

# HEC-HMS 4.4: Análise de Sensibilidade e Calibração

Maio 2020

Preparado por:

Prof. Dr. Venkatesh Merwade  
Lyles School of Civil Engineering Purdue  
University  
[vmerwade@purdue.edu](mailto:vmerwade@purdue.edu)

Traduzido e adaptado por:

Gabriela Rezende de Souza  
PPG Recursos Hídricos  
UFLA  
[gabriela.souza2@estudante.ufla.br](mailto:gabriela.souza2@estudante.ufla.br)

## Introdução

O objetivo desse material é entender:

- A sensibilidade dos resultados do modelo a diferentes parâmetros;
- Como calibrar o modelo manualmente e utilizando a auto-calibração do HMS.

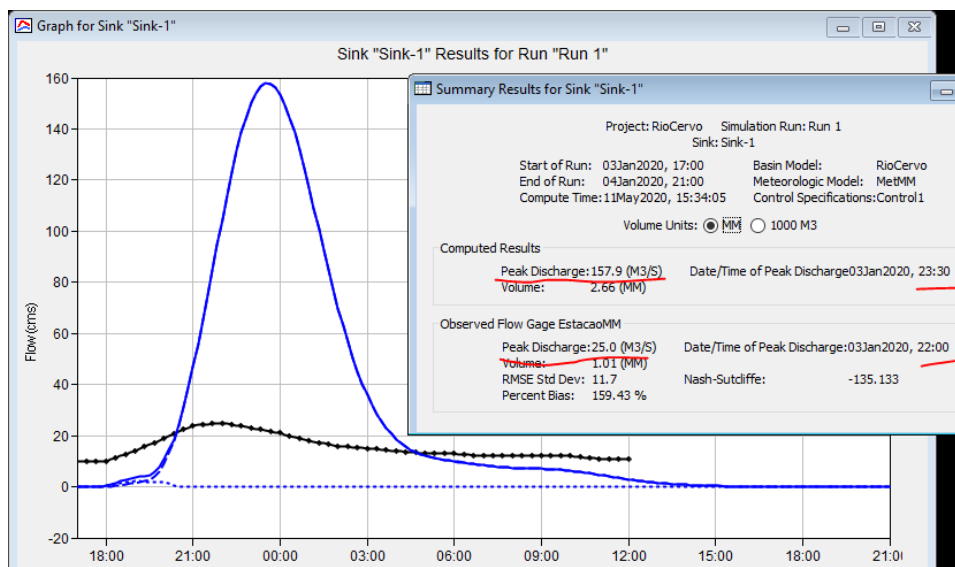
## Dados de entrada

- Vamos precisar dos resultados do Tutorial 1 e da tabela de dados e parâmetros do modelo, disponíveis no link:

<https://drive.google.com/drive/folders/1rLQRI9CulgpXLtWamnTWqGawoYSzzz-u?usp=sharing>

## Análise de sensibilidade no HEC-HMS

A análise de sensibilidade é realizada para entender como os resultados do modelo reagem a mudanças nos parâmetros utilizados na modelagem. Alguns parâmetros têm maior impacto nos resultados, então o objetivo é encontrar esses parâmetros sensíveis. O conhecimento dos parâmetros sensíveis é útil na calibração do modelo, em que tentamos corresponder os resultados simulados com os dados observados. Alguns modelos tem funções acopladas para realizar a análise de sensibilidade, mas aqui vamos tentar fazer isso manualmente para entendermos melhor o que está acontecendo. Vamos dar uma olhada na hidrógrafa do modelo e a observada na estação marechal Mascarenhas.



Nesse resultado nós podemos observar que: (i) o pico do modelo ocorre um pouco depois que o da hidrógrafa observada; (ii) a vazão de pico do modelo é maior que a observada, mas o tempo de base das duas hidrógrafas parece semelhante; (iii) o volume da hidrógrafa simulada é maior que o da observada. Você pode dar uma olhada na tabela de resultados da Foz (*Sink1*) e entender melhor como estão sendo distribuídas as vazões no modelo e nos dados observados.

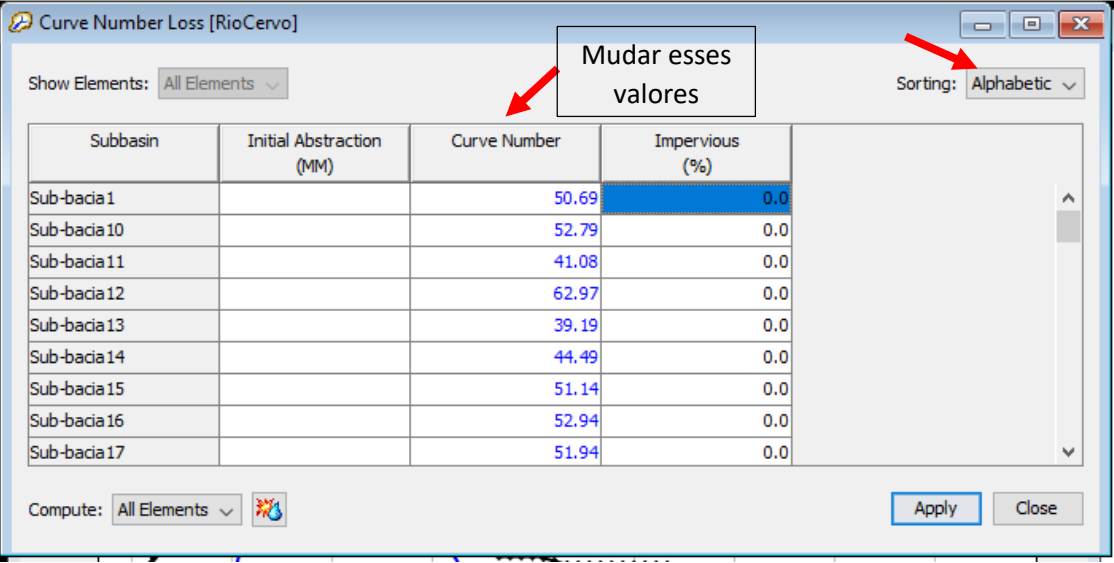
Para ajustar os resultados da simulação, nós podemos focar em apenas alguns parâmetros ou tentar ajustar todos eles. Por exemplo, se a intenção da modelagem é o projeto de obras hidráulicas nós podemos apenas ajustar o modelo para coincidir a vazão de pico e o intervalo de tempo que ela ocorre. Mas se a intenção é o gerenciamento dos recursos hídricos ou construção de barragens de atenuação de cheia, o volume total da hidrógrafa também é importante.

Vamos tentar identificar quais parâmetros influenciam nas características da hidrógrafa do modelo.

### Alterando os valores de CN

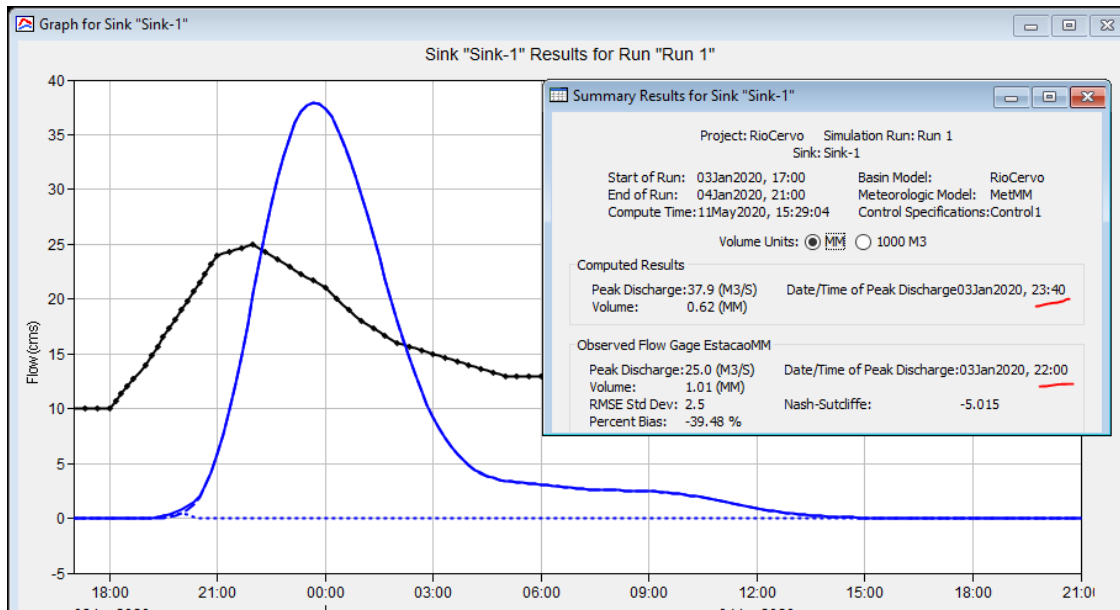
Reduza os valores de CN em 85%

- *Parameters > Loss > SCS CN number*



Subbasin	Initial Abstraction (MM)	Curve Number	Impervious (%)
Sub-bacia1		50.69	0.0
Sub-bacia10		52.79	0.0
Sub-bacia11		41.08	0.0
Sub-bacia12		62.97	0.0
Sub-bacia13		39.19	0.0
Sub-bacia14		44.49	0.0
Sub-bacia15		51.14	0.0
Sub-bacia16		52.94	0.0
Sub-bacia17		51.94	0.0

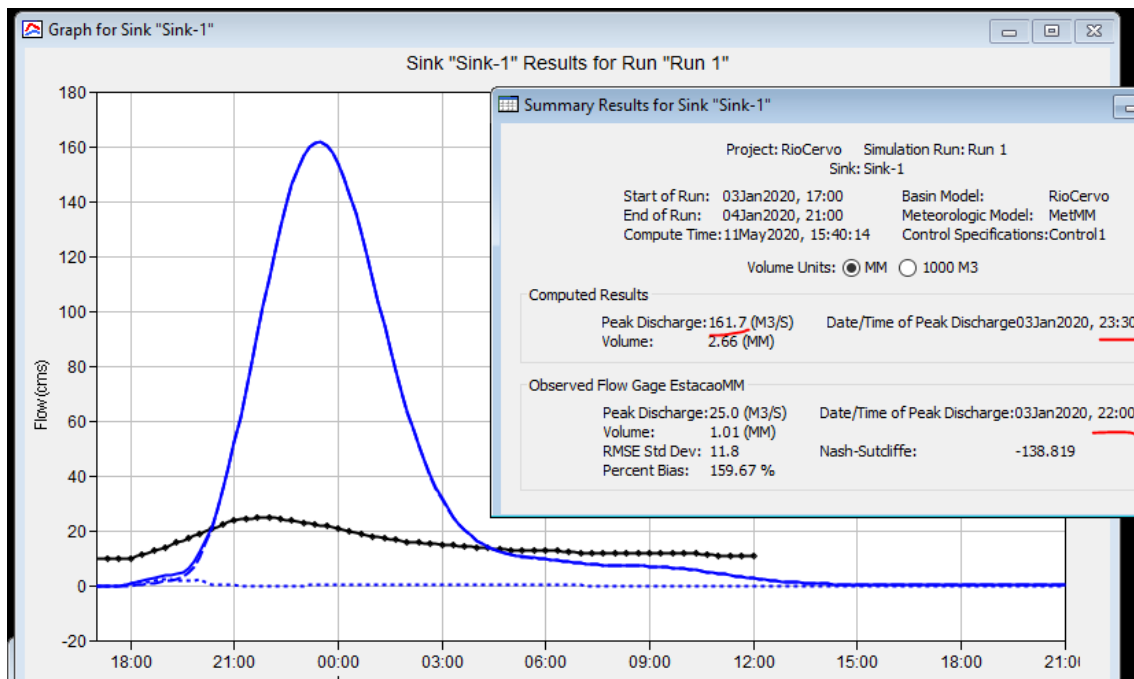
Veja o que acontece com a hidrógrafa e também observe no *Global Summary* o tempo de pico e o valor da vazão de pico.



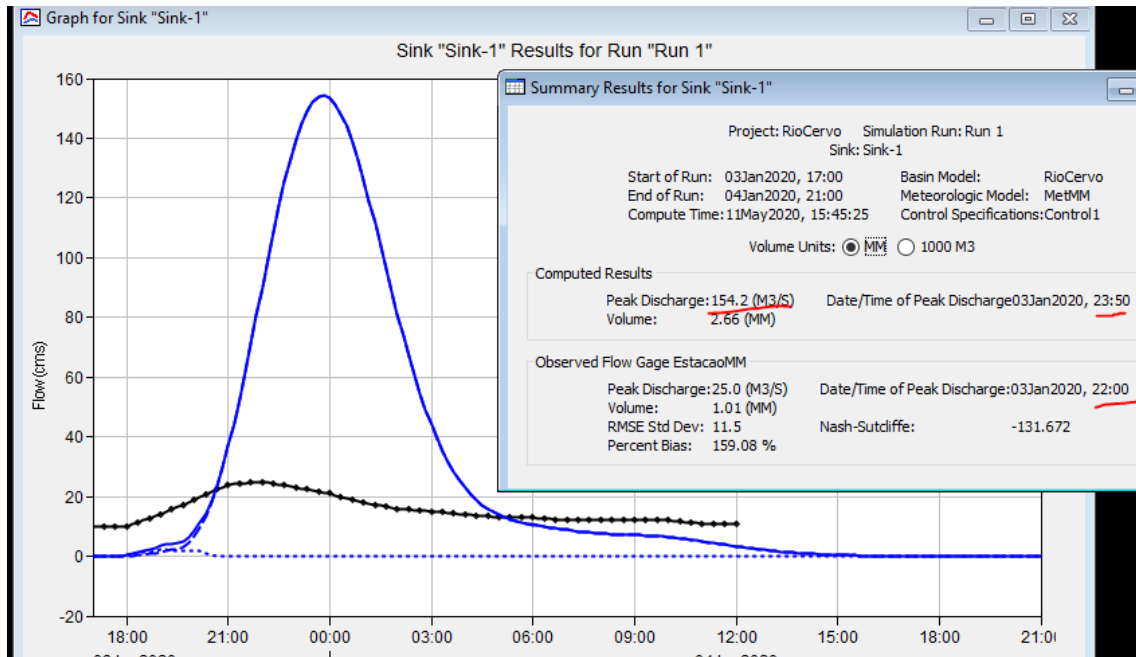
### Alterando os valores de LagTime

Retorne os valores de CN e agora modifique os valores de LagTime, reduza para 80% do valor original (na planilha Excel do material você encontra esses valores).

- *Parameters > Transform > SCS Unit Hydrograph*



Agora entre com os valores de LagTime calculados proporcionalmente à mudança do CN (o cálculo está na planilha). O que aconteceu?



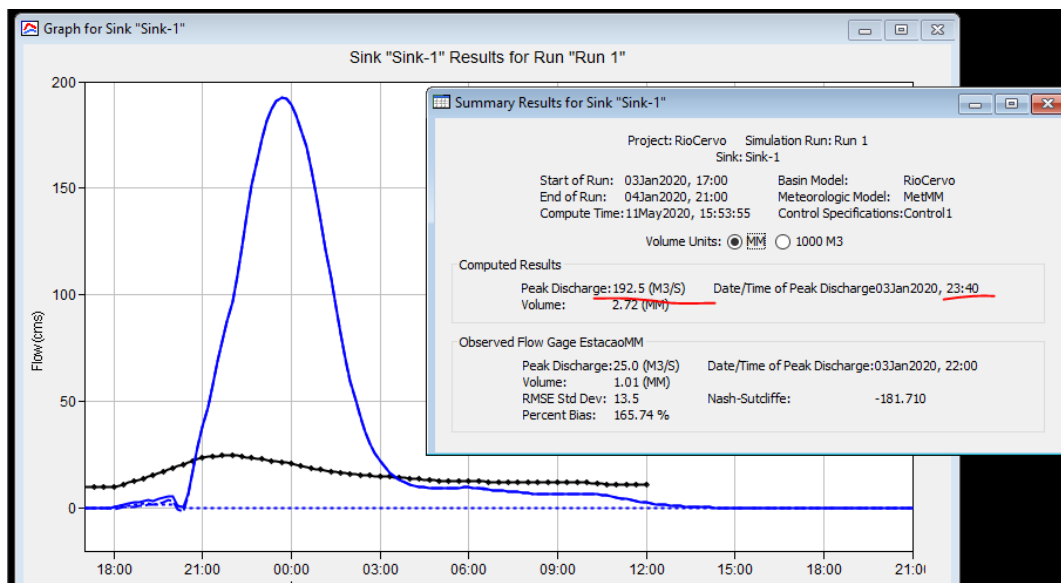
Comparando esses dois parâmetros, qual é o mais sensível a mudanças?

### Alterando os parâmetros de Muskingum

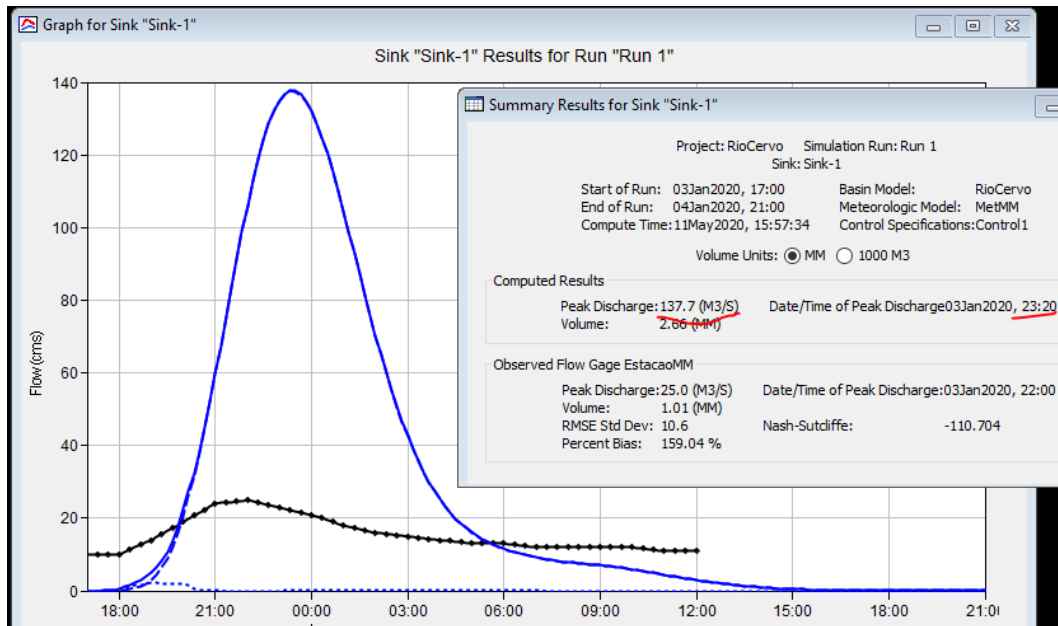
Retorne os valores originais e agora vamos mudar os parâmetros dos rios e ver o que acontece.

Primeiro vamos alterar o valor de X para 0.0 (máxima atenuação da onda de cheia) e depois para 0.5 (sem atenuação). O parâmetro X de Muskingum só pode assumir valores entre 0.0 e 0.5. Mude os valores dentro desse intervalo e veja o que acontece.

X = 0.5

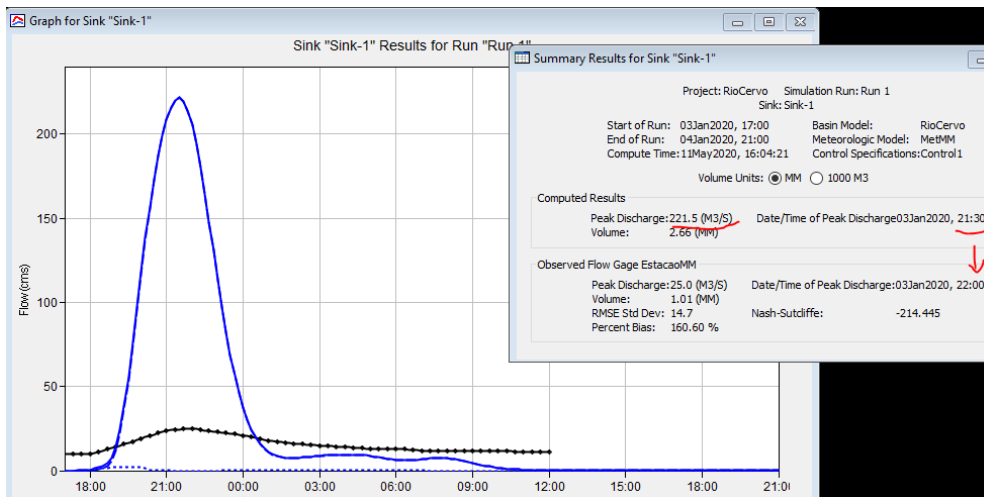


X = 0.0

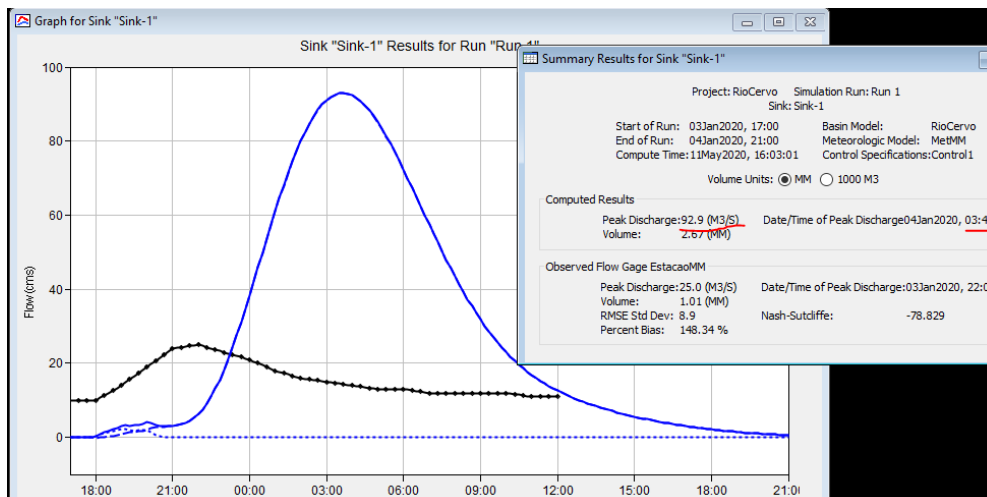


Retorne os valores de  $X = 0.25$  e altere  $K = 0.2$  e depois  $K = 1$ .

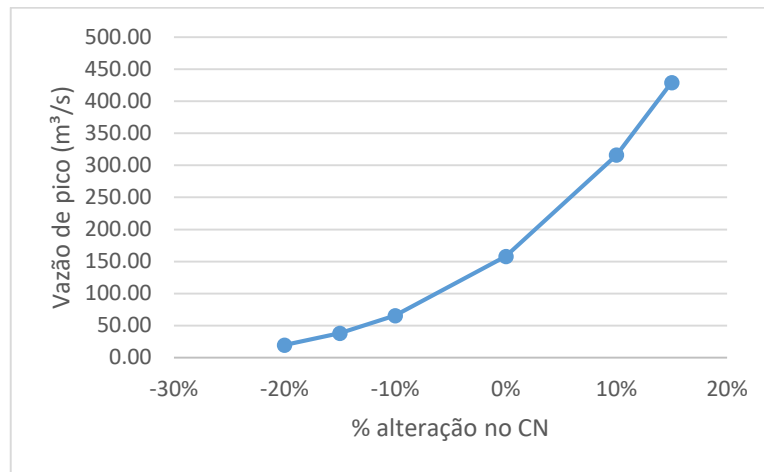
$K = 0.25$



$K = 1.0$



Para entender melhor quais parâmetros tem mais influência sobre o modelo, você pode testar diferentes valores para cada parâmetro e construir um gráfico de % de alteração nos valores por vazão de pico. Como no exemplo a seguir para o CN. Lembre-se que o máximo valor que CN pode assumir é 100.



## Calibração Manual

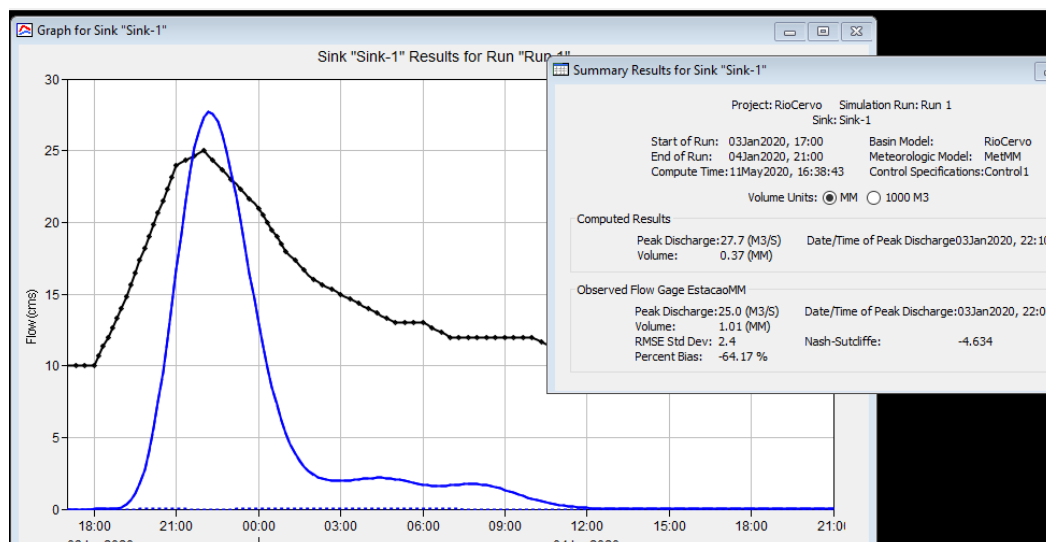
Vamos tentar aproximar as duas hidrógrafas fazendo a calibração manual?

CN reduzir em 19% (0.81CN\_original)

LagTime aumentar em 20% (1.20LagTime\_original)

K = 0.3h

X = 0



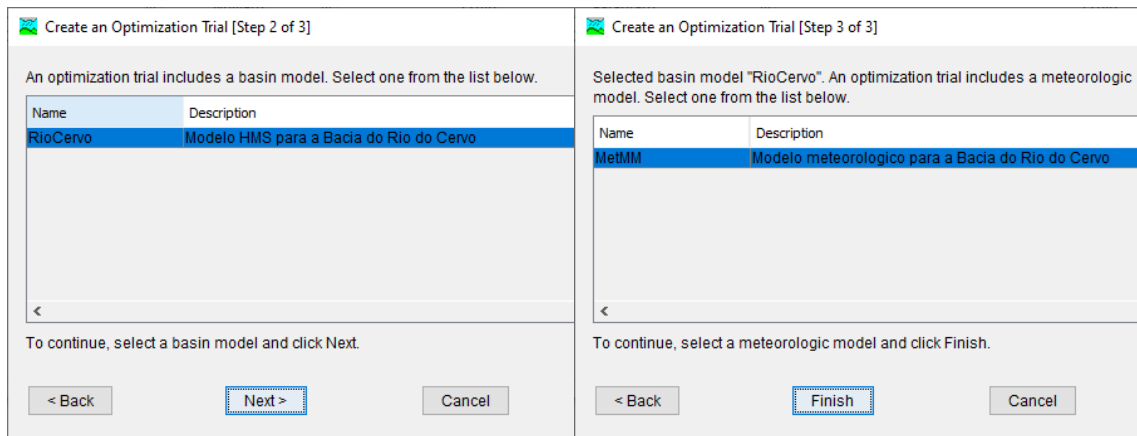
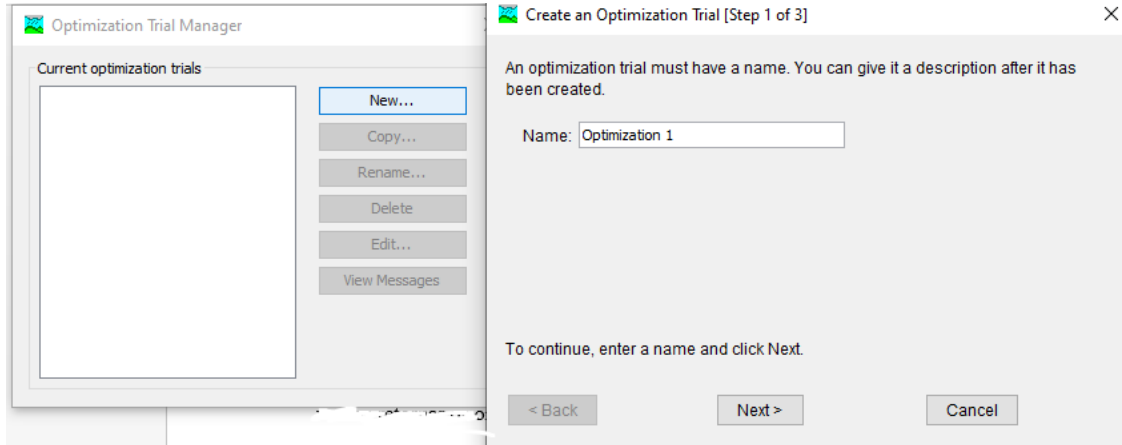
Bem perto né?

## Auto-Calibração no HEC-HMS

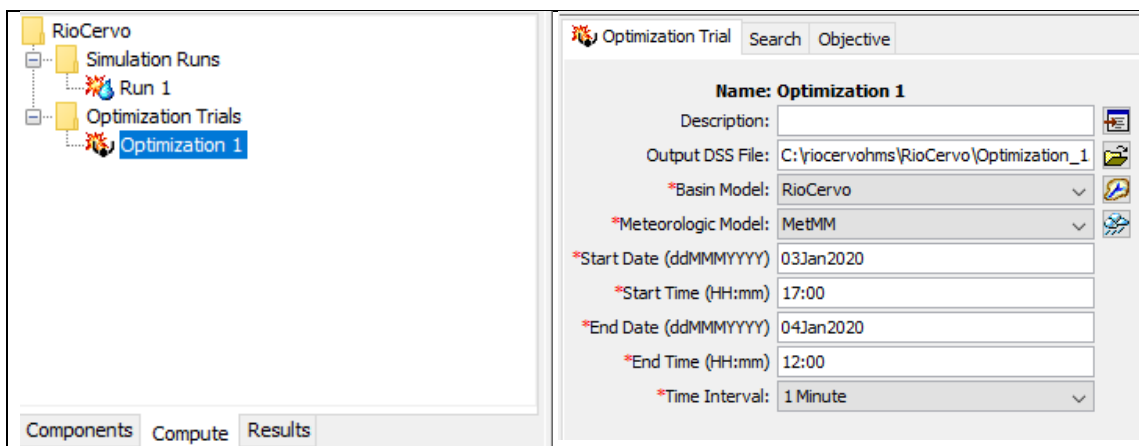
Agora vamos deixar que o software calibre o modelo pra gente. Como os valores de Routing foram “chutes” vamos deixar X = 0 e K = 0.3. Para os valores de CN e Lag Time vamos retornar os originais dados na planilha.

Para isso temos que criar uma *Optimization Trial* (tentativa de otimização)

- 1) *Compute* > *Optimization Trial Manager* > *New*
- 2) Selecione corretamente os modelos
- 3) Clique em *Finish* e feche a janela

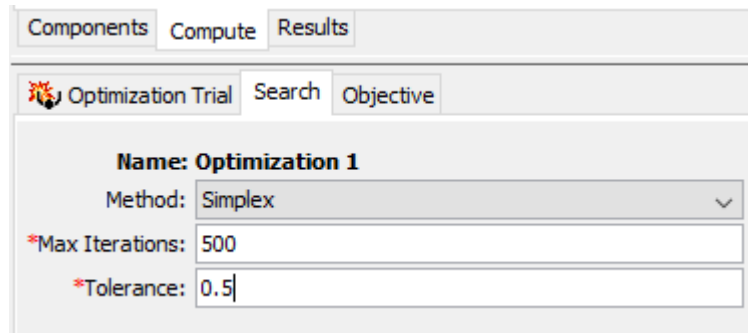


Na aba *Compute*, clique em *Optimization Trials* e expanda para ver a *Optimization 1*, na aba *Optimization Trial* preencha as informações como na figura abaixo, semelhante ao *Control Specifications* (mas aqui estamos terminando a otimização quando terminam os dados de vazão observados).

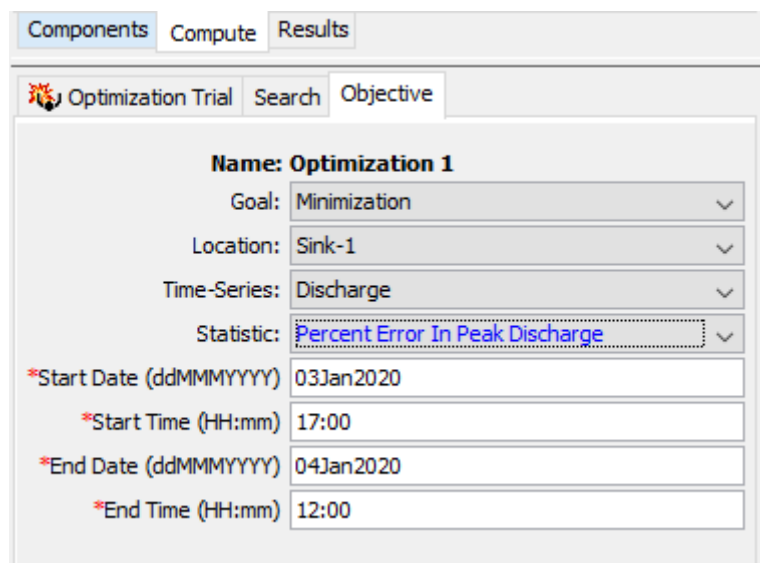


Na aba *Search* para *Optimization Method* escolha *Simplex* com *Max Iterations* = 100 e *Tolerance* = 0.01. No manual do HMS você pode encontrar informações detalhadas sobre os métodos de otimização disponíveis no software

<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/latest>

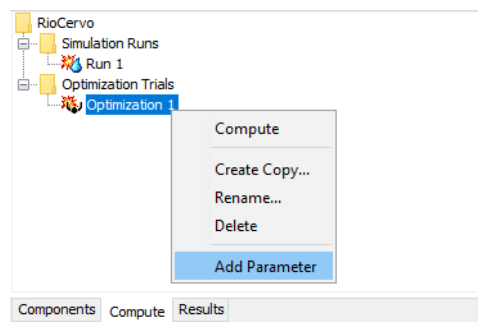


Na aba *Objective Tab* selecione *Minimization* para *Goal* e *Percent Error in Peak Discharge* para *Statistic*. Ou seja, aqui estamos pedindo para a otimização minimizar o erro entre a vazão de pico simulada e a vazão de pico observada. Dependendo do objetivo da sua simulação, a estatística para a otimização deve ser escolhida com cuidado. Mais informações consulte o manual do HMS.



Agora temos que adicionar os parâmetros para serem otimizados.

- 1) Clique com o botão direito em *Optimization1* > *Add Parameter*

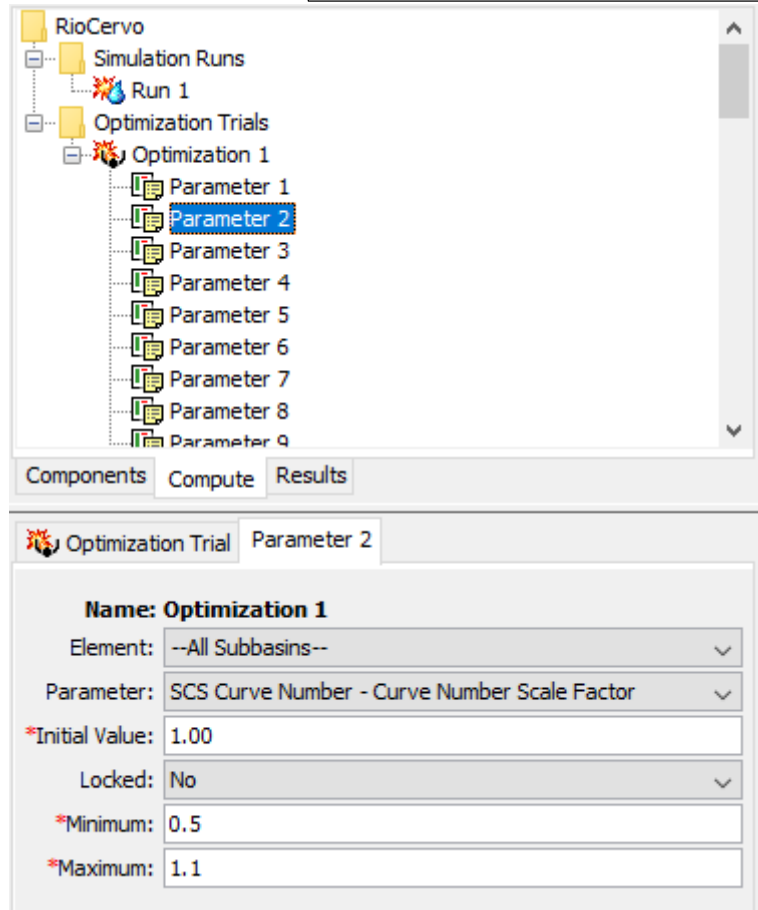




2) Selecione *Parameter1* e na aba escolha

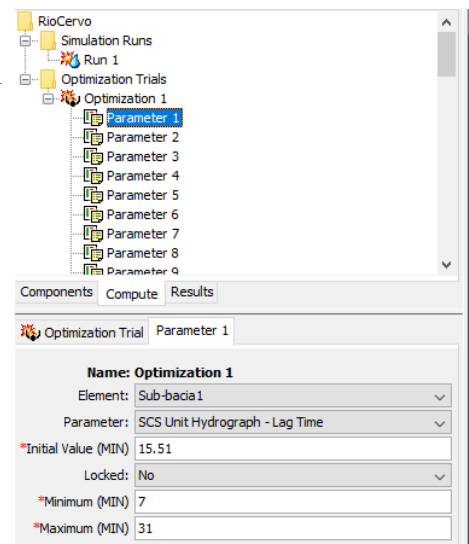
- Element: All Subbasins
- Parameter: SCS Curve Number – Curve Number Scale Factor
- Initial value: 1.0
- Locked: No
- Minimum: 0.5
- Maximum: 1.1

O que estamos dizendo para a calibração é o seguinte: a partir dos valores originais (dados) de CN varie os valores de entre 50% e 110% ( $1.1CN - 0.5CN$ ) para todas as sub-bacias



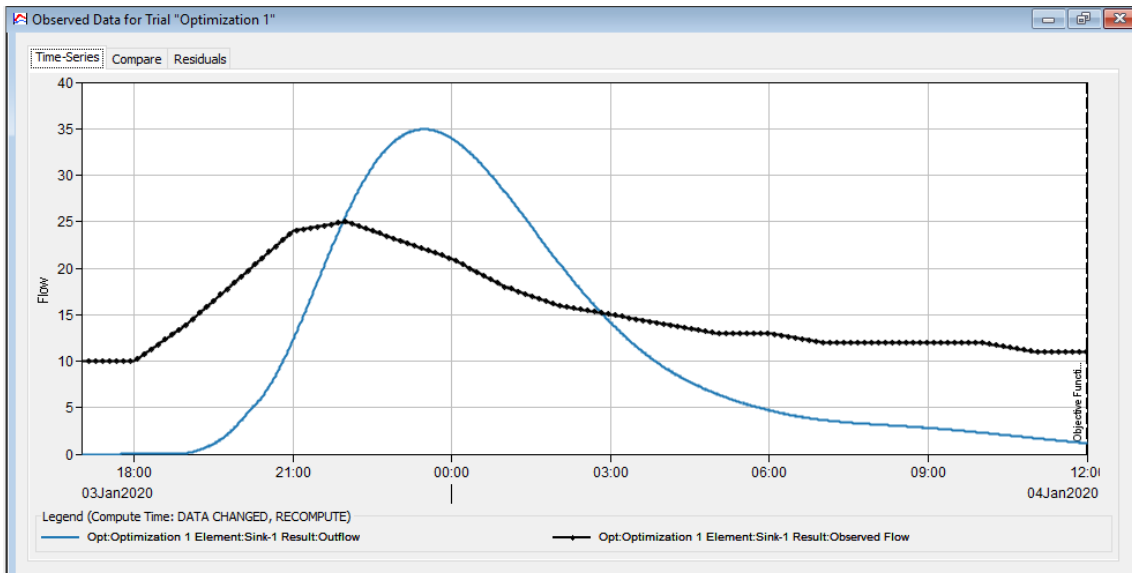
Para os parâmetros LagTime, X e K você vai perceber que não há a opção “All Subbasins” ou “All reaches”. Então temos que adicionar um por um, manualmente. Perceba também que os valores de mínimo e máximo dever ser dados em valores absolutos. Não se esqueça que X deve estar no intervalo de 0.0-0.5.

- Para o LagTime varie os valores entre 50 e 200%. Por exemplo, para a Sub-bacia1 vamos colocar um mínimo de 7 min e o máximo 31 min

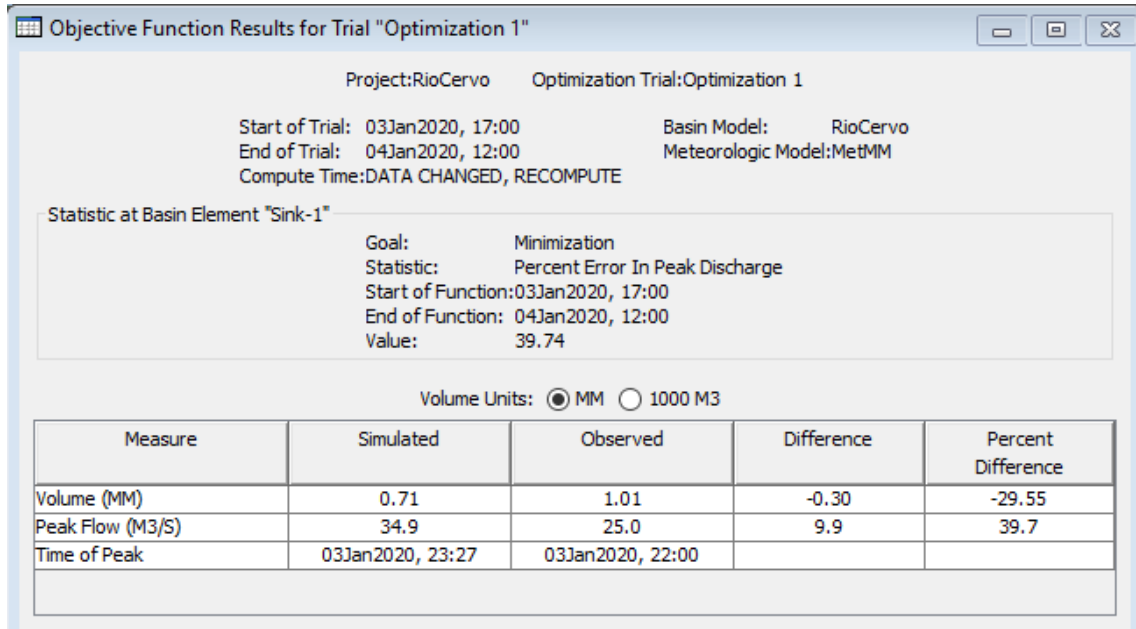


- Para o K use um intervalo de 0.15 a 4 horas (selecione trecho por trecho)
- Vamos deixar o valor de X como 0, mas depois você pode treinar mais alterando outros parâmetros, como o “initial abstraction” para cada sub-bacia também.

Esse foi o resultado da minha auto-calibração. A sua ficou parecida?



Aqui podemos comparar o volume precipitado e a vazão de pico das duas hidrógrafas.



E aqui, quais são os “novos” valores dos parâmetros.

Optimized Parameter Results for Trial "Optimization 1"

Project: RioCervo Optimization Trial: Optimization 1

Start of Trial: 03Jan2020, 17:00 Basin Model: RioCervo  
 End of Trial: 04Jan2020, 12:00 Meteorologic Model: MetMM  
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE

Element	Parameter	Units	Initial Value	Optimized Value
Sub-bacia1	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	15.51	15.509
All Subbasins	SCS Curve Number - Curve Number Scale Factor		1.00	0.83406
Sub-bacia31	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	98.98	83.927
Sub-bacia30	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	83.68	72.047
Sub-bacia27	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	81.31	70.978
Sub-bacia45	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	68.60	59.735
Sub-bacia29	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	93.74	82.245
Sub-bacia25	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	88.22	78.545
Sub-bacia46	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	66.48	60.045
Sub-bacia38	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	70.13	64.227
Sub-bacia19	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	78.22	72.678
Sub-bacia21	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	71.92	67.768
Sub-bacia11	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	72.12	68.895
Sub-bacia33	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	41.54	40.208
Sub-bacia49	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	47.56	46.640
Sub-bacia42	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	37.93	37.622
Sub-bacia9	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	57.07	57.712
Sub-bacia8	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	26.81	27.411
Sub-bacia51	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	27.50	28.426
Sub-bacia35	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	26.44	27.634
Sub-bacia16	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	55.59	58.739

Qual calibração foi mais adequada? Como escolher entre uma ou outra opção? Se tivéssemos usado outro evento de chuva, a auto-calibração poderia ter sido melhor?

É isso, pessoal! Agora vocês já sabem como construir uma simulação hidrológica no HMS e calibrar o modelo 😊