

HEC-HMS: AVALIAÇÃO NA BACIA DE DRENAGEM DE SANTANA DO MUNDAÚ

Keyla Almeida dos Santos¹, Alfredo Ribeiro Neto², José Almir Cirilo³,

RESUMO O objetivo deste trabalho foi testar o modelo hidrológico HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) do HEC (Hydrologic Engineering Center – US Army Corps of Engineers) na geração de hidrogramas na sub-bacia de Santana do Mundaú, parte da bacia do Rio Mundaú. Foram utilizados os aplicativos “Arc Hydro 10” e “HEC-GeoHMS 10.0” instalados no ArcMap para o pré-processamento dos dados. Com o modelo digital do terreno, a rede de drenagem e os limites da bacia, o aplicativo produz um arquivo de saída para ser usado pelo modelo hidrológico HEC-HMS e um mapa esquemático com o resumo das informações da bacia trabalhada. Os eventos escolhidos para calibração e validação foram escolhidos de acordo com a série histórica dos dados de vazão da estação fluviométrica de Santana do Mundaú (39700000), aqueles com maiores registros de vazão. Foram eles: 1994, 1997, 2000, 2005 e 2008. Na sub-bacia de Santana do Mundaú os resultados foram satisfatórios, considerando que o coeficiente de Nash e Sutcliffe ficou na faixa considerado aceitável, a vazão máxima calculada acompanhou os picos de vazões medidos e, houve a coincidência nos tempos de ocorrência da vazão máxima.

ABSTRACT The objective of this study was to test the hydrological model HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) HEC (Hydrologic Engineering Center - U.S. Army Corps of Engineers) in the generation of hydrographs in sub-basin of Santana Mundaú, part of river basin Mundaú. We used the application "Arc Hydro 10" and "HEC-GeoHMS 10.0" installed in ArcMap for the preprocessing of the data. With the digital terrain model, the drainage network and the limits of the basin, the application produces an output file to be used by the hydrological model HEC-HMS and a flow chart summarizing the information of the basin worked. The events selected for calibration and validation were chosen according to the time series of flow data from the station of Santana fluviometric Mundaú (39700000), those with higher flow records. They were: 1994, 1997, 2000, 2005 and 2008. In sub-basin of Santana Mundaú results were satisfactory, considering that the coefficient of Nash and Sutcliffe was in the range considered acceptable, the maximum flow rate followed the calculated and measured peak flows, there was the coincidence in time of occurrence of the maximum flow.

Palavras-chave: Hidrologia, HEC-HMS, Vazão.

¹ Engenheira Hidróloga da CPRM Serviço Geológico do Brasil, Av. Sul, 2291, 50770-011, Recife-PE, fone:(81) 3316.1468, E-mail: keyla.santos@cprm.gov.br

² Professor Adjunto do Dept. de Eng. Civil, CTG-UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, 50740-530, Recife-PE, fone:(81)-2126-7216, E-mail: ribeiront@hotmail.com

³ Professor Associado do Dept. de Eng. Civil, CTG-UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, 50740-530, Recife-PE, fone:(81)-2126-7216, E-mail: almir.cirilo@gmail.com

1 – LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO

A bacia do rio Mundaú abrange uma área total de 4.126 km², com 52,2% situada em Pernambuco, onde o rio nasce, e 47,8% em Alagoas, onde desemboca na lagoa Mundaú. Por isso enquadra-se na categoria de rio federal.

O trecho pernambucano da bacia, com uma área de 2.155km², está localizado na Mesorregião do Agreste Pernambucano, onde ficam inseridos, total ou parcialmente, territórios de 15 municípios, dos quais 8 com suas sedes municipais, a maior delas a cidade de Garanhuns (SUDENE, 1999).

Na parte alagoana da bacia, que corresponde à sua metade inferior, a superfície é de 1.971 km², onde estão, inseridos total ou parcialmente, territórios de 15 municípios da Mesorregião do Leste Alagoano. Encontram-se 10 sedes municipais, além de uma pequena parte da zona urbana de Maceió (SUDENE, 1999). A **Figura 1** abaixo mostra a localização da bacia de drenagem de Santana do Mundaú na bacia do rio Mundaú.

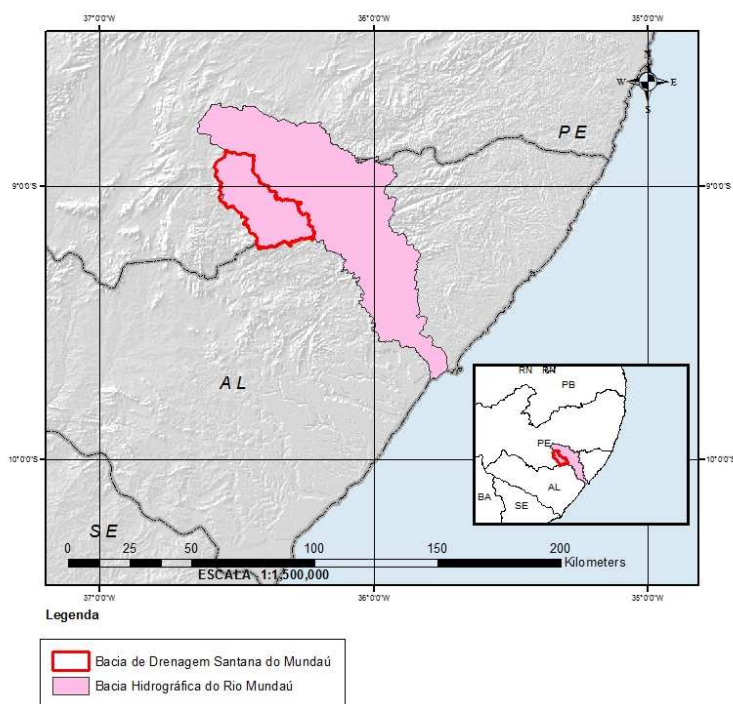


Figura 1 - Localização da bacia de drenagem de Santana do Mundaú na bacia do rio Mundaú

Essa bacia drena as microrregiões homogêneas da Mata Alagoana e de Maceió. O rio Mundaú nasce a oeste da cidade pernambucana de Garanhuns, na parte sul do Planalto da Borborema e entra em Alagoas na cachoeira da Escada, ao sul da cidade de Correntes e noroeste da cidade alagoana de Santana do Mundaú. Atravessa a área central da Mata Alagoana e chega ao litoral, com a sua foz afogada formando a Lagoa Mundaú (TENÓRIO, 1985 apud SILVA *et al.*, 2008).

O rio Mundaú é perene e sua bacia de contribuição tem uma precipitação média anual de 900 mm e uma vazão média anual de 30,6m³/s. O clima da bacia é quente com temperaturas médias

anuais em torno de 24⁰C. Os meses de fevereiro a julho correspondem à aproximadamente 72,6% de toda a precipitação anual local (SILVA *et al.*, 2008).

2 – COLETA, AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

Na aquisição das bases cartográficas digitais foi vetorizada automaticamente a hidrografia a partir dos arquivos rasters do modelo digital de elevação SRTM de 90m fornecido pelo “Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI)”.

Foi feito um levantamento das estações pluviométricas e fluviométricas na sub-bacia de Santana do Mundaú e no seu entorno. Sendo cadastradas um total de 33 estações pluviométricas (**Tabela 1**), das quais 19 do Laboratório de Meteorologia de Pernambuco (LAMEPE), 3 da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), 6 da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Alagoas (SEMARH-AL) e 5 da Agência Nacional de Águas/Serviço Geológico do Brasil - CPRM (ANA/CPRM) e uma estação fluviométrica da ANA/CPRM. O período de dados das estações trabalhadas neste estudo é toda a série histórica que se tinha disponível, consistido e/ou bruto, até o ano de 2010.

Tabela 1 – Estações pluviométricas utilizadas no estudo

Entidade	Código	Nome	Município	Bacia	Latitude (graus)	Longitude (graus)
LAMEPE	154	Paranatama	Paranatama	GI-1	-8.9192	-36.6583
	156	Brejão	Brejão	GI-1	-9.0261	-36.5661
	453	Terezinha	Terezinha	GI-1	-9.0569	-36.6239
	19	Garanhuns	Garanhuns	Mundaú	-8.8833	-36.4878
	22	Correntes	Correntes	Mundaú	-9.1286	-36.3283
	280	Palmeirina	Palmeirina	Mundaú	-9.0036	-36.3256
	281	São João	São João	Mundaú	-8.8769	-36.3667
	293	Brejão (IPA)	Brejão	Mundaú	-9.0158	-36.5350
	303	Correntes (Poço Comprido)	Correntes	Mundaú	-9.1167	-36.3167
	326	Garanhuns	Garanhuns	Mundaú	-8.8500	-36.4667
	394	Garanhuns	Garanhuns	Mundaú	-8.8667	-36.4667
	417	Garanhuns	Garanhuns	Mundaú	-8.9500	-36.5167
	443	Brejão - PCD	Brejão	Mundaú	-9.0161	-36.5356
	461	Garanhuns	Garanhuns	Mundaú	-8.8667	-36.4833
	483	Lagoa do Ouro	Lagoa do Ouro	Mundaú	-9.1267	-36.4986
	496	Palmeirina - PCD (Inhumas)	Palmeirina	Mundaú	-8.9833	-36.3667
	512	Palmeirina	Palmeirina	Mundaú	-9.0042	-36.3261
	533	São João (Sítio Anda So)	São João	Mundaú	-8.8422	-36.4117
	534	São João (Sítio Onça)	São João	Mundaú	-8.8933	-36.3631
	283	Belém de Maria	Belém de Maria	Una	-7.0000	-34.0000
SUDENE	30000058	Quebrangulo	Quebrangulo	Paraíba	-9.3333	-36.4833
	30000066	Santana do Mundaú - Munguba	Santana do Mundaú	Mundaú	-9.0667	-36.2
	30000067	Santana do Mundaú	Santana do Mundaú	Mundaú	-9.1667	-36.2167
ANA/CPRM	936111	VIÇOSA	Viçosa	Mundaú	-9.379167	-36.249167
	936112	SÃO JOSÉ DA LAJE	São José da Laje	Mundaú	-9.004167	-36.051111
	936113	UNIÃO DOS PALMARES	União dos Palmares	Mundaú	-9.146389	-36.038889
	936114	SANTANA DO MUNDAU	Santana do Mundaú	Mundaú	-9.168889	-36.219722
	936115	QUEBRANGULO	Quebrangulo	Mundaú	-9.320278	-36.491944

A estação fluviométrica utilizada no estudo é a de Santana do Mundaú (cód. 39700000) da ANA/CPRM localizada na bacia do Mundaú cujas coordenadas em graus são: -9,1678 e -36.2175.

A série de vazões consistidas da estação Santana do Mundaú, disponibilizada pela ANA/CPRM compreendia até o ano de 2006. Por isso, foi necessário a análise da curva-chave da estação, que foi atualizada e estendida a sua validade, gerando vazões de 2006 a 2010 (**Figura 2**).

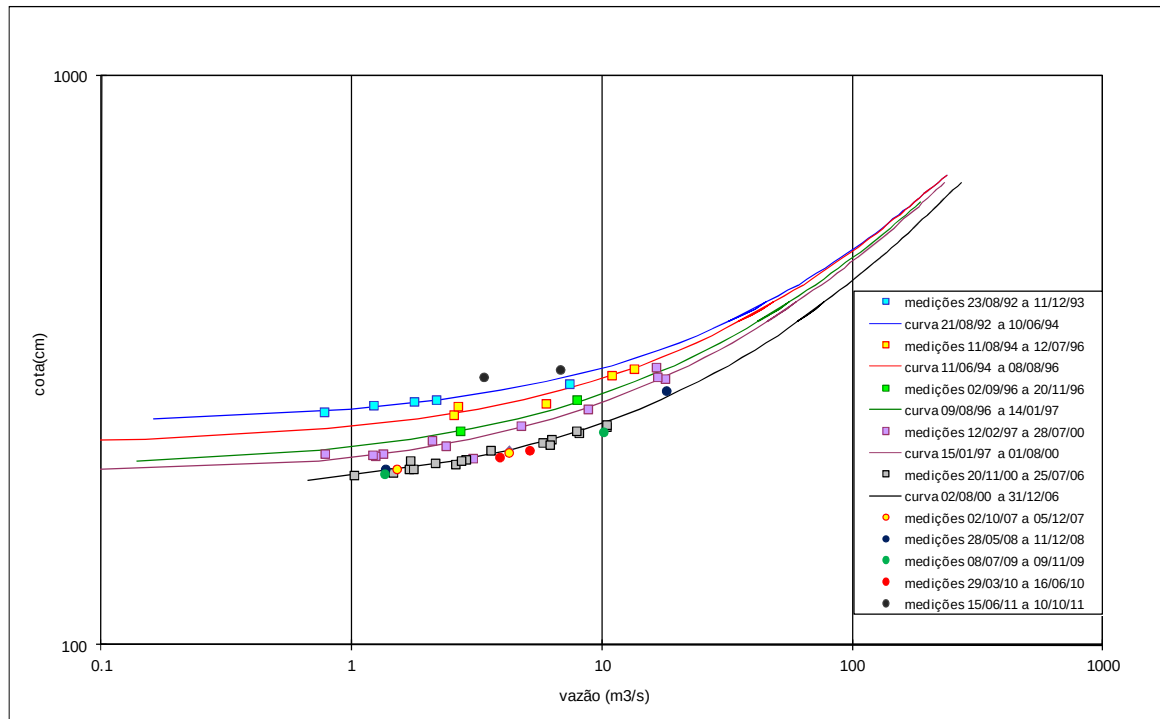


Figura 2 – Curvas-chave da estação Santana do Mundaú (39700000)

Com base no hidrograma da estação fluviométrica foram escolhidos os eventos ocorridos com vazão acima de $100\text{m}^3/\text{s}$ (**Figura 3**).

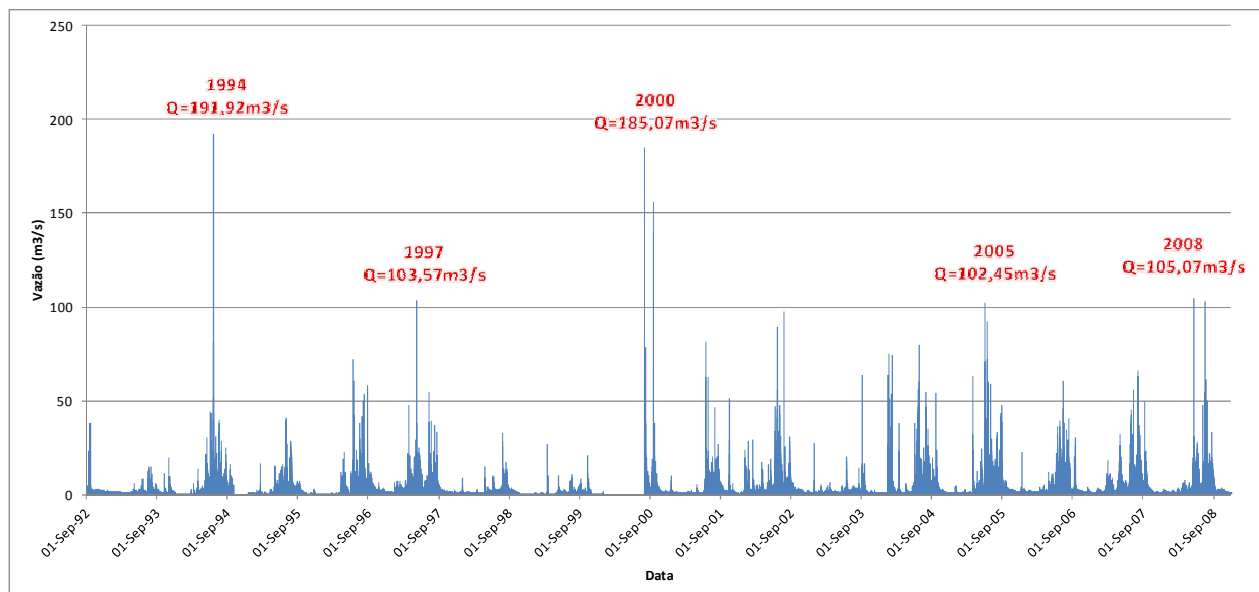


Figura 3 – Hidrograma da estação Santana do Mundaú (cód. 39700000)

3 – MODELAGEM HIDROLÓGICA

O HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) utilizado neste trabalho é um modelo chuva-vazão, que trata da conversão da chuva em escoamento fluvial e, é utilizado na simulação e previsão de séries temporais de vazão a partir de séries de precipitação. Ele é um modelo distribuído por sub-bacias desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center pertencente ao US Army Corps of Engineers, dos Estados Unidos. O modelo tem sido aplicado na solução de diversos problemas em uma grande variedade de bacias com diferentes características.

O HEC-HMS é um modelo que inclui uma grande variedade de métodos para simular o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas e canais. Tal simulação é feita através de processos de transformação de chuva em vazão (USACE-HEC, 2008b). Dentro deste contexto, o modelo foi inicialmente desenvolvido para suprir estudos conduzidos pelo próprio Hydrologic Engineering Center (HEC), tais como: inundações em centros urbanos, frequência de inundações, perdas por enchentes e, dimensionamento e operação de reservatórios (MACEDO, 2010). As diversas fases de cálculo do modelo podem ser esquematizadas como na **Figura 4**.

Segundo Tavares & Castro (2005), apesar de o HEC-HMS se apresentar como uma ferramenta computacional simplificadora para o processo de cálculo do hidrograma, isto não deixa de exigir do profissional operador, experiência e sensibilidade quanto aos métodos a serem adotados.

O modelo HEC-HMS necessita, como entrada, de uma síntese de informações espaciais da bacia em estudo. Essa síntese foi realizada no “ArcMap 10” com o uso do aplicativo “Arc Hydro 10” e o “HEC-GeoHMS 10.0”, que é um pré-processador desenvolvido para preparar os dados necessários ao modelo.

De posse do modelo digital de elevação SRTM e vetorizada automaticamente a hidrografia, foi dividida a bacia de drenagem de Santana do Mundaú em 8 sub-bacias, conforme modelo esquemático abaixo (**Figura 5**).

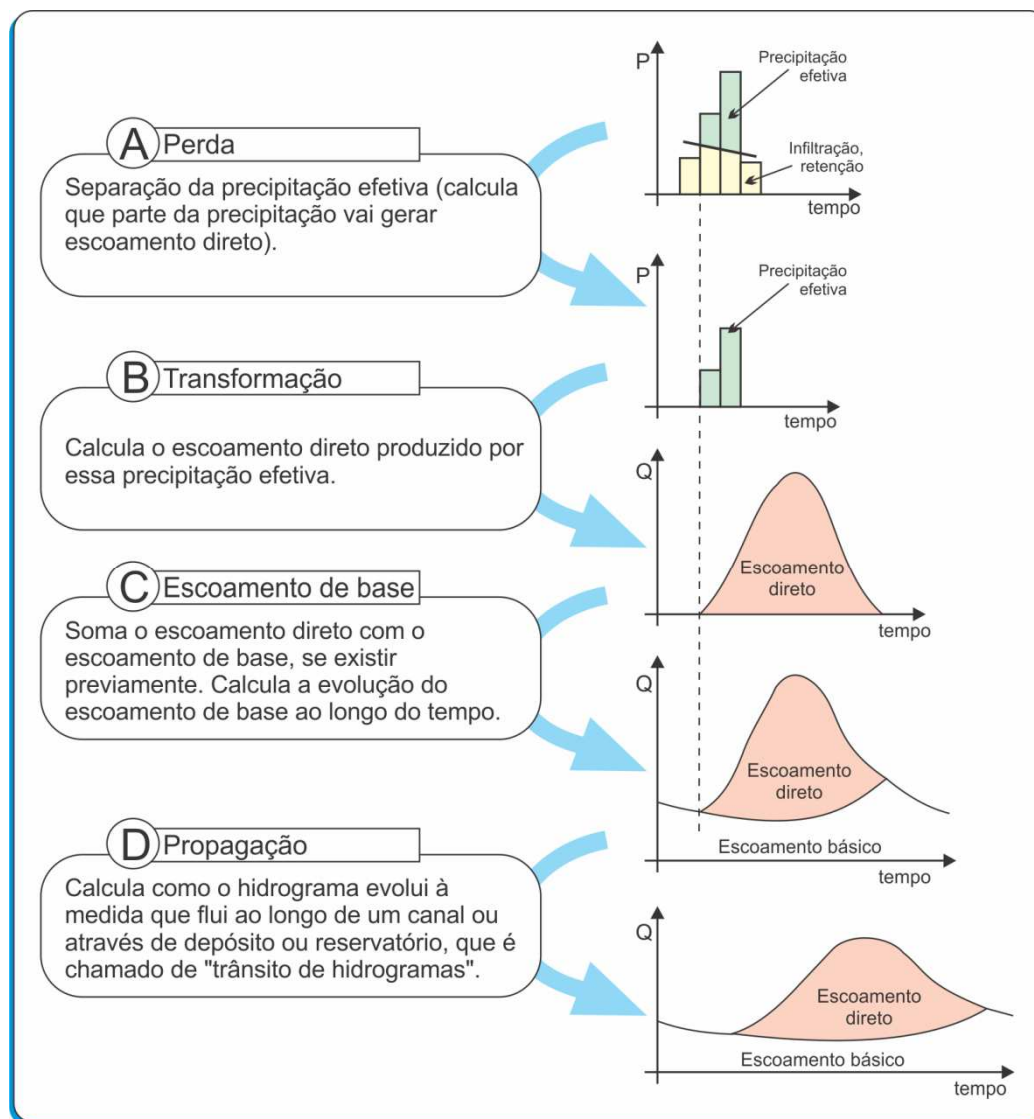


Figura 4 – Fases de cálculo do modelo hidrológico HEC-HMS (Román, 2009)

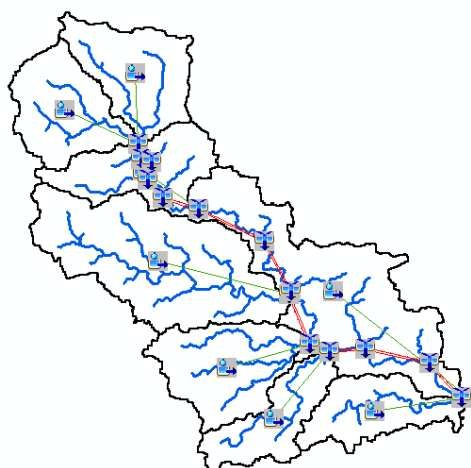


Figura 5 – Modelo esquemático da bacia de drenagem de Santana do Mundaú

Resumidamente, o modelo HEC-HMS é constituído por três componentes: o Modelo de Bacia, o Modelo Meteorológico, e as Especificações de Controle (USACE-HEC, 2008a).

Segundo Tavares & Castro (2005), o processamento do modelo hidrológico no HEC-HMS requer inicialmente a entrada de dados da bacia hidrográfica, bem como dados meteorológicos. Posteriormente, são escolhidos os métodos para o cálculo das perdas, de transformação chuva-vazão, de composição do escoamento de base, de propagação em rios; considerando parâmetros relacionados a tais métodos, como a área das sub-bacias, tempo de concentração, fatores de perda por infiltração, evapotranspiração, e perdas em sumidouros.

Estes mesmos autores relatam que a composição de um projeto no HEC-HMS é realizada de maneira modular, em que conjuntos de dados podem ser independentemente manipulados, mas que respeitam uma seqüência de acionamento para a realização de simulações. As informações são, então, agrupadas nos três componentes supracitados:

a) Modelagem da bacia hidrográfica: nesta categoria são inseridos e manipulados os dados referentes à geometria da bacia hidrográfica, sendo representado o esquema hidrológico da área, com as sub-bacias, os trechos de rios, possíveis reservatórios, junções e divisões dos canais. Inclui, neste componente, a definição dos métodos e respectivos parâmetros referentes a perda por infiltração, evaporação, interceptação, os métodos de transformação chuva-vazão, de cálculo do escoamento de base e propagação em rios;

b) Modelagem meteorológica: constitui na entrada dos dados de precipitação e evapotranspiração, sendo selecionado o método de distribuição temporal destes;

c) Especificações de controle: refere-se aos períodos de tempo para os quais serão realizados os cálculos, incluindo data e horário de início e fim do determinado período, bem como o intervalo ou “passo” de computação dos dados.

Conforme Milde et al. (2002), o modelo assume que uma bacia hidrográfica é reproduzida como um grupo interligado de áreas, e os processos hidrológicos podem ser representados pelos parâmetros que refletem as condições médias dentro da área. Se essas médias não forem apropriadas para uma sub-área, será necessário considerar sub-áreas menores, nas quais os dados médios possam ser aplicados. Os autores apontam ainda algumas limitações do modelo como: a) as simulações devem preferencialmente referir-se a eventos isolados de chuva devido ao fato de não ser feita nenhuma provisão para recuperação da umidade do solo durante períodos sem precipitação; b) os resultados do modelo são em termos de descarga; c) o direcionamento da onda de cheia é calculado por métodos de direcionamento hidrológico e não refletem as equações de St. Venant.

Os dados das 33 estações pluviométricas e da estação fluviométrica de Santana do Mundaú foram inseridos por meio do sistema de armazenamento de dados Hydrologic Engineering Center

Data Storage System (HEC-DSS). Esta forma de armazenamento dos dados facilitou de forma ágil e eficiente a entrada dos dados no modelo. E toda modificação realizada nos dados é automaticamente atualizada nas entradas do modelo, dispensando a entrada manual.

Já os dados de evapotranspiração foram colocados manualmente. Foi usado um único posto para toda a bacia de drenagem de Santana do Mundaú, o posto de Garanhuns (1964-1993) do banco de dados da SUDENE. As médias mensais foram calculadas a partir da série histórica dos dados de evaporação no tanque, e usado o coeficiente de transformação no valor de 0,75 (**Tabela 2**).

Tabela 2 – Série histórica do Posto Garanhuns (SUDENE)

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1964							61.2	82.7	129.3	201.5	239.8	225
1965	193.4	186.2	209.3	149.4	101.4	102.3	89.5	88.8	132.7	185.7	179.5	205.5
1966	186	149.9	158.1	141.4	124	89.8	67.8	116.6	126.7	211.4	201.8	197
1967	236.2	190.9	196.2	154.8	66.2	83.3	68.2	119.9	124.4	165.7	223.7	221.4
1968	206.8	205.2	148.7	148.9	63.6	31.9	30.9	98.3	123.9	215	172.5	99.1
1969	189	178.9	147.1	126.5	127.5	97.7		148	161.7	121.6	239.3	8.7
1970	180.5	139.3	58.1			59.6	39.5	117.3	171	229.6	226.2	237.9
1971	211.8	191.8	197.9	158.7	58.9	78.4	43.4	120	117	166	223.1	238
1972	179.2	188.2	154.4	132.8	91.9	80.6	98.8	125.4	142.9	184.5	234.5	211.7
1973	185.4	161.8	192.6	128.4	137.5	67.7	87.8	124.7	119.7	160.6	223.6	215.4
1974	192.9	153.3	137.2	92.9	84.4	101.9	88.2	112.1	140	221	176.9	200
1975	177.1	190.1	165.7	158.6	42.3	83.7	39.7	99.1	129.6	188.6	233.6	184
1976	218	161.7	169.8	108.8	91.1	86.5	90.5	146.5	179.9	144.3	214.5	200.9
1977	203.3	166.5	167.2	115.2	55.6	44.9	59.3	124.1	158.3	191.3		202.9
1978			144		103	86.4	113.6	117.5	117.7	170.9	216.6	201.5
1979	202.9	176.7	180.2	163	103.2	61.6	47.1	126.1	136.1	189.1	219.5	263.1
1980	184.6	163.9	137.8	117.2	116.8	115.7	106.9	122.1	172.4	59.2	187.5	232
1981	215.3	167	205.5	152.8	91.2	93.1	102.2	97.1	125.5	231.1	211.8	198.1
1982	207	149	212.9	144.9	89.3	68.7	84	34.3		67.5	237.8	246.9
1983	267.9	115.6	196.2	167.5	161.8	151.3	155.4	136.8	198.1	211.8	259.6	256.9
1984	262.3	263.8	197.2	149	120.6	97	112.4	117.8	140.8	194.6	194.3	256.2
1985	226.1	180.6	177.8	111	126.8	77.1	79.7	104.3	155.9	217.5	213.7	218
1986	207.8		167.3	147	113.6	78.9	85.1	124.2	118.7	164.5	193	183.7
1987	226.4	182.1	205.9	128.5	144.1	79.7	109.5	150.3	167.2	195.4	259.6	249.7
1988	226.4	205.7	192.1	107.8	54.5	78	73.6	89.4	138	192.1	188.1	209.1
1989	184.2	208.5	224.2	148.9	107	68.8	71.7		145.6	212.1	177.9	153
1990												83.7
1991	215.4	196.9	134.3	177.4	138.6	71.4		98.8	125.4		92.6	262.6
1992	147.9	103.6	113.9	144.6	141.7	45.1	35	83.4	92.3	194.5	211.8	225.6
1993	213.8		230.1	202.3	177.7	124.1	134.1					
	5547.6	4377.2	4821.7	3678.3	2834.3	2305.2	2175.1	3025.6	3790.8	4887.1	5652.8	5887.6
	27	25	28	26	27	28	27	27	27	27	27	29
MÉDIA	205.5	175.1	172.2	141.5	105.0	82.3	80.6	112.1	140.4	181.0	209.4	203.0
ETP (0,6)	123.3	105.1	103.3	84.9	63.0	49.4	48.3	67.2	84.2	108.6	125.6	121.8
ETP (0,7)	143.8	122.6	120.5	99.0	73.5	57.6	56.4	78.4	98.3	126.7	146.6	142.1
ETP (0,75)	154.1	131.316	129.1527	106.1048	78.73056	61.74643	60.41944	84.04444	105.3	135.7528	157.0222	152.2655

No presente trabalho, foi empregado o método *Soil Moisture Accounting (SMA)*, para o cálculo do balanço hídrico no solo (*Loss Method*), o método do *Hidrograma Unitário SCS* para a propagação do escoamento na superfície da bacia (*Transform Method*), o método do *Reservatório Linear* para a propagação do escoamento subterrâneo (*Baseflow Method*) e o método de Muskingum Cunge para a propagação no canal (*Routing Method*). O método SMA utiliza reservatórios para representar o armazenamento e o movimento da água na camada superficial do solo, na camada superior da zona saturada e na camada inferior da zona saturada.

O HEC-HMS requer a entrada de certos parâmetros que foram obtidos no próprio “Arc Map 10” com o uso do aplicativo “HEC-GeoHMS 10.0” no pré-processamento dos dados. Dentre eles: área da bacia, comprimento do rio principal (L), comprimento do rio principal desde o ponto mais

próximo do centróide da bacia até o exutório (L_{cg}), declividade da Bacia (S). No entanto, a necessidade por um ou outro parâmetro é determinada em função da escolha dos métodos de cálculo disponíveis no HEC-HMS (perdas, transformação, fluxo base, propagação, armazenamento).

O tempo de concentração de cada uma das 8 sub-bacias foi calculado, a parte, pela fórmula de Kirpich, para que pudesse calcular o tempo de resposta das bacias (lag time), também requerido pelo programa, conforme abaixo:

$$T_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (1)$$

Onde: T_c é o tempo de concentração (min);

L é o comprimento do rio (km);

H é a diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e a seção principal.

$$LagTime = 0,6(T_c) \quad (2)$$

Onde: Lag Time é o tempo de resposta da bacia (min);

T_c é o tempo de concentração (min).

Depois da escolha dos métodos de cálculo, calculado alguns parâmetros e feitas as importações necessárias ao modelo, começou o ajuste dos parâmetros de entrada para a calibração.

A metodologia empregada neste trabalho para determinar a relação chuva-vazão consistiu em quatro etapas: simular hidrogramas sintéticos, compará-los com os respectivos hidrogramas observados, ajustar os parâmetros de simulação e, avaliar os resultados segundo os seguintes critérios:

- Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Q_{Obs} - Q_{Cal})^2}{\sum (Q_{Cal} - Q_{Obs})^2} \quad (3)$$

Onde: Q_{Obs} é a vazão observada (m^3/s);

Q_{Cal} é a vazão calculada;

- Vazão máxima;
- Dia de ocorrência da vazão máxima;

No item a seguir serão mostrados os resultados das avaliações feitas no modelo hidrológico da bacia em estudo.

4 – RESULTADOS

A princípio foram feitas simulações isoladas dos eventos previamente escolhidos (1994, 1997, 2000, 2005 e 2008). Concluída a fase de simulação dos hidrogramas sintéticos foi necessário compará-los com os hidrogramas reais ocorridos durante os eventos de chuva (hidrogramas observados). A obtenção dos hidrogramas observados foi através da série histórica de vazões da estação fluviométrica de Santana do Mundaú, já complementada até 2010 através da transformação do nível da água do rio em vazão por meio da curva-chave.

Após várias tentativas de ajuste dos parâmetros observou-se que os eventos precisavam ser divididos em grupos já que alguns eventos apresentavam vazões calculadas maiores que as observadas, tornando-os mais parecidos e melhores de serem ajustados juntos. Então, os eventos foram divididos em dois grupos para facilitar o ajuste dos parâmetros para calibração. O grupo 1 ($Q_{Cal} > Q_{Obs}$) ficou com os eventos de 1997, 2005 e 2008 e o grupo 2 ($Q_{Cal} < Q_{Obs}$) com os eventos de 1994 e 2000. Este último grupo foi difícil de ser ajustado, pois o evento 1994 ficou com uma vazão calculada muito abaixo da observada, mesmo ajustando os parâmetros (**Figura 6**).

Então, foi descartado o evento de 1994 e foi colocado o evento de 2000 no grupo 1. Os parâmetros foram novamente ajustados agora com quatro eventos. Os resultados podem ser vistos nos hidrogramas apresentados na **Figura 7**, **Figura 8**, **Figura 9**, **Figura 10**.

Para cada ajuste foi calculado o coeficiente de Nash e Sutcliffe, que segundo SILVA *et al.* (2008 apud MACHADO, 2003) é um dos mais importantes critérios estatísticos para avaliar a precisão de modelos hidrológicos. Os coeficientes de Nash e Sutcliffe calculados para cada evento após o ajuste final são mostrados na **Tabela 3**.

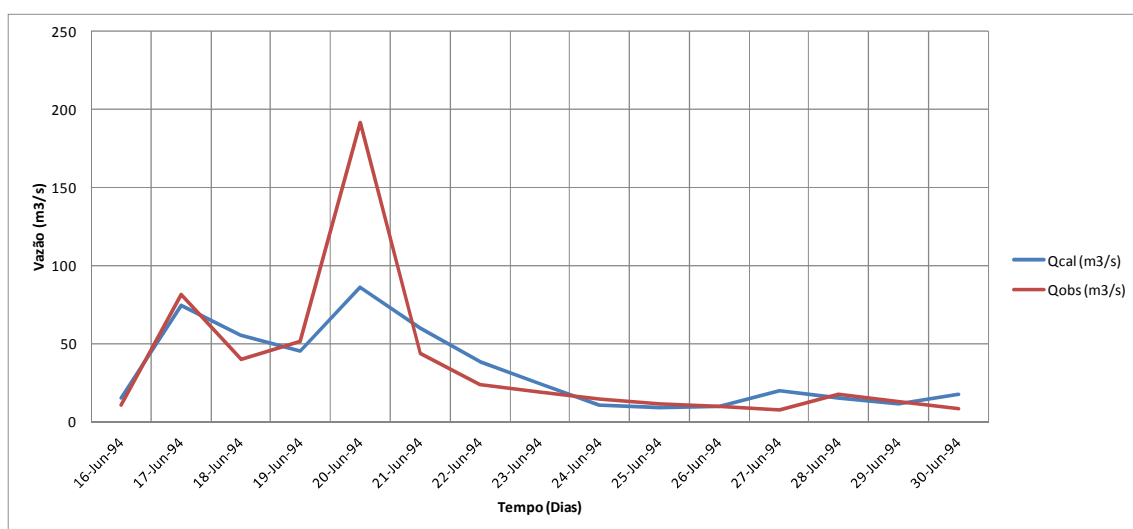


Figura 6 – Hidrograma de cheia entre os dias 16/06/94 a 30/06/94

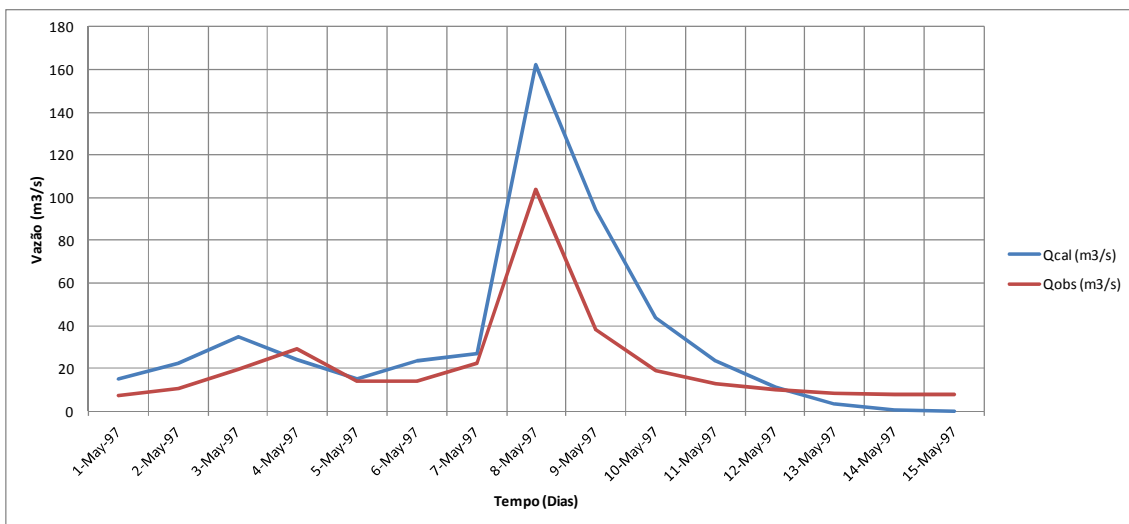


Figura 7 – Hidrograma de cheia entre os dias 01/05/97 a 15/05/97

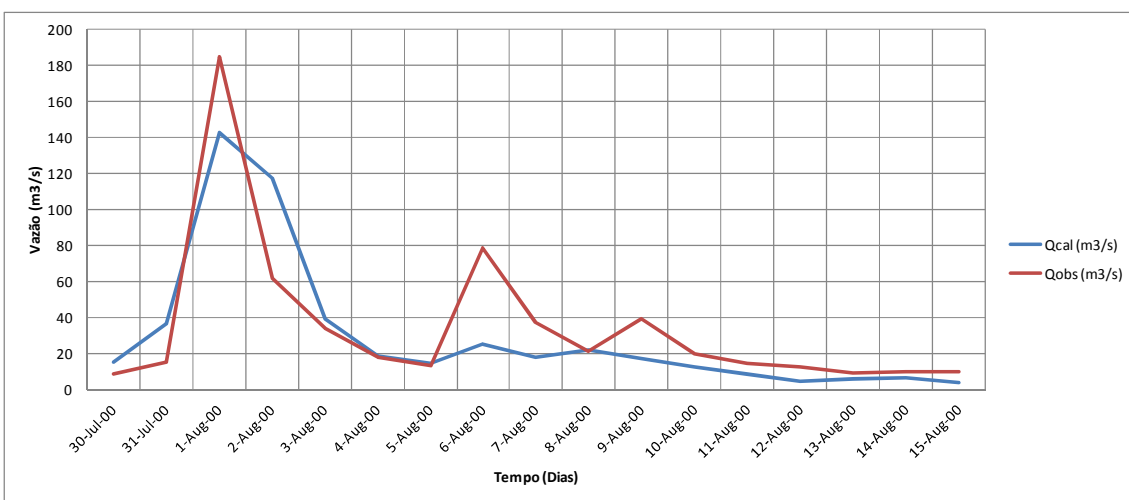


Figura 8 – Hidrograma de cheia entre os dias 30/07/00 a 15/08/00

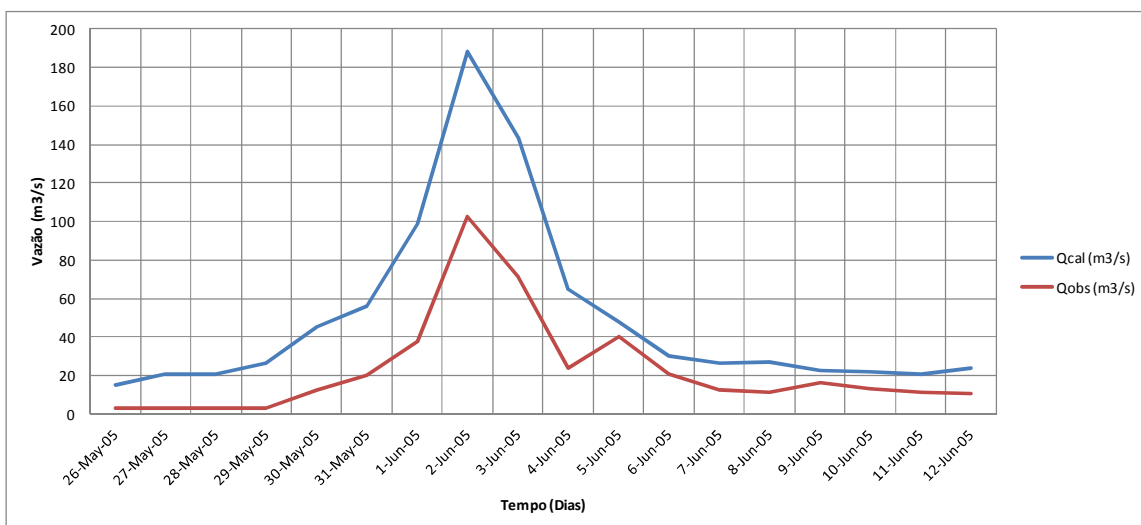


Figura 9 – Hidrograma de cheia entre os dias 26/05/05 a 12/06/05

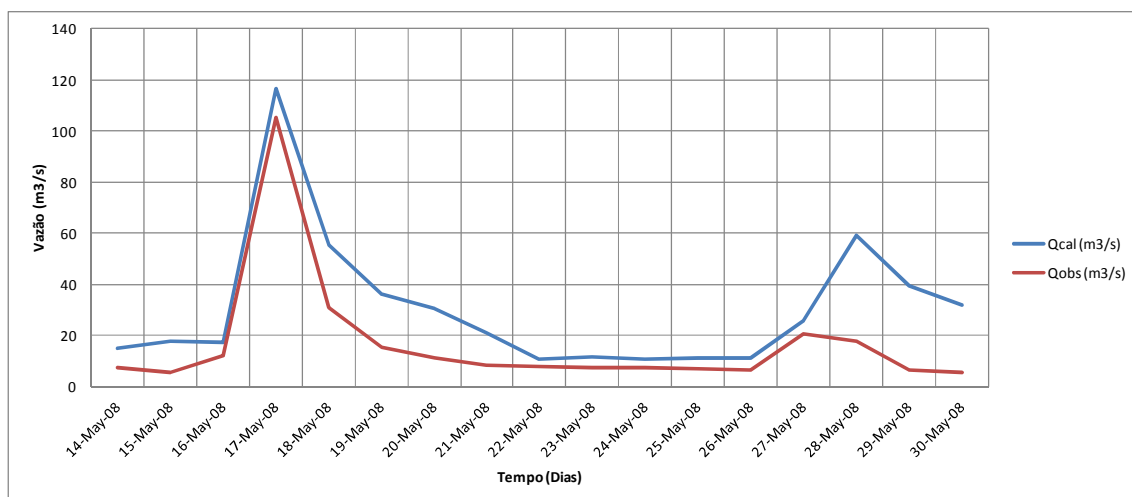


Figura 10 – Hidrograma de cheia entre os dias 14/05/08 a 30/05/08

Tabela 3 – Coeficientes de Nash e Sutcliffe calculados para cada evento

1º Evento: 1994	2º Evento: 1997	3º Evento: 2000	4º Evento: 2005	5º Evento: 2008
16/06/94 a 30/06/94	01/05/97 a 15/05/97	30/07/00 a 15/08/00	26/05/05 a 12/06/05	14/05/08 a 30/05/08
$R^2 = 0,0337$	$R^2 = 0,7116$	$R^2 = 0,6596$	$R^2 = 0,6271$	$R^2 = 0,7487$

O coeficiente R^2 pode variar a partir de negativo infinito até 1, sendo 1 um ajuste perfeito. O valor de R^2 é fortemente influenciado por erros nas vazões máximas, razão por que, quando R^2 é próximo de 1, o modelo está obtendo bom ajuste para as cheias. O desempenho de um modelo é considerado adequado e bom se o valor de R^2 supera 0,75, e é considerado aceitável se o valor de R^2 fica entre 0,36 e 0,75 (Collischonn, 2001 apud SILVA *et al.*, 2008).

Os resultados da calibração do modelo HEC-HMS mostraram-se satisfatórios, pois segundo os critérios adotados o coeficiente de Nash e Sutcliffe ficou na faixa considerado aceitável, a vazão máxima calculada acompanhou os picos de vazões medidos e, houve a coincidência nos tempos de ocorrência da vazão máxima.

5 - CONCLUSÕES

Este trabalho abordou o estudo hidrológico da bacia de drenagem de Santana do Mundaú através de simulação matemática utilizando o HEC-HMS. Nota-se, a partir dos hidrogramas gerados, que o HEC-HMS foi adequado para a modelagem hidrológica quando empregados os métodos do Soil Moisture Accounting Loss para o cálculo de perdas, o de Hidrograma Unitário SCS para transformação chuva-vazão, e o de Reservatório Linear para o escoamento de base, obtendo, assim resultados capazes de representar os processos hidrológicos, embora superestimando a vazão de pico.

Quanto aos parâmetros de simulação, destaca-se como bastantes sensíveis na calibração: percentual do solo (Soil %), máxima infiltração (maximum infiltration), impermeabilidade do solo (impervious %), armazenamento do solo (soil storage mm), armazenamento da camada subterrânea 1 (groundwater 1 storage mm) e coeficiente desta camada (GW1 coefficient).

Apesar dos bons resultados obtidos pela simulação, não é possível afirmar que foi determinada a relação chuva-vazão da bacia, ou seja, a validação dos parâmetros, pois os valores médios dos parâmetros de cada sub-bacia são representativos de apenas quatro simulações. Sendo de interesse validar a configuração deste modelo, seriam necessárias mais simulações.

O HEC-HMS é uma boa ferramenta na construção de hidrogramas sintéticos e na previsão de cenários futuros, apresentando resultados satisfatórios nas simulações deste estudo. Outra vantagem do uso do modelo é a rápida resposta nos resultados, quando na alteração dos parâmetros.

BIBLIOGRAFIA

- GONTIJO, N. T. “*Avaliação das Relações de Frequência entre Precipitações e Enchentes Raras por Meio de Séries Sintéticas e Simulação Hidrológica*”. Belo Horizonte: UFMG – Tese de Mestrado, 2007.
- MACEDO, R. L. “*Estudo Hidrológico da Bacia do Rio Negrinho-SC Utilizando o HEC-HMS*”. Trabalho de Conclusão de Curso – TCC, Florianópolis, 2010.
- MILDE, L. C. E.; MORAES, J. M.; MORTATTI, J.; FERRAZ, F. F. B.; GROPPPO, J. “*Modelo Espaço-temporal HEC-HMS: Avaliação na Bacia de Drenagem de Analândia*”. Revista Ciência e Tecnologia, v.10, n.19, p.61-69, 2002.
- SILVA, P. M. O.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; COELHO, G. “*Modelagem da Hidrógrafa de Cheia em uma Bacia Hidrográfica da Região Alto Rio Grande*”. Revista Engenharia Agrícola Ambiental, Campina Grande, v.12, n.3, p.258-265, 2008.
- TAVARES, P. R. L.; CASTRO, M. A. H. de. “*Simulação de Perfis D'água e Planícies de Inundação Relacionados a Diferentes Cenários de Urbanização*” in Anais XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, 2005.
- TUCCI, C.E.M. (1997). *Hidrologia: ciência e aplicação*. EDUSP Ed. da Universidade ABRH Porto Alegre.
- USACE-HEC (a). “Hydrologic Modeling System, HEC-HMS v3.3 – User’s Manual”, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, September 2008.

USACE-HEC (b). “Hydrologic Modeling System, HEC-HMS – Applications Guide”, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, March 2008.

USACE-HEC “Hydrologic Modeling System, HEC-HMS – Technical Reference Manual”. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, March 2000.

Román, F. J. S. S. “*HEC-HMS Manual elemental*”. Departamento de Geologia da Universidade da Salamanca, Espanha, Julho, 2009.