

**Universidade Federal de Santa Maria**  
**Centro de Tecnologia**  
**Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental**

**MODELO DIDÁTICO**

**MHE**

**Manual do Usuário**

**Vitor Geller**  
**Daniel Allasia**  
**Rutinéia Tassi**



## 1. INTRODUÇÃO

Buscando analisar qualitativa e quantitativamente os processos hidrológicos, modelos computacionais vêm sendo desenvolvidos para modelagem hidrológica e hidráulica. Os modelos hidrológicos buscam compreender e simular o comportamento de uma bacia hidrográfica e prever situações diferentes das observadas. Entretanto, a complexidade física da bacia e dos processos envolvidos, bem como a forma de mensurar as variáveis do sistema, tem propiciado um desafio aos profissionais da área de hidrologia, resultando numa infinidade de modelos que buscam responder as diferentes questões ligadas à bacia hidrográfica.

Alguns modelos hidrológicos aplicados à drenagem urbana são consagrados pela literatura, no entanto, apesar da excelência destes modelos, em muitas circunstâncias eles devem ser às adaptados a situações particulares, tais como a modelagem de estruturas diferenciadas ou em cenários específicos. Ainda, no treinamento desses profissionais são necessários alguns modelos que expliquem alguns procedimentos que numa versão com interfase elaborada são perdidos.

O Modelo MHE foi desenvolvido para, de uma forma didática, explicar os processos que envolvem a montagem de um modelo hidrológico. Propositamente foi elaborado com uma interfase de texto, de forma de melhorar o entendimento dos processos hidrológicos por alunos em treinamento.

O MHE é um exemplo de ferramenta computacional que utiliza as funções da biblioteca hidrológica Hydrolib para simular eventos hidrológicos. Para construir um pacote computacional ou um modelo a partir da biblioteca Hydrolib, o usuário precisa escrever uma rotina que deve importar as funções da biblioteca na ordem desejada. Essa rotina pode ser escrita em qualquer linguagem de programação, já que códigos em Python podem ser chamados por rotinas escritas em outras linguagens (LUTZ, 2009, p. 15). Dessa forma, o código do MHE serve de exemplo para que os alunos e pesquisadores possam contruir um modelo hidrológico.

A tela principal do modelo quando executado é descrita na Figura 1.

**7.6 Auxiliar MHE - 1.075**

**INFORMAÇÕES GERAIS DA SIMULAÇÃO**

Numero de intervalos de tempo:

Duração do intervalo de tempo (segundos):

Numero de operações hidrológicas:

Numero de chuvas:

Numero de intervalos de tempo com chuva:

**CENÁRIOS DAS SIMULAÇÕES CHUVA-VAZÃO**

Anos dos cenários desejados:

(Separe cada ano com espaço, ex: 2 5 10 20)

Sair Próximo

Figura 1 – Janela das informações gerais da simulação.

**7.6 Auxiliar MHE - 1.075**

**SELECIONE A OPERAÇÃO HIDROLÓGICA**

☒ Chuva-vazão

☐ Puls Simplificado

Sair Próximo

Figura 2 – Janela de escolha das operações hidrológicas disponíveis.

**7.6 Auxiliar MHE - 1.075**

**OPERACAO N: CHUVA-VAZÃO**

Nome/local da operação:

Usar chuva numero:

Valor estimado do coeficiente CN:

Área estimada da bacia (km<sup>2</sup>):

Tempo de concentração estimado (horas):

Sair Próximo

Figura 3 – Janela das informações específicas das simulações chuva-vazão.

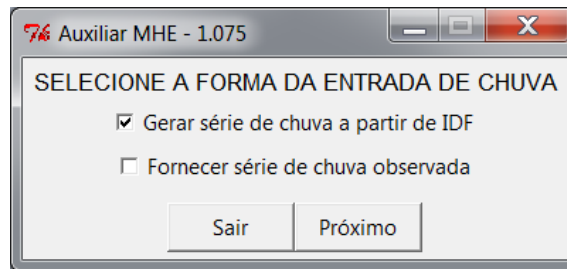


Figura 4 – Janela de escolha de entrada da série precipitação no modelo.

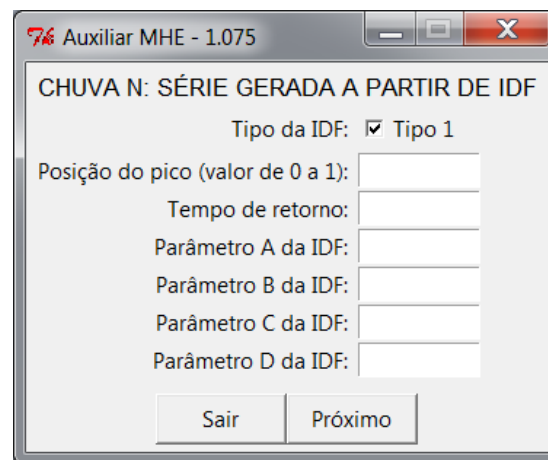


Figura 5 – Janela das informações específicas das séries de precipitação calculadas por equações IDF.

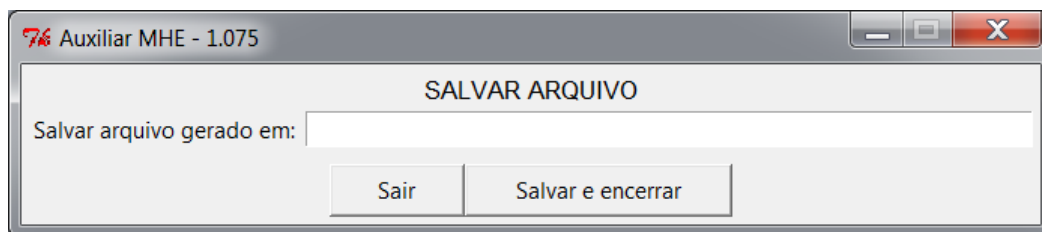
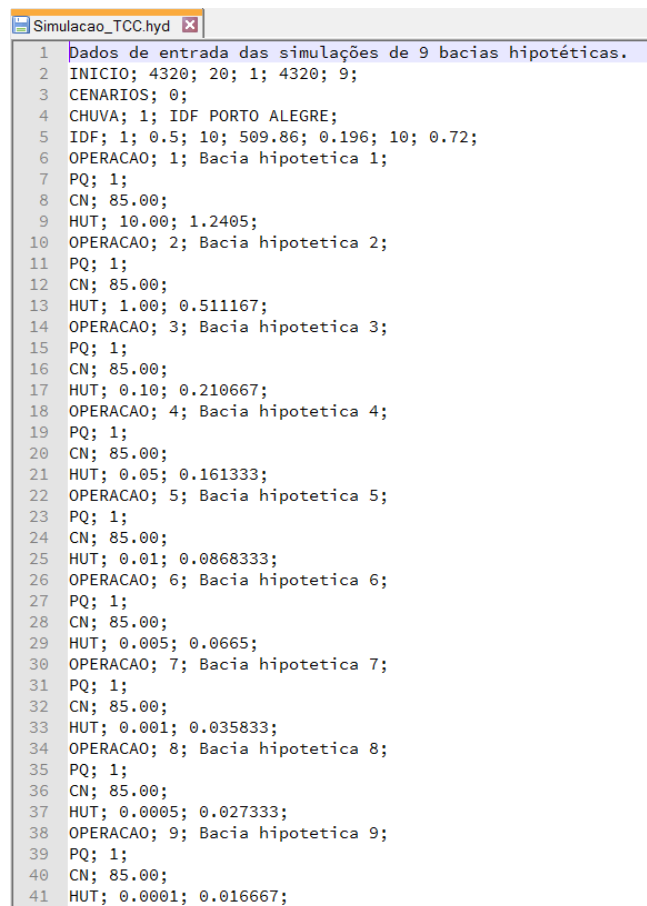


Figura 6 – Janela onde informa-se o diretório que o arquivo de entrada será salvo.

## 2. Estrutura do arquivo de entrada

Para facilitar o entendimento, o arquivo de entrada usado para as simulações deste documento (figura 7) será explicado linha a linha.



```
1 Dados de entrada das simulações de 9 bacias hipotéticas.
2 INICIO; 4320; 20; 1; 4320; 9;
3 CENARIOS; 0;
4 CHUVA; 1; IDF PORTO ALEGRE;
5 IDF; 1; 0.5; 10; 509.86; 0.196; 10; 0.72;
6 OPERACAO; 1; Bacia hipotetica 1;
7 PQ; 1;
8 CN; 85.00;
9 HUT; 10.00; 1.2405;
10 OPERACAO; 2; Bacia hipotetica 2;
11 PQ; 1;
12 CN; 85.00;
13 HUT; 1.00; 0.511167;
14 OPERACAO; 3; Bacia hipotetica 3;
15 PQ; 1;
16 CN; 85.00;
17 HUT; 0.10; 0.210667;
18 OPERACAO; 4; Bacia hipotetica 4;
19 PQ; 1;
20 CN; 85.00;
21 HUT; 0.05; 0.161333;
22 OPERACAO; 5; Bacia hipotetica 5;
23 PQ; 1;
24 CN; 85.00;
25 HUT; 0.01; 0.0868333;
26 OPERACAO; 6; Bacia hipotetica 6;
27 PQ; 1;
28 CN; 85.00;
29 HUT; 0.005; 0.0665;
30 OPERACAO; 7; Bacia hipotetica 7;
31 PQ; 1;
32 CN; 85.00;
33 HUT; 0.001; 0.035833;
34 OPERACAO; 8; Bacia hipotetica 8;
35 PQ; 1;
36 CN; 85.00;
37 HUT; 0.0005; 0.027333;
38 OPERACAO; 9; Bacia hipotetica 9;
39 PQ; 1;
40 CN; 85.00;
41 HUT; 0.0001; 0.016667;
```

Figura 7 – Exemplo de arquivo de entrada do MHE versão 1.075.

Salienta-se que a separação dos dados no arquivo de entrada é feita pelo ponto e vírgula (;), assim, cada linha é discretizada em blocos, que serão explicados em

sequência. Os dados lidos pelo modelo são julgados conforme a linha a que eles pertencem, dessa forma, o usuário deve ter ciência do significado de cada bloco.

Adverte-se que na ausência ou excesso do separador, ou no esquecimento do mesmo no final de cada linha, faz com que o modelo tenha seu funcionamento comprometido. Ressalta-se também, que toda a informação escrita no arquivo de entrada deve ser feita com letras maiúsculas e sem acento, exceto para as linhas de cabeçalho, cuja informação é desprezada.

Assim que o usuário seleciona o arquivo de entrada o modelo começa a ler seu conteúdo. Entretanto, somente a informação contida após a palavra “INICIO”, que deve estar localizado no começo da linha, é armazenada pelo modelo (vide linha 2, figura 11). Isto é feito para proporcionar um espaço onde o usuário possa escrever algumas informações a respeito da modelagem que será realizada (linha 1, figura 11). Este espaço foi nomeado de cabeçalho, sendo de uso opcional e podendo conter várias linhas, já que toda sua informação é desprezada pelo modelo.

Na linha 2, após a palavra “INICIO”, encontram-se 5 valores, que são eles: número de intervalos de tempo; duração do intervalo de tempo (em segundos); número de chuvas da simulação; número de intervalos de tempo com chuva; e número de operações hidrológicas.

Na linha 3, após a palavra “CENARIOS”, é o local onde o usuário deve informar os anos de interesse para simulação de cenários de chuva-vazão. Os anos aqui informados devem ser número inteiros e separados por ponto e vírgula. Caso o usuário não tenha interesse neste tipo de simulação, basta informar zero (vide linha 3, figura 11).

A partir daqui, o número de linhas lida pelo modelo depende dos valores do número de chuvas da simulação e do número de operações hidrológicas (informados na linha 2 deste exemplo). Em função disto, o primeiro bloco da próxima linha (vide linha 4, figura 11) deve esclarecer se a informação corresponde a chuva ou a operação hidrológica, isto é feito com o uso das palavras “CHUVA” e “OPERACAO”.

Caso o primeiro bloco da linha for “CHUVA”, informa-se em seguida o número da chuva. O usuário deve certificar-se de que as chuvas possuem números distintos e em sequência (exemplo: 1, 2, 3, ...). A última informação da linha é opcional, porém, recomenda-se que se escreva alguma característica da chuva para facilitar eventuais

verificações e/ou correções no arquivo. A próxima linha (linha 5, figura 11), deve conter as características desta chuva. As informações contidas nesta linha são:

- a) Caso o primeiro bloco for “IDF”, informa-se em seguida o tipo da equação IDF que será usada (somente um tipo disponível na versão 1.0), posição do pospico (porcentagem decimal), o tempo de retorno (em anos), e os 4 parâmetros da IDF (a, b, c e d).
- b) Caso o primeiro bloco for “OBS”, informa-se em seguida o nome do arquivo que contém os dados observados. Este arquivo deve estar em formato de texto (.txt), conter um dado por linha e estar localizado no mesmo diretório que o modelo.

Caso o primeiro bloco da linha for “OPERACAO” (como ocorre na linha 6, figura 11), o usuário deve informar na sequência o número da operação hidrológica e o nome da bacia que a operação corresponde. Assim como na chuva, o usuário é responsável por verificar se as operações estão enumeradas de forma distinta e sequencial. O último bloco (nome da bacia que a operação corresponde) é usado como título dos gráficos que o modelo é capaz de produzir. A próxima linha (linha 7 do exemplo) deve conter características desta operação.

- a) Como o primeiro bloco da linha (linha 7 neste exemplo) é “PQ”, informa-se em seguida qual das chuvas que esta operação chuva-vazão vai utilizar. Na linha seguinte informa-se o algoritmo de separação do escoamento (nesta versão somente há o método CN do SCS) e o valor do CN no segundo bloco (vide linha 8, figura 11). Na terceira linha informa-se o algoritmo de propagação do escoamento superficial (nesta versão somente há o hidrograma unitário triangular do SCS), em seguida informa-se área da bacia em km<sup>2</sup> e no terceiro bloco, o tempo de concentração da bacia em horas. Há a opção de calcular o tempo de concentração pela equação de Kirpich, para isso basta escrever “KIRPICH” no terceiro bloco, e adicionar outros dois blocos ao final, o primeiro com a diferença de cota em metros, e o segundo com o comprimento do canal em quilômetros.
- b) Caso o primeiro bloco da linha 7 fosse “PULS”, se trataria de uma operação pelo método simplificado de Puls. Como o método não foi testado, sua

entrada de dados é detalhada no manual do MHE. Recomenda-se cuidado ao utilizar esta função, pois sua eficácia ainda não foi avaliada. As demais linhas do arquivo de entrada (linhas 10 até 41, figura 11) são para dar a entrada das demais operações chuva-vazão da modelagem.

### 3. Exemplo de aplicação – Resultados das simulações chuva-vazão em bacias de diferentes escalas

Foi aplicado o modelo em diferentes escalas e os resultados comparados com o IPHS1, verificando as vantagens da precisão extendida usada na programação do Hydrolib e MHE,

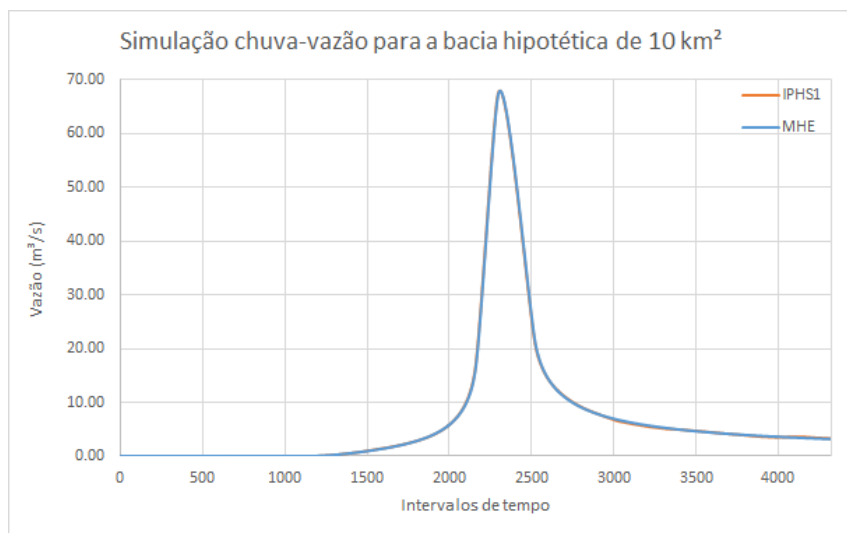


Figura 8— Gráfico dos hidrogramas de projeto da simulação chuva-vazão com área de drenagem de 10 km<sup>2</sup>.





Figura 9 – Gráfico dos hidrogramas de projeto da simulação chuva-vazão com área de drenagem de 1 km<sup>2</sup>.



Figura 10 – Gráfico dos hidrogramas de projeto da simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,1 km<sup>2</sup>.



Figura 11 – Gráfico dos hidrogramas de projeto da simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,05 km<sup>2</sup>.

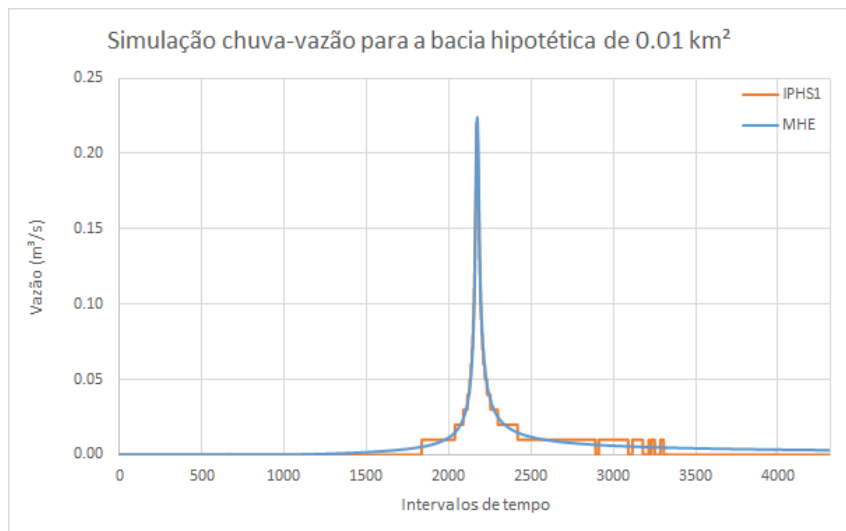


Figura 12 – Gráfico dos hidrogramas de projeto da simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,01 km<sup>2</sup>.

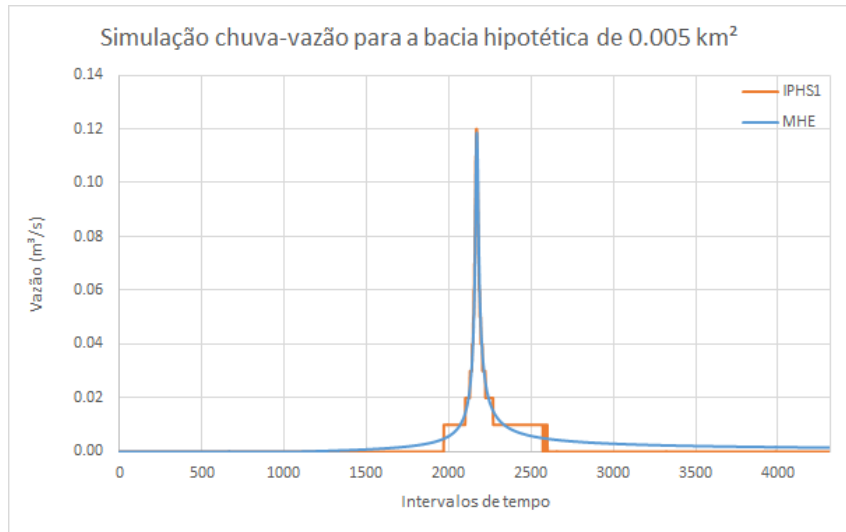


Figura 13 – Gráfico dos hidrogramas de projeto da simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,005 km<sup>2</sup>.

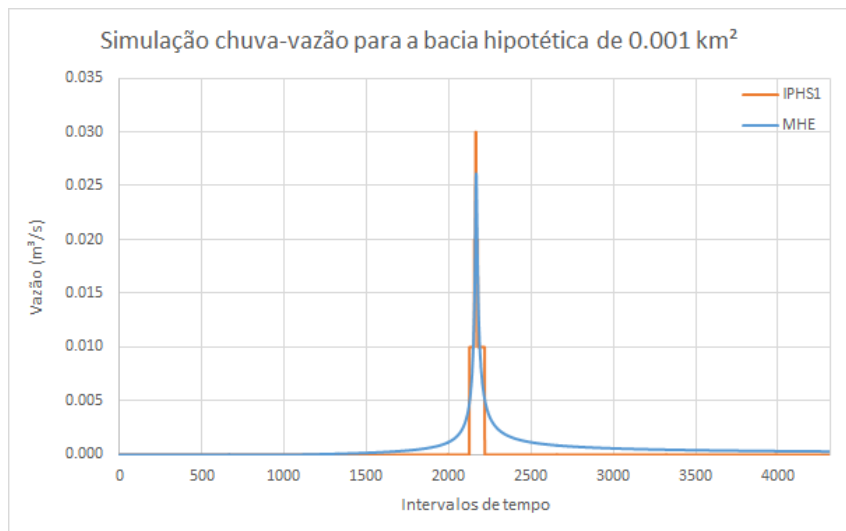


Figura 14 – Gráfico dos hidrogramas de projeto da simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,001 km<sup>2</sup>.

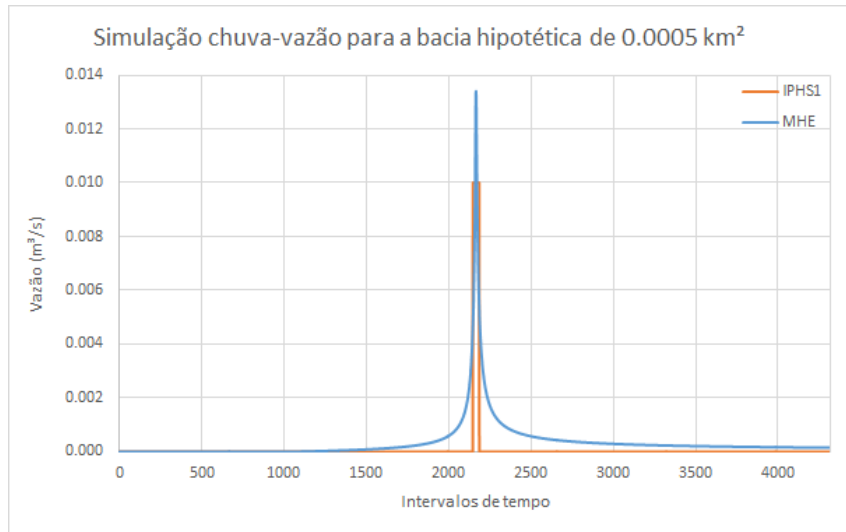


Figura 15 – Gráfico dos hidrogramas de projeto da simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,0005 km<sup>2</sup>.



Figura 16 – Gráfico dos hidrogramas de projeto da simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,0001 km<sup>2</sup>.

Exemplo – Saída de dados (formato .png) do MHE para chuva-vazão

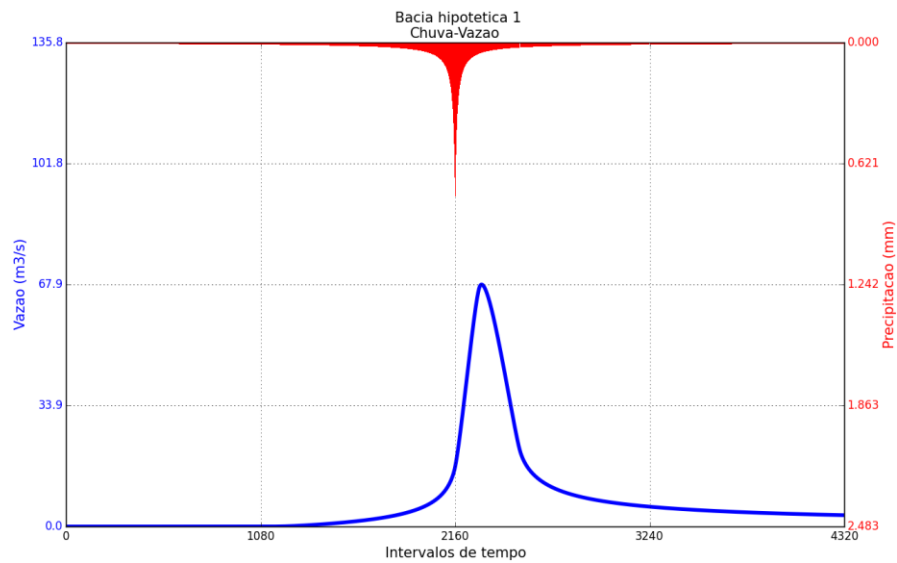


Figura 17 – Gráfico do hidrograma de projeto da simulação chuva-vazão com área de drenagem de 10 km² do MHE.

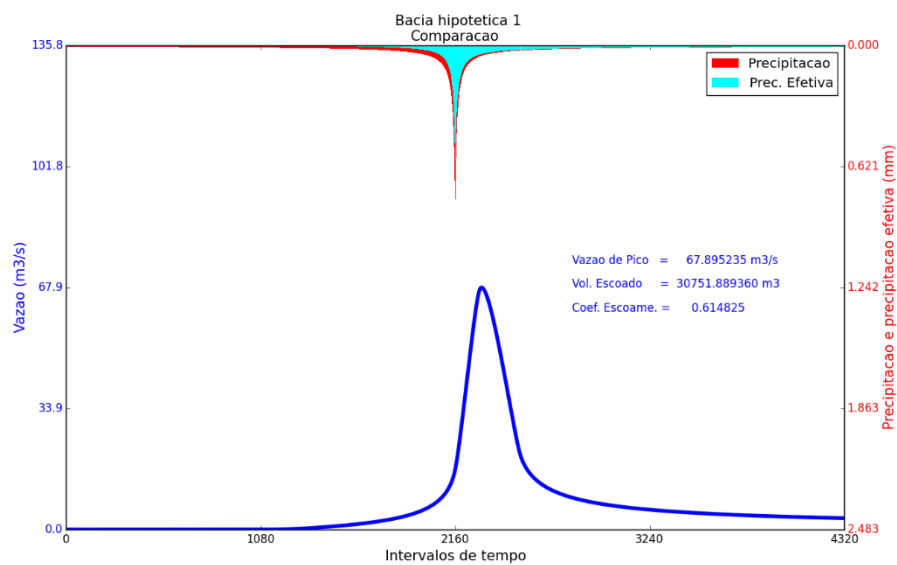


Figura 18 – Gráfico de comparação entre precipitação e precipitação efetiva para a simulação chuva-vazão com área de drenagem de 10 km² do MHE.

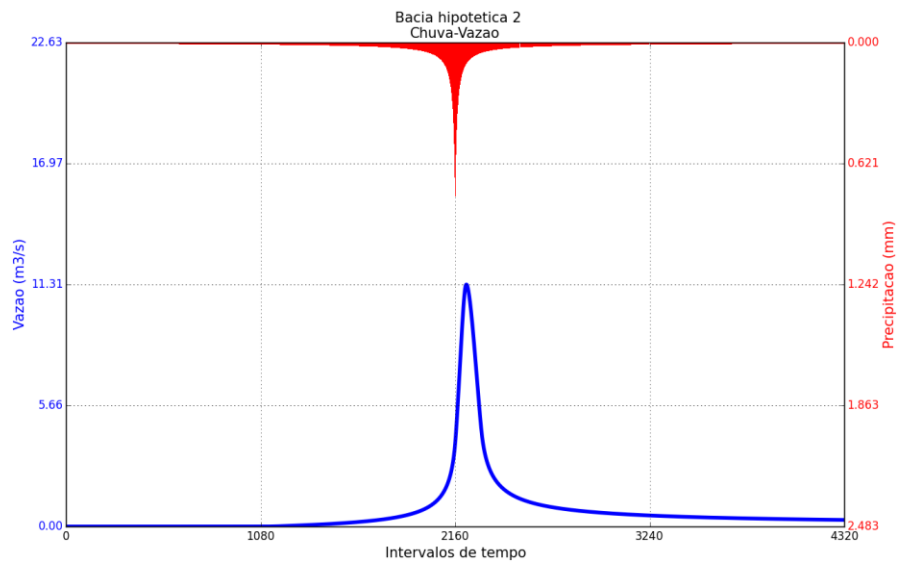


Figura 19 – Gráfico do hidrograma de projeto da simulação chuva-vazão com área de drenagem de 1 km² do MHE.

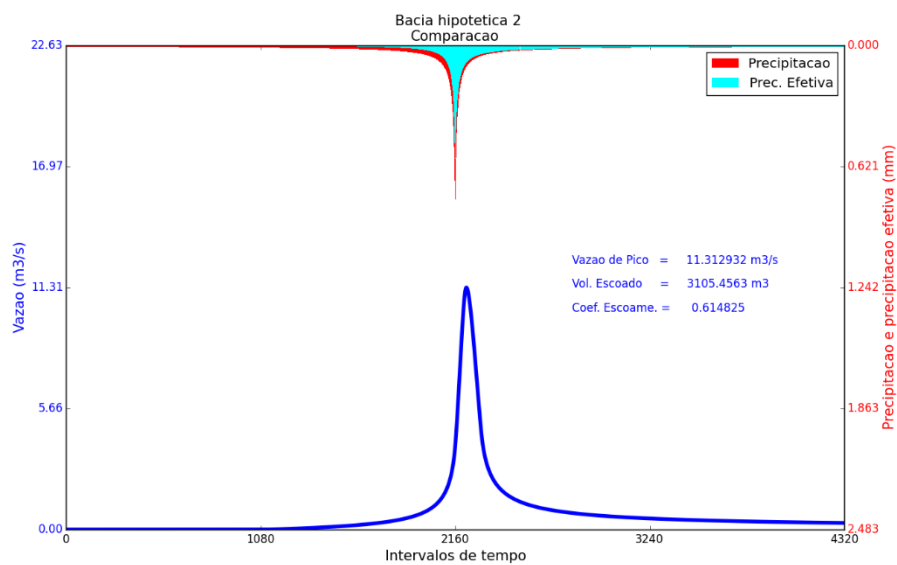


Figura 20 – Gráfico de comparação entre precipitação e precipitação efetiva para a simulação chuva-vazão com área de drenagem de 1 km² do MHE.

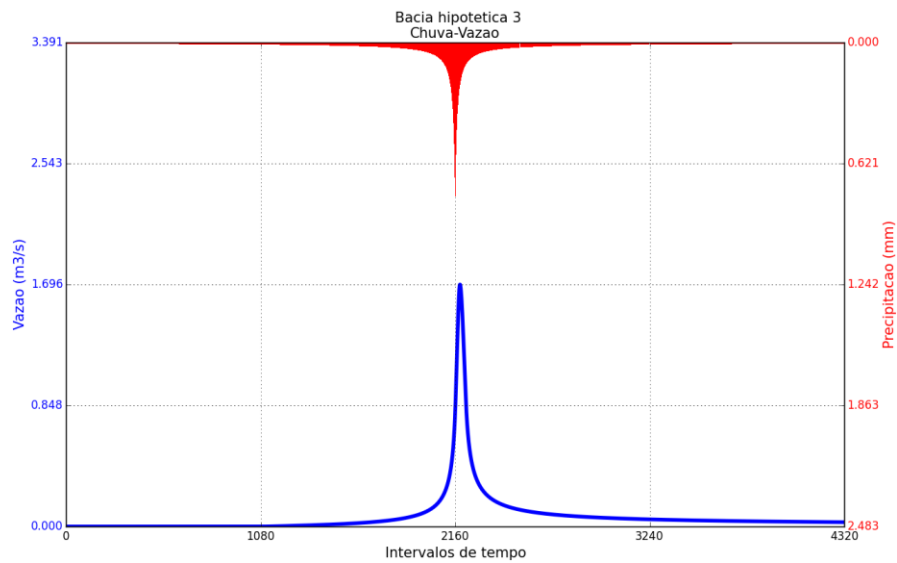


Figura 21 – Gráfico do hidrograma de projeto da simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,1 km² do MHE.

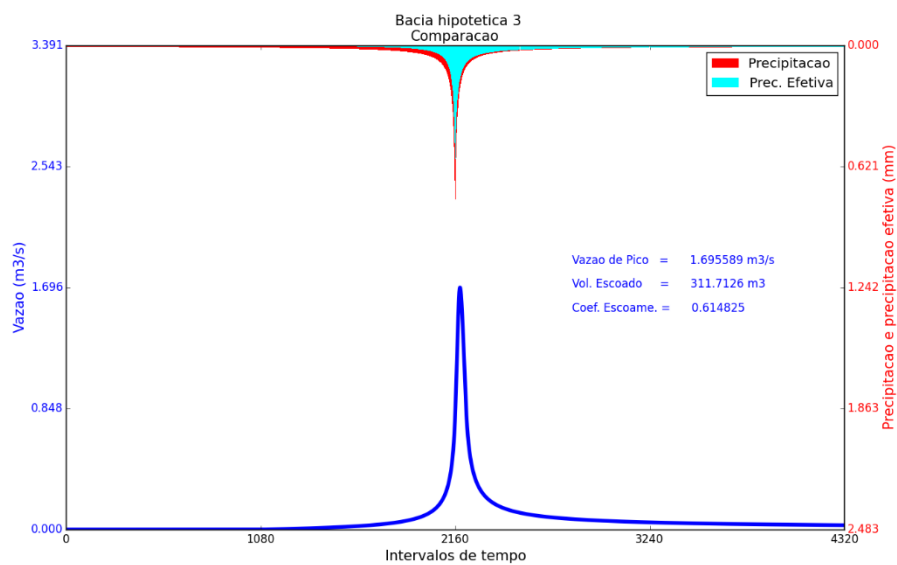


Figura 22 – Gráfico de comparação entre precipitação e precipitação efetiva para a simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,1 km² do MHE.

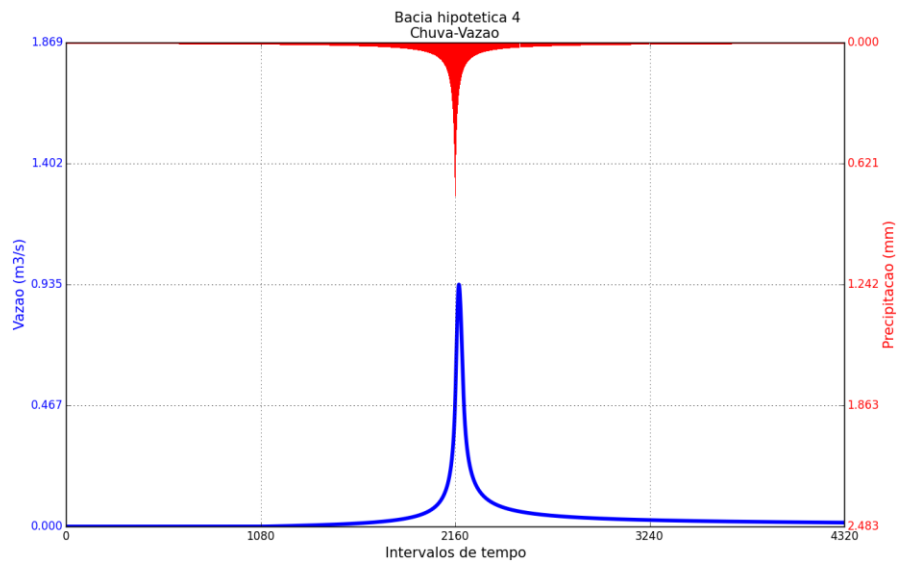


Figura 23 – Gráfico do hidrograma de projeto da simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,05 km<sup>2</sup> do MHE.

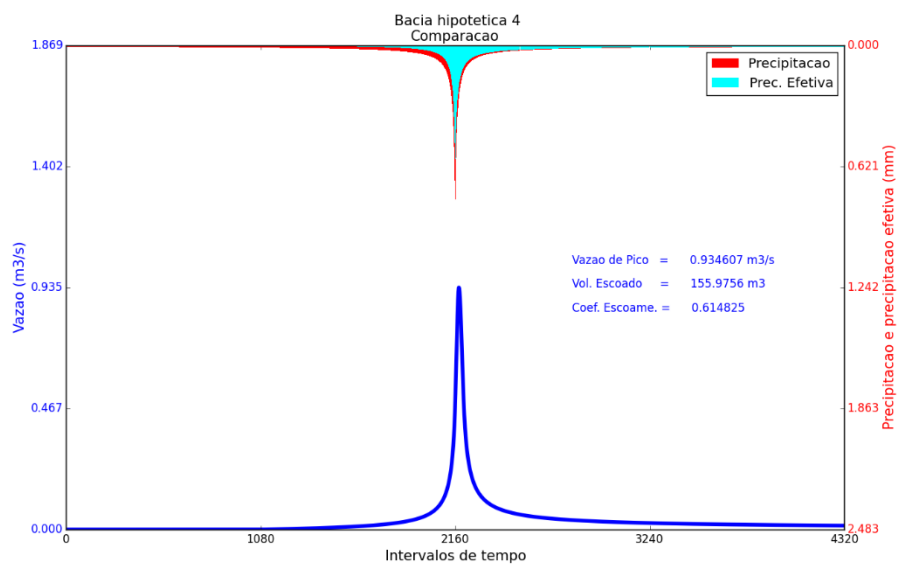


Figura 24 – Gráfico de comparação entre precipitação e precipitação efetiva para a simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,05 km<sup>2</sup> do MHE.



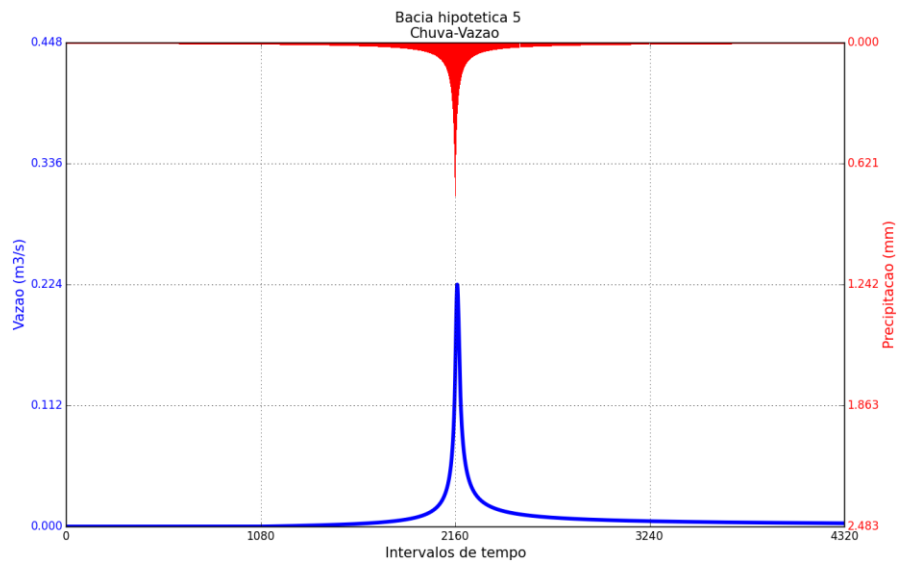


Figura 25 – Gráfico do hidrograma de projeto da simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,01 km<sup>2</sup> do MHE.

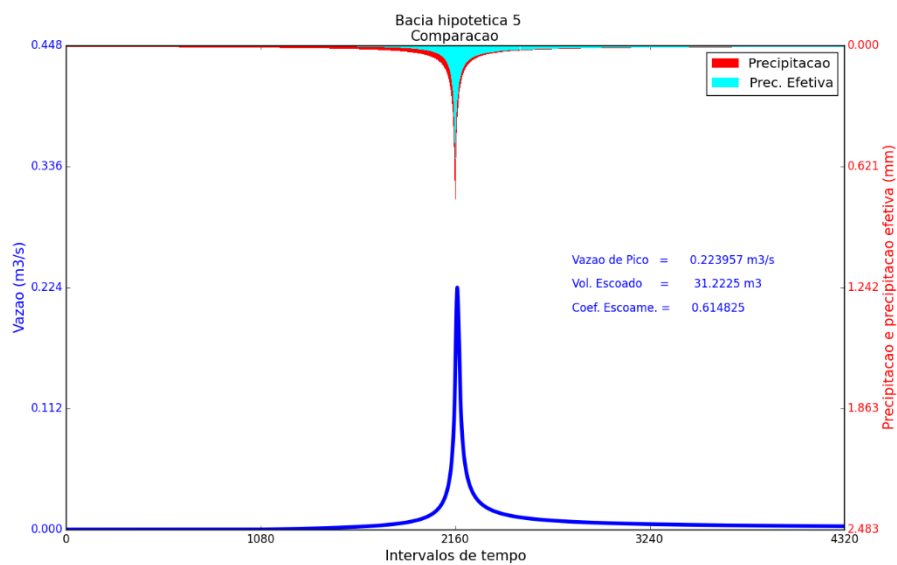


Figura 26 – Gráfico de comparação entre precipitação e precipitação efetiva para a simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,01 km<sup>2</sup> do MHE.

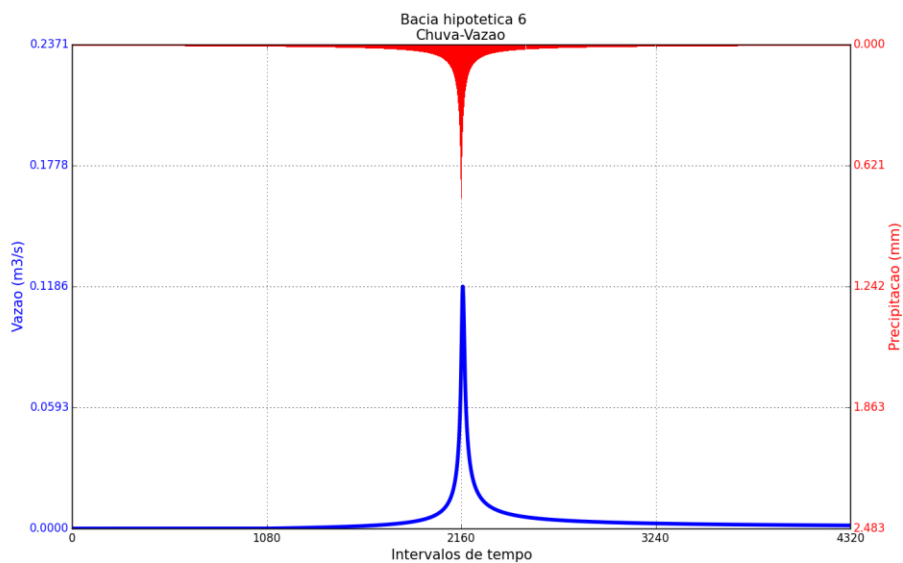


Figura 27 – Gráfico do hidrograma de projeto da simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,005 km² do MHE.

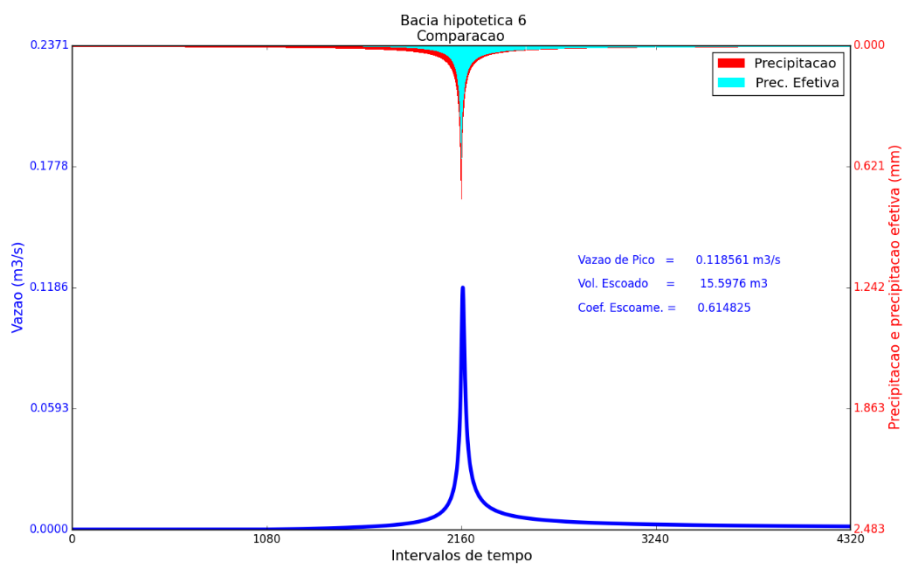


Figura 28 – Gráfico de comparação entre precipitação e precipitação efetiva para a simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,005 km² do MHE.

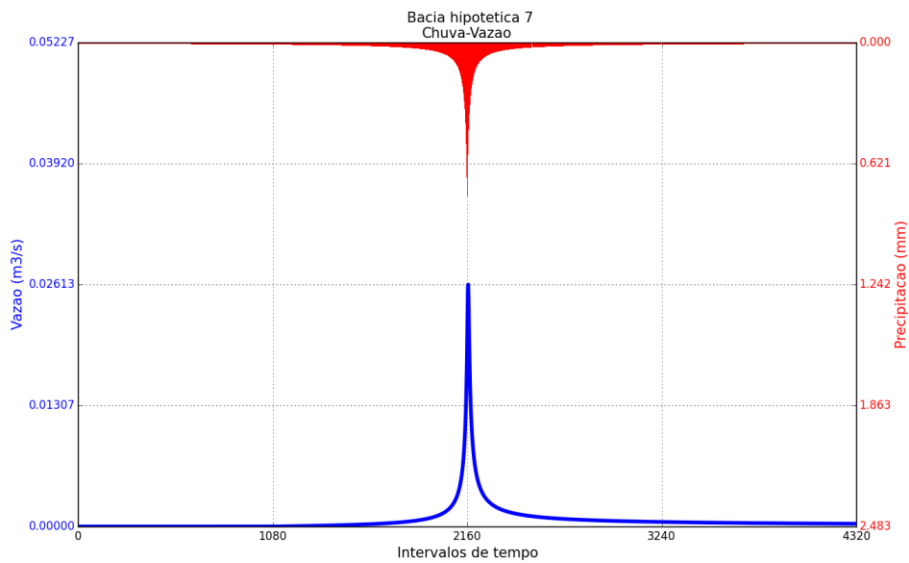


Figura 29 – Gráfico do hidrograma de projeto da simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,001 km<sup>2</sup> do MHE.

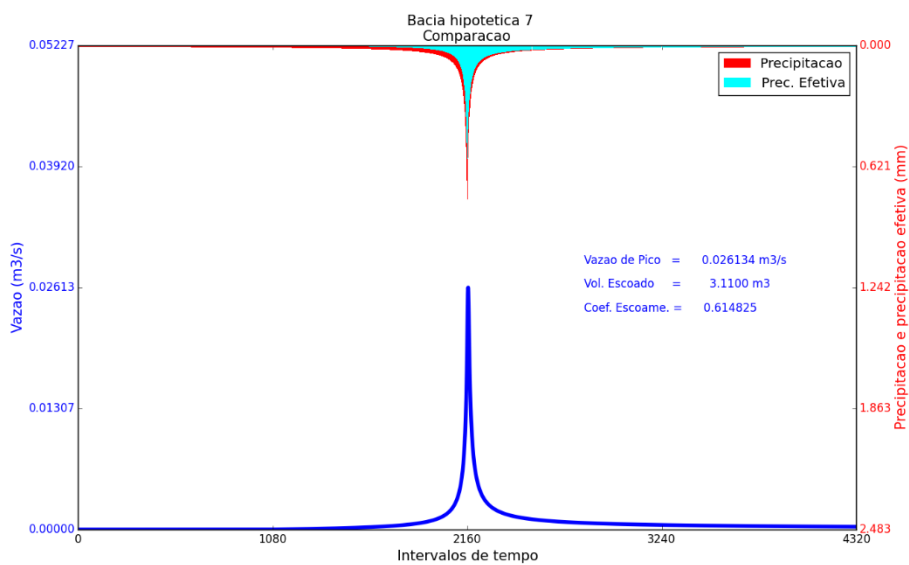


Figura 30 – Gráfico de comparação entre precipitação e precipitação efetiva para a simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,001 km<sup>2</sup> do MHE.

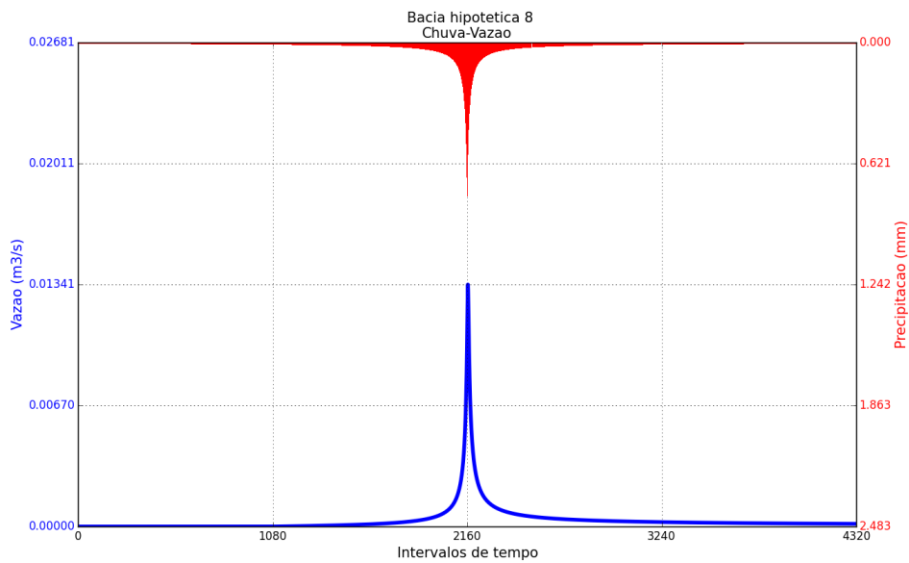


Figura 31 – Gráfico do hidrograma de projeto da simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,0005 km<sup>2</sup> do MHE.

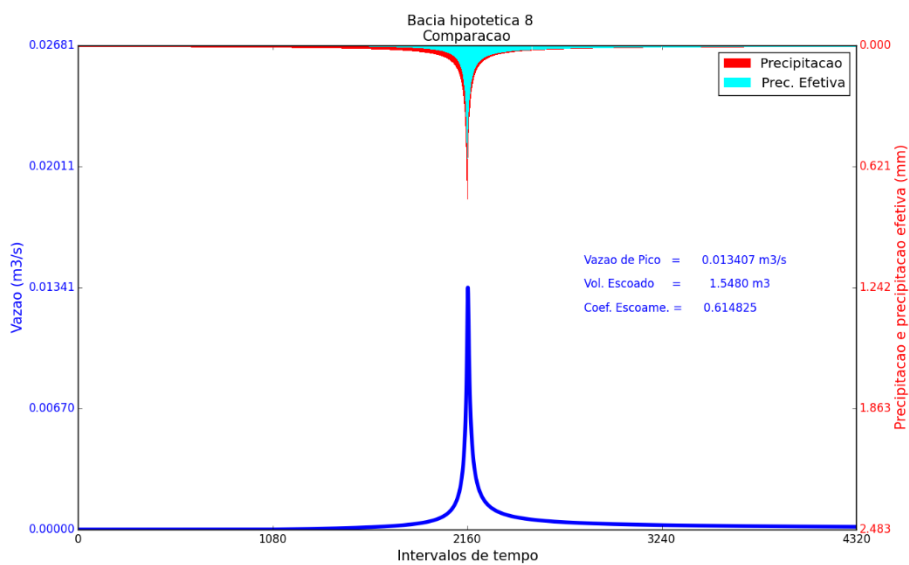


Figura 32 – Gráfico de comparação entre precipitação e precipitação efetiva para a simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,0005 km<sup>2</sup> do MHE.

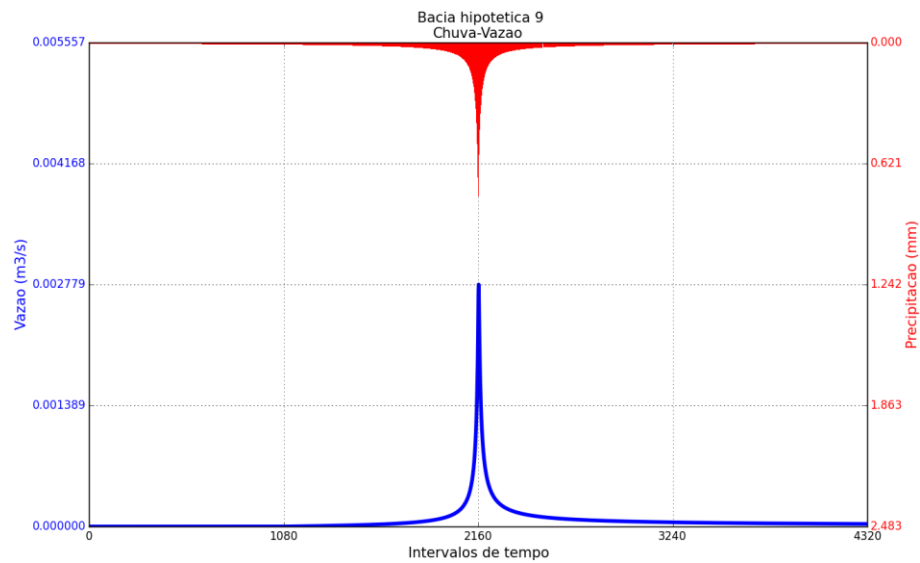


Figura 33 – Gráfico do hidrograma de projeto da simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,0001 km<sup>2</sup> do MHE.

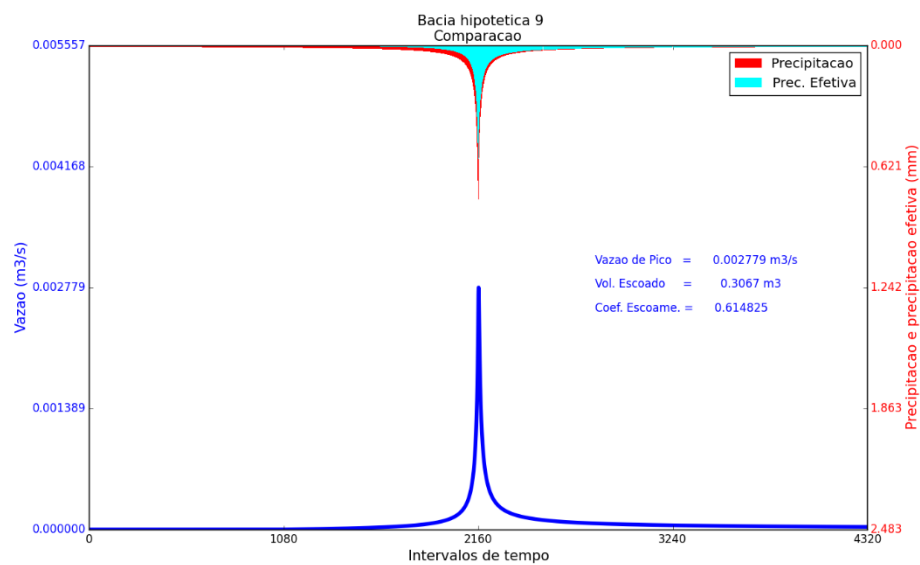


Figura 34 – Gráfico de comparação entre precipitação e precipitação efetiva para a simulação chuva-vazão com área de drenagem de 0,0001 km<sup>2</sup> do MHE.