

Medição de Velocidade e Sua Aplicação em Sistemas de Alerta

1. Introdução

Sistemas de alerta operam para nos informar de eventos críticos, fazendo-os em tempo hábil e provendo-nos de dados de alta qualidade. Para que isso seja possível, é necessário uma infraestrutura (figura 1) capaz de coletar os parâmetros adequados, na frequência adequada, e com exatidão e precisão suficientes para que os dados possam ser transformados em informações úteis aos interessados. Este trabalho descreve como os dados de velocidade do escoamento em uma seção de monitoramento hidrométrico contínuo podem ser utilizados como um previsor de condições críticas futuras de enchentes eminentes.



Figura 1. Esquemático dos componentes de um sistema de alerta.

2. Limitações da Curva-Chave

A curva-chave cota-vazão é uma ferramenta muito usada mundialmente para prever condições futuras de vazão baseado em dados de nível d'água (cota). Entretanto, os fundamentos físicos do desenvolvimento da curva-chave ainda não foram completamente considerados pois a grande maioria das pesquisas tem como objetivo a aplicação do método e não o conhecimento básico da física governante. Sendo assim, limitações práticas para o uso da curva-chave existem, por exemplo:

1. A maioria das curvas em uso hoje são traçadas a partir de medições obtidas em sua grande maioria durante condições normais de cota e vazão. Conseqüentemente, uma relação de um-para-um entre a cota e a vazão é freqüentemente assumida como válida para toda a gama de vazão na seção. Esta situação é agravada, pois os dados coletados durante enchentes, os quais são necessários para desenvolvimento de curvas-chave precisas, são justamente aqueles com menor índice de precisão e confiabilidade (Fenton e Keller, 2001).
2. O efeito da propagação da onda da enchente não é devidamente considerado (pressupõe-se que a vazão é uma função unívoca da cota). É possível observar vazões significativamente diferentes na mesma cota em uma única enchente simplesmente dependendo de quando as medições são feitas (figura 2).

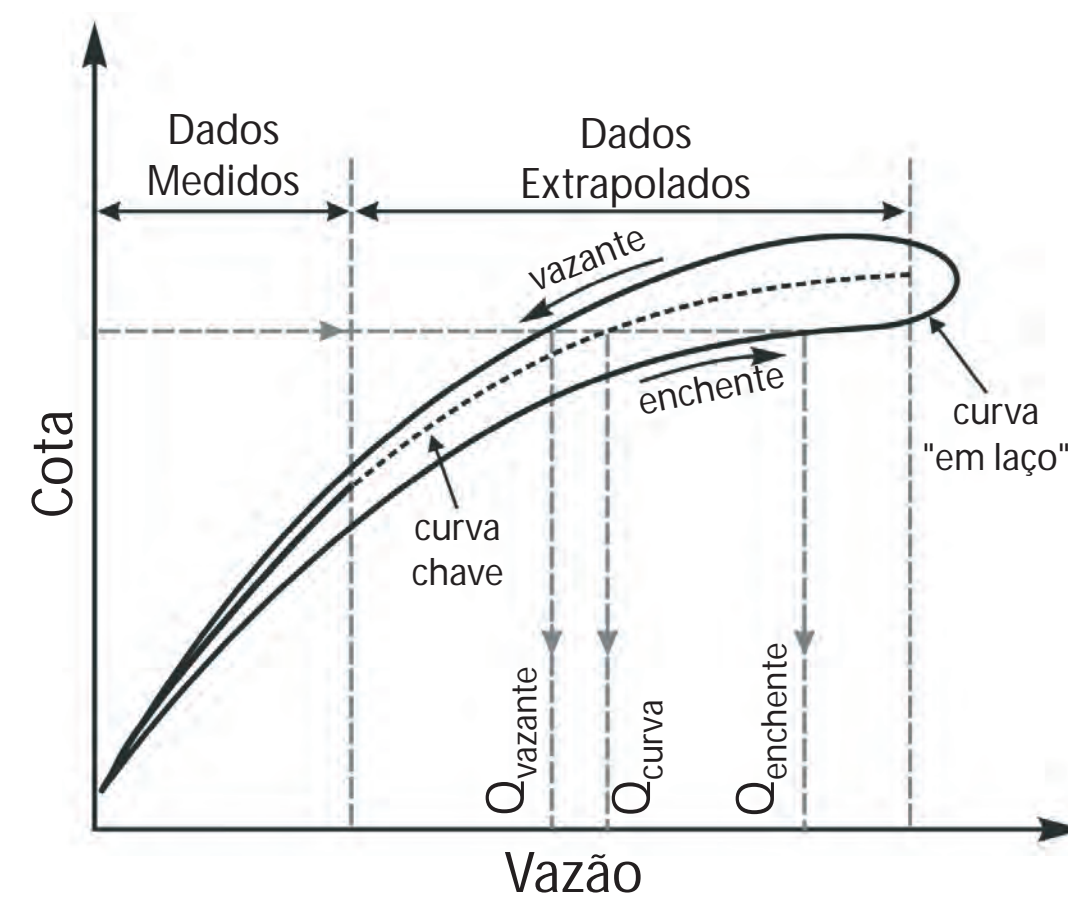


Figura 2. Exemplo conceitual de curva-chave cota-vazão "em laço". Duas vazões distintas ($Q_{enchente}$ e $Q_{vazante}$) para a mesma cota podem existir dependendo de quando, durante o mesmo evento, as medições são feitas. Modificada de Muste et al. (2011).

3. Medição de Velocidade

Devido às limitantes mencionadas da curva-chave, é desejável em muitos casos expandir a relação para duas (ou mais) dimensões podendo assim criar um sistema mais capaz de prever condições futuras de vazão. Um dos fatores mais usados neste processo é a velocidade da água (Chow, 1959; Rantz et al., 1982a; Chen e Chiu, 2002; Cheng et al., 2004).

Para canais abertos, a tecnologia mais eficaz e eficiente para medição de velocidade é a acústica por efeito Doppler, devido à facilidade de uso, capacidade de medir perfis de velocidade, e por poder ser enquadrados em várias aplicações e dimensões fluviais.

Atualmente, nas aplicações de vazão fluvial as duas configurações mais comuns de medidores de velocidade por método acústico Doppler são os perfiladores laterais (ex. SonTek SL) e os perfiladores fundeados (ex. SonTek SW). Ambas as configurações também medem continuamente a cota e estão ilustrados na figura 3 abaixo.

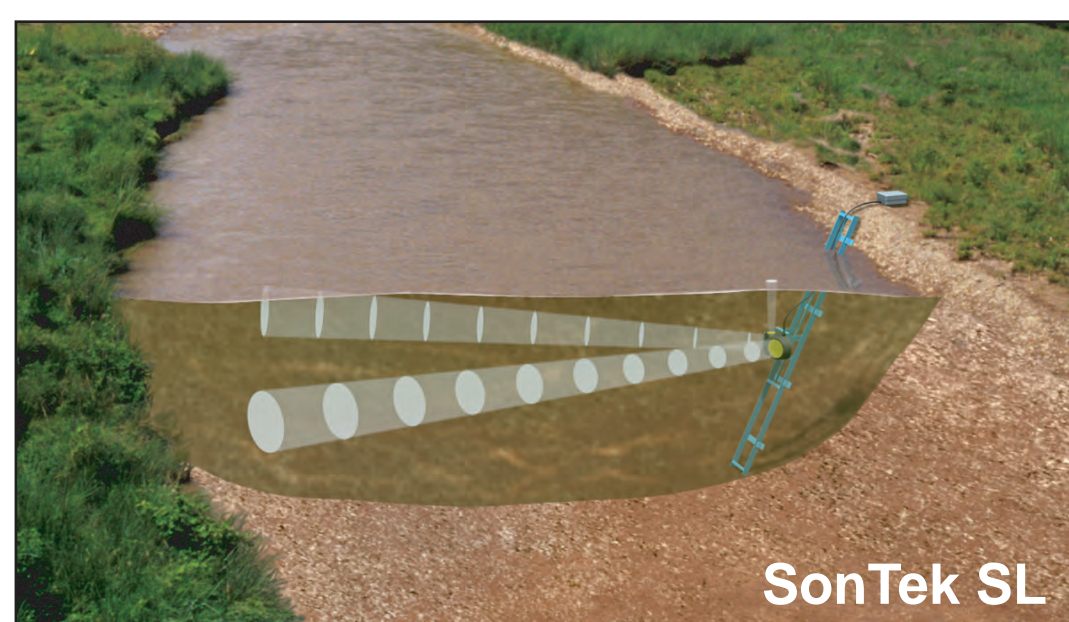
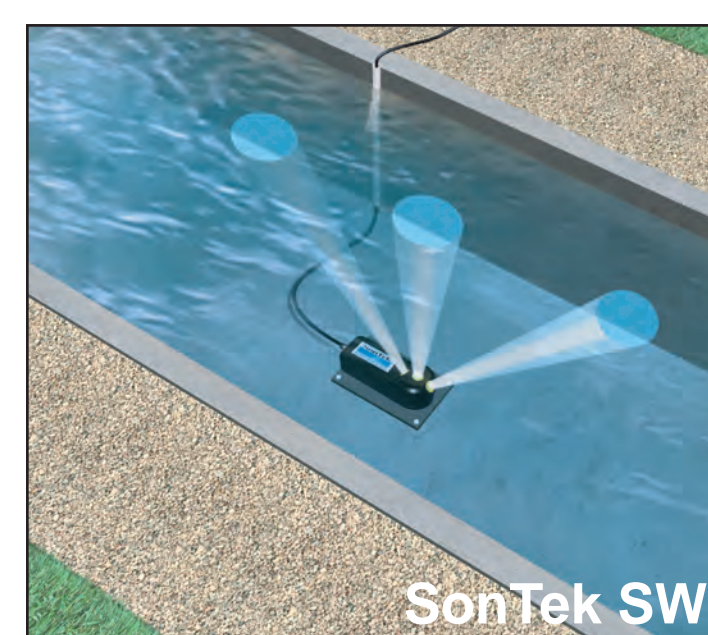


Figura 3. Ilustrações demonstrativas das duas configurações mais típicas de medidores acústicos de velocidade de escoamento para canais abertos (lateral, à esquerda; fundeado, à direita).



4. Estudos de Caso

A velocidade da água em uma seção fluvial é um parâmetro freqüentemente considerado como o melhor previsor de condições futuras. Aqui apresentamos dados de enchentes em três rios nos Estados Unidos que ilustram isso. Os três postos estão localizados nos estados de Georgia (GA), Texas (TX) e Indiana (IN), e abrangem condições variadas. Os três postos fazem parte da rede hidrometeorológica do Serviço Geológico Americano (USGS) e contém uma extensa série histórica (várias décadas) de vazão e cota medida a cada 15 minutos. Nelas também são feitas medições da velocidade de escoamento através de sensores acústicos Doppler na mesma frequência que a cota é medida.

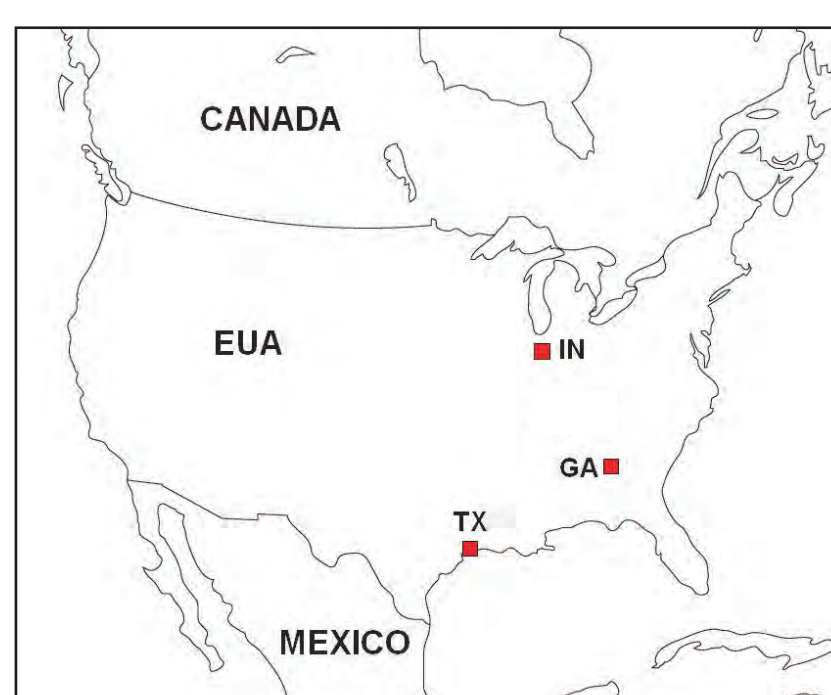


Figura 4. Mapa indicando localização dos três postos apresentados neste trabalho.

Posto GA

O Posto GA está localizado em uma seção cuja vazão é controlada pela Represa Jim Woodruff, localizada aproximadamente 47 km a jusante do posto. Um medidor contínuo de vazão e velocidade por efeito Doppler, modelo SL1500, está instalado em um dos suportes da ponte, como pode ser visto na figura 5a.

Como ilustra a figura 5b para a enchente de 2009 no posto GA, os picos de cota e velocidade estão relativamente alinhados, porém os dados de velocidade claramente mostram a pulsação do rio durante a enchente de 2009, provavelmente devido ao efeito do remanso. Durante este período de aproximadamente quatro dias os dados da cota sugerem um fluxo estável, o que o sensor de velocidade revela não ser real.

Identificador	Bacia (km ²)	Largura Média (m)	Cota Média (m)	Cota Máxima Histórica (m)	Vazão Máxima Histórica (m ³ /s)
GA	6.941	102	2,2	9,28 em 24/set/2009	2.172 em 24/set/2009



Figura 5a. Mapa e foto do posto GA. Seta indica direção do fluxo

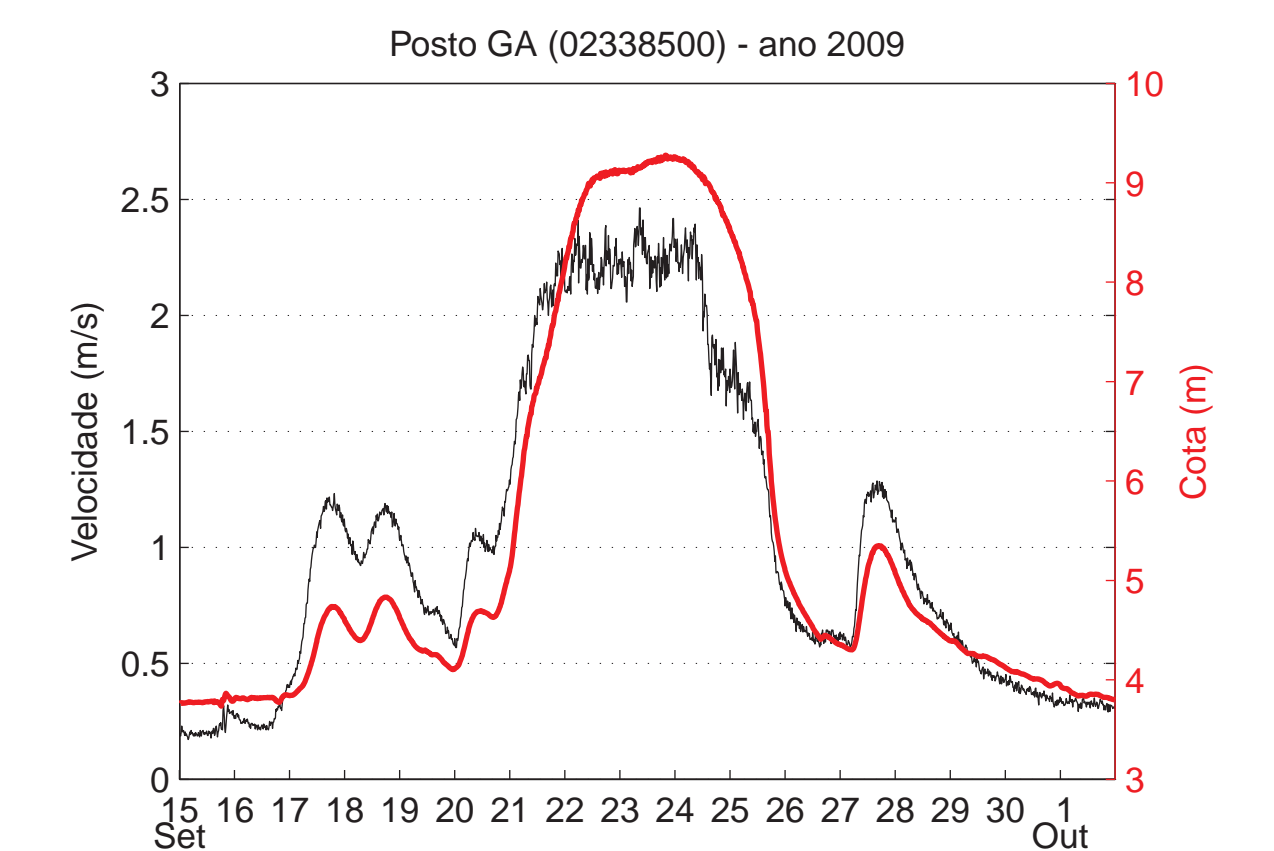


Figura 5b. Dados posto GA (2009)

Posto TX

Este local apresenta uma seção rasa com um canal de navegação definido. O posto está equipado com um sensor de velocidade por efeito Doppler, modelo SL500 (figura 6a, dir.). É possível observar o efeito da maré na cota e velocidade neste posto, podendo o fluxo até se reverter (vazão negativa).

Em termos de alerta sobre enchentes, durante este evento histórico a velocidade máxima foi observada às 06:15h no dia 19/Out, porém a cota máxima foi observada mais de 60 horas depois (2,5 dias) às 11:30 do dia 22/Out. Neste caso, os dados de velocidade poderiam ter sido usados para alertar a cidade de Beaumont, localizada 12 km a jusante deste posto (população de 120.000 habitantes), com mais de dois dias de antecedência sobre a cota crescente do Rio Neches, quando o rio estava ainda a 1,5 m abaixo da cota máxima.

Identificador	Bacia (km ²)	Largura Média (m)	Cota Média (m)	Cota Máxima Histórica (m)	Vazão Máxima Histórica (m ³ /s)
TX	25.353	128	0,9	3,58 em 22/out/2006	2.713 em 21/out/2006



Figura 6a. Mapa e foto do posto TX. Seta indica direção do fluxo

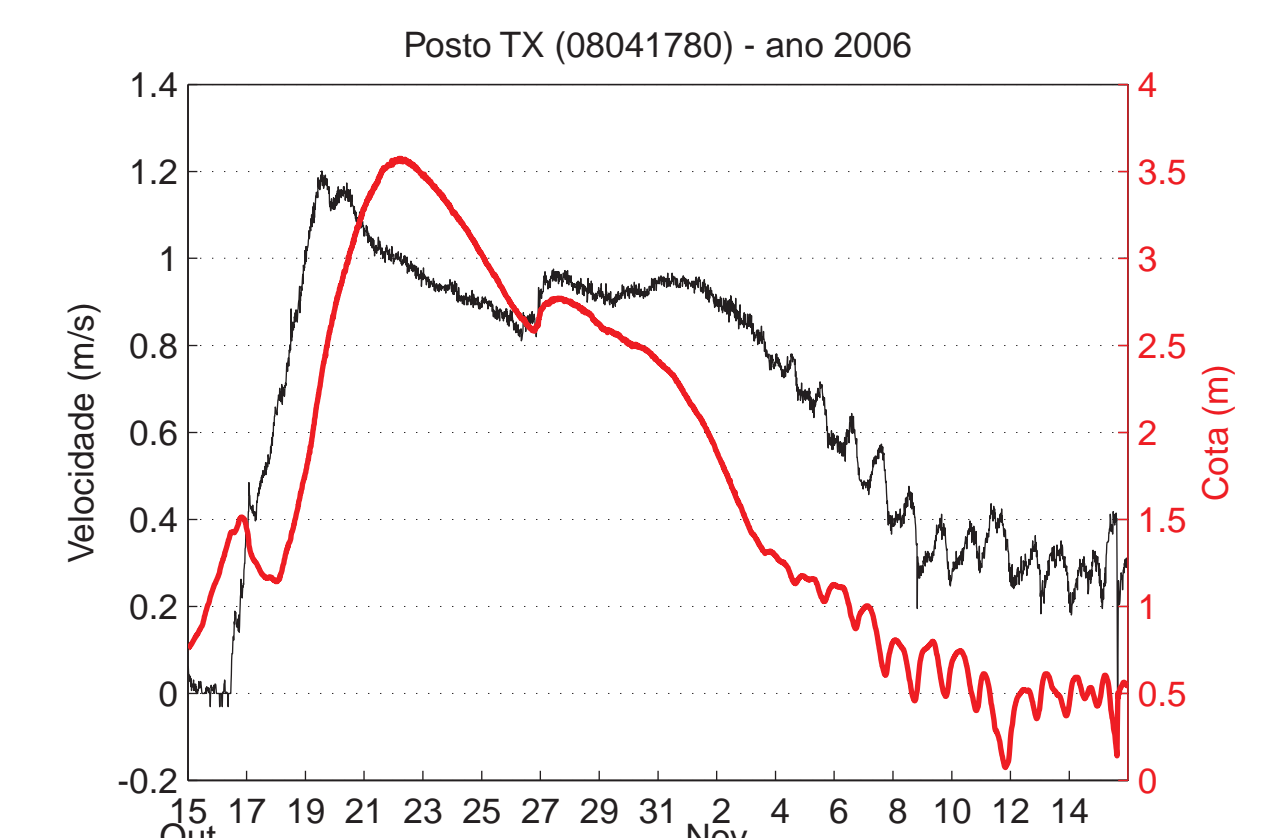


Figura 6b. Dados posto TX (2006)

Posto IN

Este posto observa velocidades médias abaixo de 0,3 m/s e é um tributário de terceira ordem do Rio Mississippi. Ele está sujeito a enchentes freqüentes causadas não só por chuvas sazonais, mas também pelo derretimento de neve/gelo dentro de sua bacia durante a primavera. A medição de velocidade e cálculo de vazão são feitas por um medidor acústico Doppler, modelo SonTek SL1500.

A figura 7b abaixo mostra três enchentes seguidas no posto. Em cada uma das enchentes, a velocidade máxima foi observada com mais de 12 horas de antecedência, respectivamente 17, 19 e 15 horas antes da cota máxima. É interessante notar que neste posto, quanto mais elevada a cota máxima, menos tempo existe entre o pico de velocidade e o pico da cota, ilustrando a importância de um sistema de alerta que possa atuar em tempo hábil.

Identificador	Bacia (km ²)	Largura Média (m)	Cota Média (m)	Cota Máxima Histórica (m)	Vazão Máxima Histórica (m ³ /s)
IN	1.163	24	1,4	7,44 em 14/jun/1958	184 em 07/fev/2008



Figura 7a. Mapa e foto do posto IN. Seta indica direção do fluxo

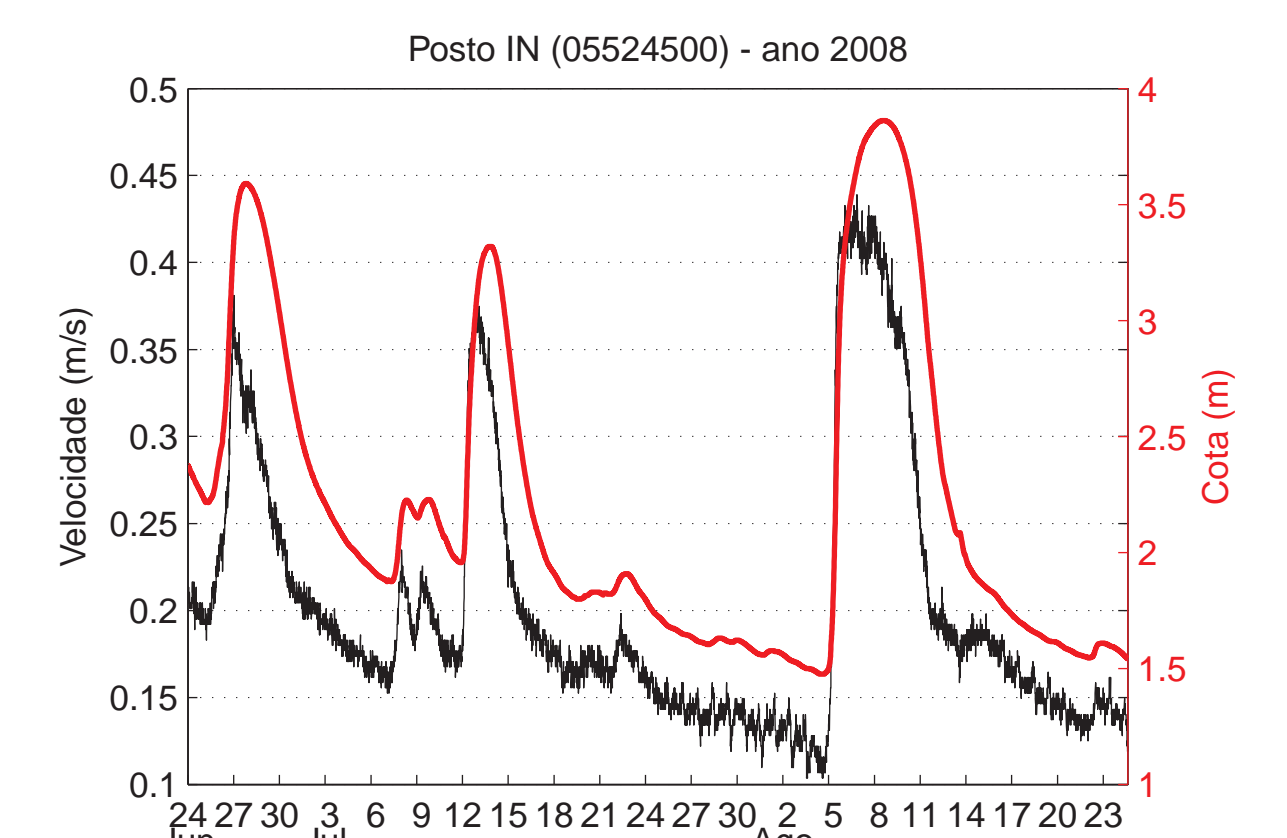


Figura 7b. Dados posto TX (2006)

5. Conclusão

Vários fatores são necessários para que alertas de inundações possam ter o impacto desejável de avisar a população de um risco eminente. Este trabalho apresentou a importância de um destes parâmetros (a velocidade da água em uma seção de medição contínua) e ilustrou a sua aplicação em quatro rios americanos.

Como foi apresentado, dados de velocidade são melhores previsores de condições de risco do que somente dados de cota. Apesar de obterem estimativas aceitáveis de condições futuras durante períodos de fluxo normal, a tradicional curva-chave cota-vazão é limitada em casos de enchentes, podendo gerar erros significativos em casos extremos.

A adição de dados de velocidade à curva-chave permite um melhoramento na previsão de condições futuras. Adicionalmente, em casos específicos de enchentes, o conhecimento da velocidade em uma seção permite a geração de alertas sobre cotas máximas com várias horas (ou até dias) de antecedência, reduzindo a população que é colocada em risco.

Bibliografia

CHEN, F.-C.; CHIU, C.-C. (2002). An efficient method of discharge measurement in tidal streams. *J. Hydrology*, 265 (1), 212-224.
CHENG, R. E.; GARNIER, J.W.; MASON, R.R.; COSTA, J.E.; PLANK, R.J.; SPICER, K.R.; HAINES, F.F.; MELCHER, N.B.; KELLER, W.C.; HAYES, K. (2004). "Evaluating a radar-based, non-contact streamflow measurement system in the San Joaquin River at Vernalis, California". U.S. Geological Survey Open File Report OF 2004-1015, Menlo Park, California.
CHOW, V.T. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill Book Co., New York, EUA, 680 p.
FENTON, J.D.; KELLER, R.A. (2001). "The calculation of streamflow from measurements of stage". Technical Report 916, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Melbourne, Australia.
MUSTE, M.; HO, W.-C.; HUB, S. (2011). "Considerations on direct stream flow measurements using side imagery: Outlook and research needs". *Journal of Hydro-environment research*, in press.
RANTZ, S.E. (1962a). "Measurement and computation of streamflow, Vol 1: Measurement of Stage and Discharge". U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2175, 313 p.