

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA PREVISÕES DE ENCHENTES COM USO DE SISTEMAS COLABORATIVOS

Maria Clara Fava^{1*}; *Eduardo Mário Mendiondo*²; *Vladimir Caramori B. Souza*³; *João Porto de Albuquerque*⁴ & *Jó Ueyama*⁵.

Resumo – Os eventos de enchentes bruscas têm ocorrido mais frequentemente e causam grandes prejuízos devido ao curto tempo de preparação da população e pela grande dificuldade de previsão destes, para isso devem-se aprofundar estudos que aprimorem métodos de previsão em curto prazo. Este trabalho propôs-se a revisar as principais técnicas que visam contribuir com a melhora na aquisição de dados de enchentes e a proposição de uma metodologia geral para integração de modelos de previsão em curto prazo ao uso de informações voluntárias de cidadãos para auxiliar o preenchimento de dados onde não se tem monitoramento por sensores. Foi sugerida a determinação de curvas de correlação entre dados de sensores e os dados de observação voluntária para aperfeiçoamento dos resultados obtidos de modelos hidrológicos. O estudo mostrou que a nova metodologia considerando a integração das informações possui potencial para fornecer respostas mais eficazes e imediatas, embora sejam necessários mais estudos para comprovação efetiva da eficiência do sistema proposto.

Palavras-Chave – Sistemas colaborativos, previsão em curto prazo, vulnerabilidade.

Abstract – The sudden flood events have occurred more frequently and cause great losses due to the short time to prepare the population and the great difficulty in forecasting these events. So it should be further studies that improve prediction methods in short term. This study aimed to review the main techniques that aim to contribute to the improvement in data acquisition floods and propose a general methodology for integrating predictive models for short-term with the use of voluntary information from citizens to help fill data where there is no monitoring by sensors. It was suggested that the determination of correlation curves between sensor data and visual graphic information to improvement of results of the hydrological models. The study showed that the new methodology considering the integration of information has the potential to provide more effective responses and immediate, although further studies are required to prove actual efficiency of the proposed system.

Keywords – Collaborative Systems, short-term forecasting, vulnerability

INTRODUÇÃO

Recentemente, tem-se observado uma crescente atenção dada aos desastres naturais e seu potencial impacto sobre o meio ambiente, principalmente devido à frequência com que esses eventos extremos têm ocorrido. As alterações climáticas estão fortemente ligadas a ações antrópicas e seus impactos causados ao ambiente. É necessária a prevenção de desastres e redução da vulnerabilidade em locais com cenário de risco não só no âmbito geográfico-ambiental, mas também social. A ocorrência de enchentes bruscas e de curtíssimo tempo de espera são os eventos

¹ Escola de Engenharia de São Carlos/ USP, mfava7@gmail.com.

² Escola de Engenharia de São Carlos/ USP, emm@sc.usp.br.

³ Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, vcaramori@yahoo.com.

⁴ Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação/ USP, jporto@icmc.usp.br.

⁵ Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação/ USP, joueyama@icmc.usp.br.

que causam maior dano pela dificuldade de previsão, já que o curto tempo de deslocamento da onda de cheia impede previsões de maior antecedência, necessitando que se faça previsão de enchentes em curto prazo.

Para prevenir e mitigar esses impactos é fundamental a proposição de estudos transversais e testes de vulnerabilidade, a fim de identificar, simular e reproduzir as condições ambientais e a condição dos recursos hídricos derivados de cenários de mudanças climáticas. Fazendo estudos de métodos preventivos, os impactos causados por catástrofes podem ser em muito reduzidos. É importante que se prepare a população sobre como reagir em situações de desastre. De maneira que os prejuízos causados sejam minimizados. Para isso devem-se aprofundar estudos que aprimorem métodos de previsão em curto prazo, preenchimento de dados em locais com informações escassas, estudos de vulnerabilidade e maior envolvimento da população nas medidas preventivas.

O objetivo é apresentar uma nova abordagem de previsão em curto prazo de alagamentos/inundação e de índice de perigo associado a esses eventos por meio de tecnologias colaborativas, ou VGI - *Volunteer Geographic Information*, e por redes de monitoramento em tempo real, como WSN-*Wireless Sensor Network*.

O desenvolvimento deste trabalho abordou os seguintes temas: (i) Resiliência a inundações; (ii) Sistemas de alerta; (iii) Sistemas colaborativos; (iv) Relação entre dados VGI e WSN.

RESILIÊNCIA A INUNDAÇÕES

Segundo as Nações Unidas, o Brasil figura entre os países com maior incidência de sinistros devido às inundações. Os custos econômicos totais, diretos e indiretos, chegam até 3% do PIB e os danos comprometem o equivalente a 11% de fontes de arrecadação. O Brasil registra anualmente centenas de mortes por afogamento, enxurradas, alagamentos e acidentes em vales de inundação (Mendiondo *et al.*, 2013). Vulnerabilidade é o estado de um sistema exposto a riscos, condicionado por fatores biofísicos e socioculturais, em diferentes escalas temporais e espaciais, combinado com sua capacidade de resposta (INCLINE, 2013). A determinação de situações de risco em recursos hídricos advindos das alterações climáticas é feita através da capacidade da bacia do rio de adaptação e organização, incluindo a capacidade de se recuperar de desastres. Assim, há uma necessidade de construir-se a resiliência a riscos na sociedade, através de uma avaliação participativa dos riscos, vulnerabilidades e capacidades relacionadas com o planejamento de ações por parte das comunidades.

Segundo Vis *et al.* (2010) gestão dos riscos de inundação com base na capacidade de resiliência é uma boa alternativa, pois as estratégias de resiliência são mais flexíveis e oferecem mais oportunidades para a natureza e desenvolvimento da paisagem. No entanto, a implementação requer enormes investimentos em curto prazo, enquanto que os resultados só ficarão claros ao longo de períodos de tempo relativamente longos. Resiliência é a capacidade do sistema urbano ou comunidade a resistir, mudar ou adaptar-se a fim de obter um nível de funcionamento e estrutura aceitável ou novo. Isto é determinado pelo grau em que o sistema social é capaz de organizar-se, e a sua capacidade para aumentar a sua capacidade de aprendizagem e de adaptação, incluindo a capacidade para recuperar de uma catástrofe. (Mendiondo, 2010).

SISTEMAS DE ALERTA

O uso de modelos numéricos de previsão de tempo por conjunto, em centros operacionais e sistemas de previsão de enchentes vem crescendo de forma bem acentuada (Cloke & Pappenberger,

2009). Esses modelos de previsão incorporam em sua maioria os sistemas de alerta, responsáveis pela emissão de avisos dos níveis de risco a ocorrência de catástrofes. Um sistema de alerta consiste basicamente em um modelo hidrológico alimentado por dados meteorológicos (obtidos através de monitoramento, observação visual ou previsão meteorológica) capaz de prever a vazão com um nível de probabilidade associado. Após a obtenção da vazão prevista, os dados são classificados em vazões normais ou que apresentam determinado nível de risco.

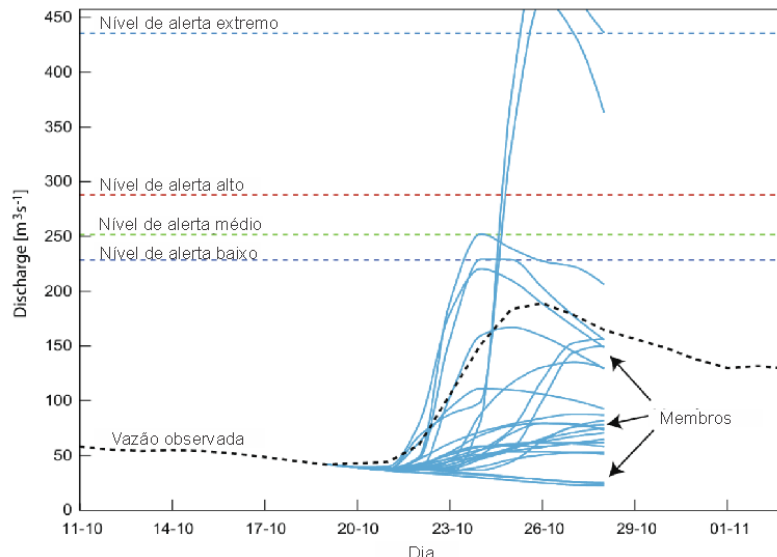


Figura 1: Exemplo de previsão hidrológica por conjunto. (Cloke & Pappenger, 2009)

Redes de sensores sem fio ou WSN (do inglês *Wireless Sensor Networks*) são ferramentas para apoiar o monitoramento ambiental. WSN são compostas por pequenos computadores programáveis conhecidos como "partículas" que estão equipados com tecnologias de rede sem fio de baixa potência e sensores de monitoramento (Hughes, 2011).

Atualmente existem diversos pluviômetros que medem a precipitação através de diferentes métodos. Dentre todos os instrumentos, os mais comumente usados são caçambas com volume conhecido capazes de captar e descartar água, aliados a um contador. O volume precipitado é medido através de cálculos simples. Embora de baixo custo, este tipo de medidor possui a desvantagem de dispor partes mecânicas móveis que podem comprometer as leituras. Outros medidores foram desenvolvidos para eliminar este problema, como medidores acústicos, medidores óticos, etc. Entretanto, estes métodos ainda apresentam desvantagens (imprecisão para baixas precipitações, necessidades de estimar o tamanho da gota de chuva etc.).

Recentemente, um novo tipo de medidor foi proposto de modo a eliminar os problemas dos atuais sensores. O novo método consiste em um acelerômetro que mede a deflexão nos três eixos causadas pela oscilação do vento. A resposta da frequência de aceleração obtida é usada para medir a precipitação e os resultados demonstraram erros de apenas 1 mm (Stewart, 2012).

A INFORMAÇÃO COLABORATIVA E DE WSN NA PREVISÃO HIDROLÓGICA DE CURTO PRAZO

No desenvolvimento de sistemas de gestão de desastres e construção de sistemas de alerta são utilizadas diversas informações a respeito do estado do ambiente estudado de maneira integrada para que se possa fazer a relação com as mudanças climáticas e os problemas associados.

Nesse conjunto de informações são utilizados dados observados em medições e condições físicas da bacia. Para o funcionamento de modelos de previsão em curto prazo é imprescindível que se tenham dados locais e em tempo real para as tomadas de decisão na mitigação de desastres. Um problema crucial é a disponibilidade de medidores de dados em todos os pontos considerados estratégicos. Com a evolução dos meios de comunicação, surge a possibilidade de interação e recebimento de informações por grupos de pessoas que estejam passando pelos locais de risco. Goodchild (2006) definiu o termo VGI (do inglês, *Volunteered Geographic Information*) como dados geográficos digitais gerados por cidadãos comuns a fim de publicar suas observações e conhecimento na web.

Ao contrário dos dados obtidos via sensores, os dados visuais não são adquiridos em intervalos regulares, mas sim informados de forma esporádica. Em seguida, os dados obtidos via VGI e os valores reais medidos são inseridos no modelo para a previsão. Em posse dos dados previstos, é possível calcular estatisticamente os intervalos de confiança entre os valores reais e estimados. Esta informação fornece dados probabilísticos para as iterações seguintes do modelo de previsão para o preenchimento dos pontos em que não existe a medição em tempo real.

A informação obtida visualmente vai além da utilidade da informação pontual. Ainda é possível utilizar estes dados, em conjunto com dados de monitoramento para desenvolver métodos de previsão correlacionando as informações disponíveis. Prevendo dados nos pontos em que a informação é escassa, fornecendo assim parâmetros importantes das condições do local na iminência da ocorrência de um desastre. Essas informações ajudam a obter uma resposta mais eficaz e imediata.

Para que a relação entre os dados medidos pelos sensores e as VGI resultem em previsões e informações confiáveis, é necessário fazer um equacionamento relacionando o estado nos pontos conhecidos com o estado dos pontos dependentes das VGI. Fazendo a relação entre os valores podem-se associar as informações reduzindo a incerteza sobre os dados provenientes de observações. Essa metodologia é melhor descrita nas sessões seguintes.

Vantagens e limitações

A obtenção de informações através de colaboração visual oferece uma série de vantagens, mas como qualquer método, também possui limitações que merecem atenção. Dentre as principais vantagens do método VGI, destaca-se a capacidade de aumentar a área de abrangência de informações disponíveis, pois a quantidade de sensores é um recurso limitado. Através do VGI, locais importantes podem ser monitorados com o auxílio da população, enquanto os sensores podem ser reaproveitados em locais de difícil acesso ou com menor densidade populacional.

Além dessa vantagem, a obtenção de dados visuais possui a vantagem de ser uma solução de baixo custo pois a informação é obtida sem a necessidade de instalação de medidores, registradores e transmissores de dados. Pode-se listar também como vantagem o baixo nível de intrusão do método, pois não exige a construção de suportes específicos para fixação dos equipamentos, além de eliminar a necessidade de mecanismos para garantir a segurança dos equipamentos.

Preferencialmente, os pontos de monitoramento devem ser localizados em pontos estratégicos para o estudo desejado buscando maximizar a qualidade da informação. Entretanto, na prática, a instalação dos sensores também deve considerar fatores como acessibilidade e segurança do local. O uso do VGI é vantajoso devido a fácil disponibilidade. Também pode-se citar como vantagem o fator social, pois a participação da comunidade no monitoramento possui elementos de conscientização.

Apesar de todas as vantagens, o método VGI também possui desvantagens. Ao contrário da rede de sensores, não existe a possibilidade da realização de planos de amostragem. Os dados são adquiridos de acordo com a boa vontade e disponibilidade dos observadores voluntários. Em geral, os dados são informados com menos frequência durante a noite e em situações de mau tempo, a não ser que exista interesse direto do observador.

Além disso, diferente da rede de sensores, os dados não são obtidos através de medidores calibrados. Os dados informados pela população estão sujeitos a adição de incertezas temporais e nos valores físicos, por despreparo e algumas vezes, até mesmo de modo intencional.

PROPOSTA DE RELAÇÃO ENTRE DADOS DE VGI E WSN

Considerando n pontos de observação visual p_i^v para $\forall i \in [1, n]$ e k pontos de monitoramento por rede de sensores sem fio p_j^s para $\forall j \in [1, k]$. Escolhe-se um ponto de controle p_c^s para $k \geq c \geq 1$ entre os pontos de monitoramento. Dado um evento simulado ajustado de vazão com dados adquiridos de uma série histórica do ponto p_c^s obtém-se parâmetros otimizados para um modelo chuva-vazão da bacia em estudo (Figura 2). Partindo do princípio que se o modelo teve resultados satisfatórios para o conhecido ponto p_c^s , e os pontos p_i^v estão situados na mesma bacia pode-se concluir que o modelo também prevê bons resultados para estes pontos, pois eles contribuem diretamente para o resultado simulado em p_c^s . Essa correlação utilizando o modelo chuva-vazão deve ser feita em todos os pontos p_j^s e integrados ao modelo hidrológico de previsão, exemplificado neste trabalho somente para um ponto (p_c^s).

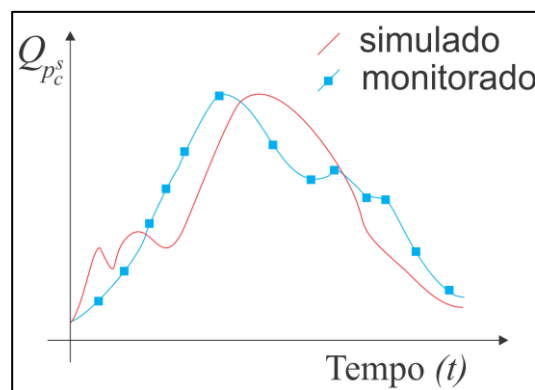


Figura 2: Exemplo de evento simulado/ajustado no passado.

Tendo obtido as curvas através do modelo chuva-vazão, faz-se uma regressão linear entre as curvas obtidas em p_c^s com as curvas dos demais pontos p_i^v , resultando em uma reta que relaciona os valores das vazões em cada ponto sem monitoramento com o ponto conhecido p_c^s (Figura 3).

Obtidas as curvas de correlação, verifica-se que as informações colaborativas de VGI podem ser usadas para uma série de finalidades:

i) Aprimoramento e atualização em tempo real das previsões nos pontos monitorados (p_j^s), ou seja, a informação obtida colaborativamente dará como resposta um valor estimado no ponto conhecido para ser utilizada no modelo para prever o valor do nível no instante $t + 1$, dando mais confiabilidade ao modelo de previsão.

ii) Estimativa reversa, no qual se usará o valor obtido através de sensores no conhecido ponto p_c^s para estimar os valores dos níveis dos pontos não monitorados p_i^v através da curva de

correlação entre eles, podendo assim preencher as lacunas de informação destes pontos em tempo real, já que estes não possuem monitoramento, somente esporádicas informações fornecidas por transeuntes.

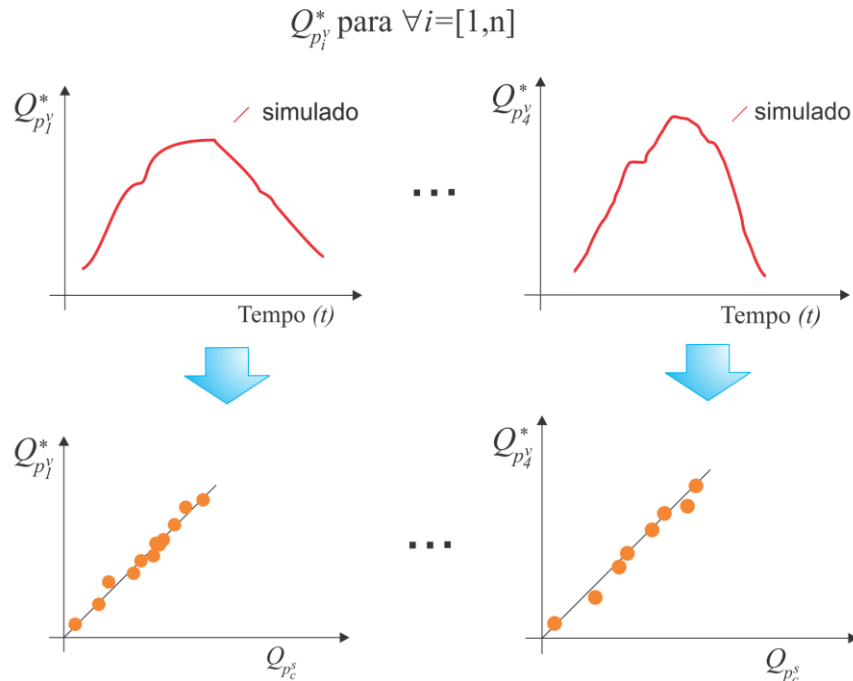


Figura 3: Ilustração da obtenção das curvas de correlação entre os valores observados e os valores medidos através da regressão linear. No exemplo, $n=4$.

Através das curvas de correlação dos valores, o valor estimado dos níveis nos pontos onde não se tem monitoramento $h_{p_i^v}^*(t)$ retornará um valor de nível simulado $h_{p_{c,i}}^*(t)$ para o mesmo instante no ponto de controle. Aplicando uma estatística bayesiana a estes valores de nível simulados para o ponto de controle obtém-se a frequência de valores, podendo assim determinar a probabilidade de ocorrência de dado evento crítico em função do nível monitorado em outro ponto da bacia em uma previsão $h_{c|i}^*(t + 1)$, Figura 4.

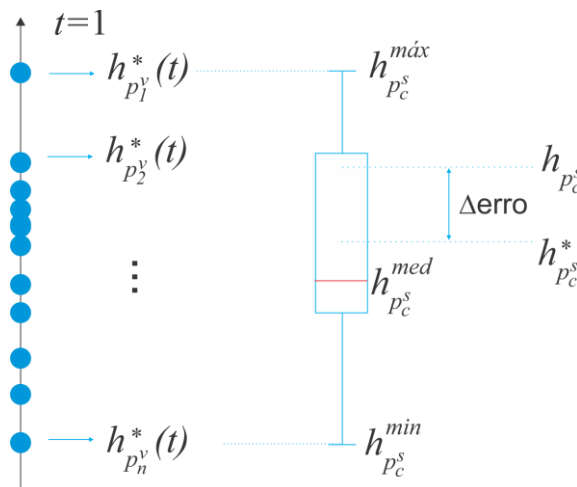


Figura 4: Frequência de valores dos dados simulados para o ponto de controle.

Índice de Perigo

Supondo para as seções transversais de rios e canais que estes são homogêneos e retangulares temos que a vazão Q é o produto da velocidade média \bar{V} pela área transversal A_T . Rotava *et al* (2013) define Índice de Perigo ($I.P$) como o produto da profundidade D pela velocidade média. Sendo B a largura do canal, temos a relação:

$$Q = \bar{V} \cdot A_T = \bar{V} \cdot B \cdot D \quad (1)$$

$$I.P = \bar{V} \cdot D = \frac{\overbrace{\bar{V} \cdot B \cdot D}^Q}{B} = \frac{Q}{B} \quad (2)$$

Essa relação é muito significativa, pois para estudos de gerenciamento de catástrofes o $I.P$ é mais representativo que utilizar valores de vazão. Na metodologia geral, propõem-se a substituição (ou estudo comparativo) do parâmetro vazão pelo $I.P$, pois o Índice de Perigo fornece níveis de risco proporcionais ao local de estudo, sendo mais fácil fazer uma comparação com situações ocorridas em outras bacias de dimensões diferentes. E também se relaciona de forma mais clara com a vulnerabilidade da área.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo apresenta uma metodologia para integrar informações voluntárias a modelos de previsão em curto prazo, apresentando uma solução para o preenchimento de dados espacialmente em locais onde não se têm sensores de monitoramento. A metodologia proposta não especificou o modelo de previsão a ser adotado, deixando em aberto as possibilidades para modelos simples ou complexos. O uso dos dados de VGI tem como principais vantagens o aprimoramento e atualização em tempo real das previsões nos pontos monitorados por sensores WSN e estimar os valores dos níveis dos pontos não monitorados. Essas informações voluntárias requerem ser tratadas cuidadosamente por envolverem grande incerteza.

A pesquisa mostra necessidade de mais estudos na área e determinação experimental dos valores a serem integrados nas relações probabilísticas propostas, no intuito de verificar a acurácia do modelo de previsão que utiliza os dados WSN e VGI.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da CAPES e CNPq PQ 307637/2012-3, BMBF/IB-DLR-CNPq 490148/2011-5, FAPESP 2008/58151-1, FINEP/MAPLU 01.10.0701.00, CNPq-CAPES 552494-2011-9 (Casadinho UFAL+EESC/USP).

REFERÊNCIAS

CLOKE, H.L.; PAPPENBERGER, F. (2009). Ensemble flood forecasting: A review. In: Journal of Hydrology, 375, p.613-626.

GOODCHILD, M. F. (2006). Citizens as Sensors: The World of Volunteered Geographic. Geo-Journal, p. 211 - 221.

HUGHES, D.; UEYAMA, J.; MENDIONDO, E.; MATTHYS, N.; HORRÉ, W.; MICHIELS, S.; HUYGENS, C.; JOOSEN, W.; MAN K. L.; GUAN, S. (2011). A middleware platform to support river monitoring using wireless sensor networks. In: J Braz Comput Soc 17:85–102.

INCLINE - INterdisciplinary CLimate INvEstigation Center (2013) Conceito de Vulnerabilidade, In: Oficina Interdisciplinar do Incline para discussão e construção conjunta do conceito de vulnerabilidade, IAG/USP, São Paulo, 8-9 Abril 2013. Disponível em <www.incline.iag.usp.br>.

MENDIONDO, E. M. (2010). Integrated Urban Water Management: Humid Tropics. Urban Water series - UNESCO-IHP. Chapter 6: 109-127.

MENDIONDO, E. M.; SOUZA, V. C.; REIS, L. F. R.; BRANDÃO, J. L. B.; DOMINGOS, S. (2013). Ações Colaborativas na Redução da Vulnerabilidade aos Desastres Hidrológicos Usando Tecnologias Resilientes para a Drenagem Urbana, Eixo Temático, In: Yoshizaki, H. (coord.) NAP/CEPED-USP: Núcleo de Apoio à Pesquisa "Centro de Ensino e Pesquisa em Desastres", Pró-Reitoria de Pesquisa/USP.

ROTAVA, J.; MENDIONDO, E. M.; SOUZA, V. C. (2013). Simulação de instabilidade humana em inundações: primeiras considerações. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves, RS.

STEWART, R.D.; HUT, R.; RUPP, D. E.; GUPTA, H.; SELKER, J. S. (2012). A resonating rainfall and evaporation recorder. In: Water Resour. Res., Vol. 48.

VIS, M. ; KLIJN, F.; DE BRUIJN, K.M.; BUUREN, M. (2010). Resilience strategies for flood risk management in the Netherlands. In: International Journal of River Basin Management. 1:1, 33-40.