os valores de precipitação do aquecimento e da previsão estão separados pela linha vermelha, sendo os do aquecimento a esquerda, e os da previsão a direita. O segundo e o terceiro quadro apresentam os valores das vazões calculadas pelo PM Tank Model.

Como os dados de entrada são incertos, a previsão por ensemble considera várias faixas de probabilidade, que estão representadas no segundo quadro. Os valores de vazão com probabilidade menor que 10 % de ocorrência estão representados pela linha pontilhada em vermelho, os valores de vazão com probabilidade entre 10% e 90% de ocorrência estão representados pela linha pontilhada em verde, e para os valores de vazão com probabilidade maior que 90% de ocorrência estão representados pela linha preta e pela linha azul nos dois últimos quadros.

Depois de ajustado os parâmetros e aquecido o modelo no SPEHC, estes foram inseridos na plataforma do website, para que as previsões possam ser acessadas via internet. O site fornece os resultados para os próximos 11 dias e o alcance da previsão varia de acordo com o modelo meteorológico e a grade de resolução escolhidos.

A Figura 4 apresenta a interface do site, com destaque para as bacias em estudo.

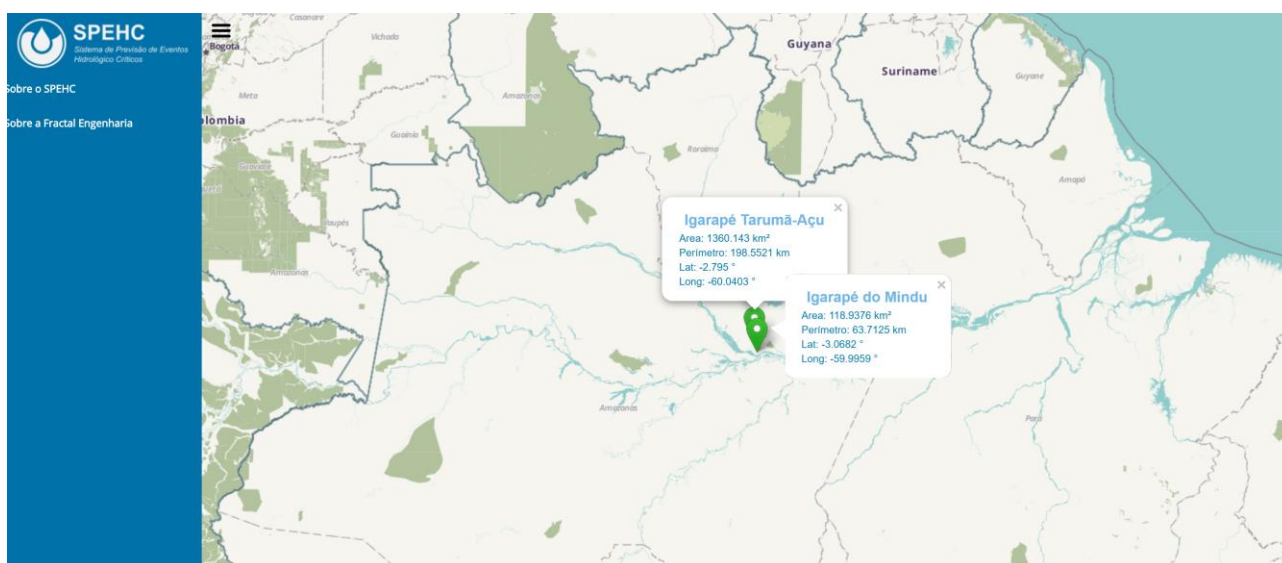


Figura 4 - Interface do site com as bacias em estudo.

O SPEHC além de emitir boletins diários para alertar a população local que ficam disponível no site, também pode enviar alertas para aparelhos de telefonia móvel pelo aplicativo caso as vazões previstas atinjam valores de atenção e alerta.

As Figuras 5 e 6 são os resultados da modelagem realizada no SPEHC para o período de 11 dias. As previsões geradas para os próximos dias são mostradas em dois gráficos, o primeiro gráfico apresenta os valores previstos de precipitação. E no segundo tem apresentado os valores estimados das vazões previstas por ensemble que estão separados em três faixas de probabilidade de ocorrência com cores distintas.

Os valores de vazão com probabilidade menor que 10 % de ocorrência estão representados na plataforma do website pela linha pontilhada em azul, com a probabilidade entre 10% e 90% de ocorrência estão representados pela linha pontilhada em cinza, e para os valores de vazão com probabilidade maior que 90% de ocorrência estão representados pela linha pontilhada preta.

IGARAPÉ TARUMÃ-AÇU | Resultados do Modelo SPEHC

Aquecimento: GPM Early (NASA) | Previsão: ETA (CPTEC)

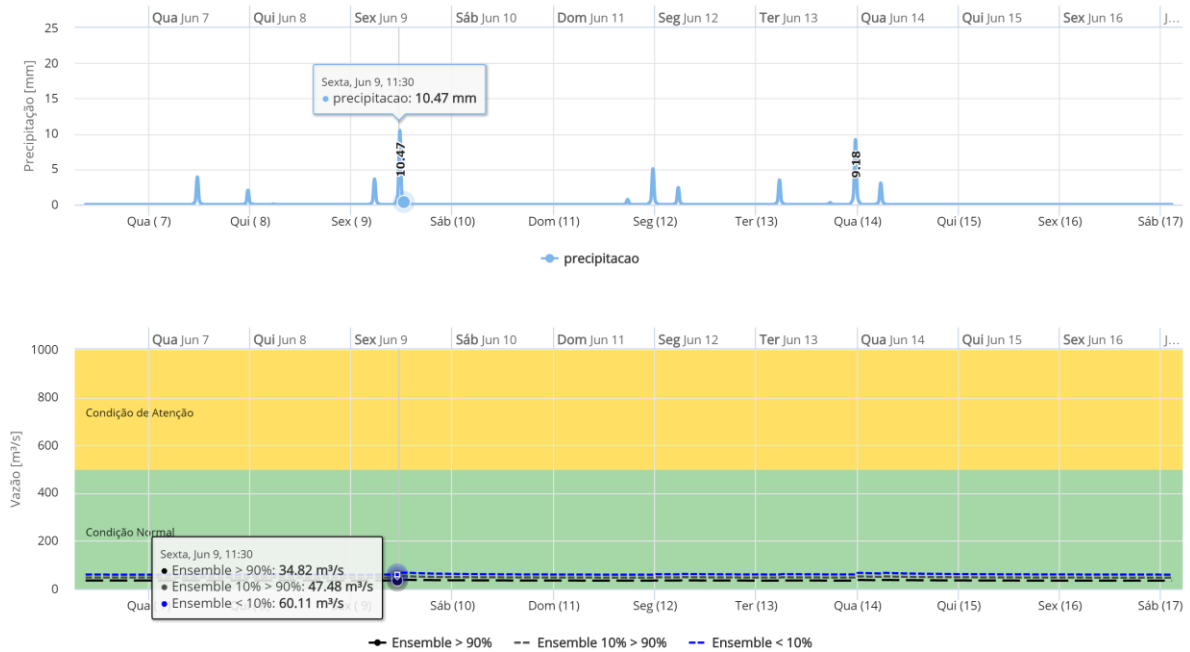


Figura 5 - Resultado do Sistema SPEHC para a bacia hidrográfica do Igarapé Tarumã-açu.

IGARAPÉ DO MINDU | Resultados do Modelo SPEHC

Aquecimento: GPM Early (NASA) | Previsão: ETA (CPTEC)

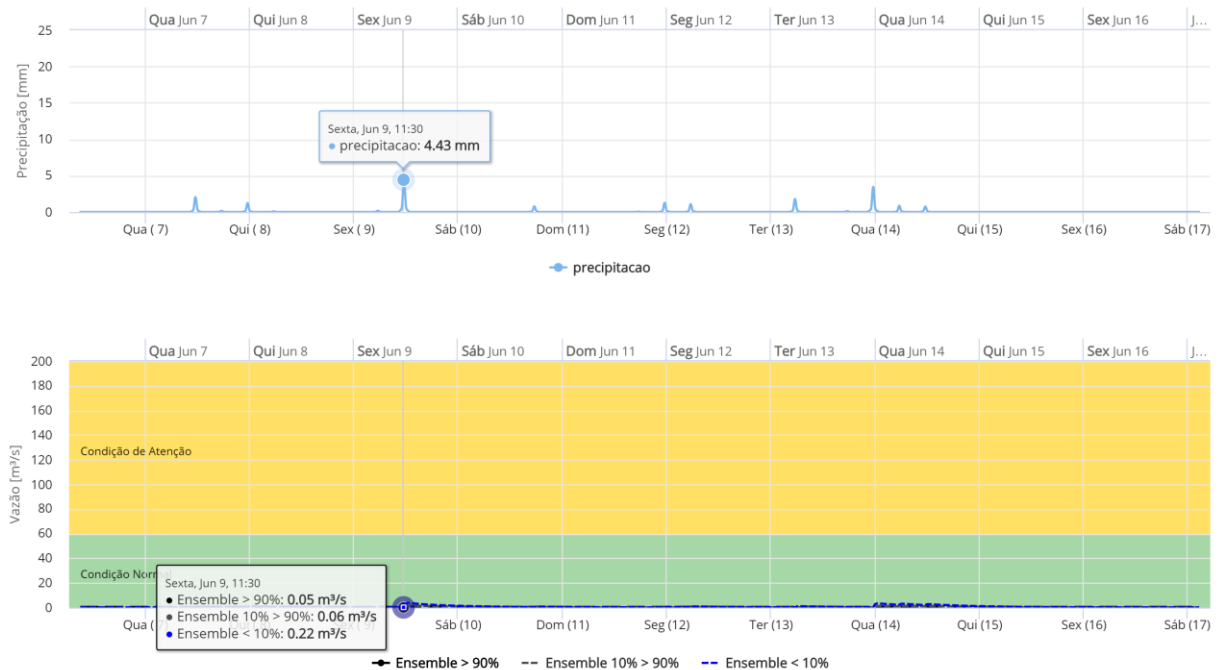


Figura 6 – Resultado do Sistema SPEHC para a bacia hidrográfica do Igarapé Tarumã-açu.

4. CONCLUSÃO

O sistema SPEHC funciona em tempo real e assimila dados automaticamente, tornando-o mais confiável em suas previsões. Além disso, faz-se a análise de risco com ensemble garantindo o mapeamento da incerteza da previsão melhorando a percepção de risco de quem utiliza a informação.

Dentre as características apresentadas, pode-se verificar que o sistema é uma ferramenta robusta no auxílio frente as tomadas de decisões quanto aos eventos hidrológicos extremos, auxiliando na mobilização das pessoas que estão nas áreas de risco, minimizando perdas e reduzindo o número de mortos e feridos das áreas. Com a emissão de alerta por e-mail e aparelhos celulares, fornece tempo para agir ganhando tempo com a advertência. Desta forma, estes alertas podem ser enviados para diversos órgãos como a defesa civil, o corpo de bombeiros, a policia, entre outros essenciais para coordenarem as melhores ações frente aos desastres.

REFERÊNCIAS

- CHOU, S. C.; BUSTAMANTE, J. F.; GOMES, J. L. (2005). Evaluation of seasonal precipitation forecasts over South America using Eta model. *Nonlinear Processes in Geophysics*, v. 12, p. 537-555.
- CORRÊA, J. C. (1985). Características físicas de um latossolo amarelo muito argiloso do Estado do Amazonas, sob diferentes métodos de preparo de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 12, pp. 1381-1387.
- CPRM, Serviço Geológico do Brasil. (2012). Mapeamento das Áreas de Risco Geológico da Zona Urbana de Manaus (AM). Manaus, 67 p.
- KÖEPPEN, W. (1948). Climatologia: com um estudio de los climas de la Tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 478 p.
- LARA, P. G.; KOBAYAMA, M. (2012). Proposta de Modelo Conceitual: PM Tank Model. *RBRH-Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n.3, pp. 149-161.
- LARA, P. G. *et al.* (2015). SPEHC- Sistema de Previsão de Eventos Hidrológicos Críticos. *XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Brasília, 8p.
- DRUCKER, D. P. (2001). Modelagem Hidrológica de uma Microbacia em Manaus, AM, Brasil. *Contribuição Brasileira-Europeia ao Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – CARBONSINK-LBA*. Piracicaba, 24 p.
- FERREIRA, S. J. F. *et al.* (2007). Umidade e armazenamento de água em diferentes topossequências em floresta primária na Amazônia Central. *Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste*, 11 p.
- FRANKEN, W. LEOPOLDO, P. R. MATSUI, E. RIBEIRO, M. N. G. (1982). Interceptação das precipitações em floresta amazônica de terra firme. *Supl. Acta Amazônica*, v.12, n. 3, pp. 15-22.
- FROTA FILHO, A. B. (2016). Análise da vulnerabilidade erosiva da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal do Amazonas, 199 p.
- LEOPOLDO, P. R. FRANKEN, W. MATSUI, E. SALATI, E. (1982). Estimativa de evapotranspiração de floresta amazônica de terra firme. *Supl. Acta Amazônica*, v. 12, n. 3, pp. 23-28.
- MACENA, L. S. L. (2016). Áreas de risco nas bacias hidrográficas urbanizadas de Manaus. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal do Amazonas, 262 p.

MIRANDA, J. S. N. (2017). Caracterização da vulnerabilidade intrínseca do Aquífero Alter do Chão na cidade de Manaus – AM. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Amazonas, 144 p.

SILVEIRA, A. L. L. (2005). Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. *RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 10, n.1, pp. 5-23.

SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÕES SOBRE DESASTRES. Disponível em: < <https://s2id.mi.gov.br/paginas/relatorios/> >. Acesso em 20 maio 2017.

SUGAWARA, M. (1995). Tank Model. In: SINGH, V.P. (ed.) *Computer Models of Watershed Hydrology*. Highlands Ranch: *Water Resources Publications*, pp. 165-214.