

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E
GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

HUGO KOJI SUEKAME

MODELO HIDROLÓGICO APLICADO À REDE DE RIOS DE
UMA BACIA HIDROGRÁFICA

CAMPO GRANDE, MS

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E
GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

HUGO KOJI SUEKAME

MODELO HIDROLÓGICO APLICADO À REDE DE RIOS DE
UMA BACIA HIDROGRÁFICA

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias
Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do
Sul, na área de concentração em Saneamento Ambiental e
Recursos Hídricos.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Jorge Luiz Steffen

Aprovada em:

Banca examinadora:

Prof. Dr. Jorge Luiz Steffen
Orientador - PGTA/FAENG/UFMS

Prof^a. Dr^a Isabel Kaufmann de Almeida
PGTA/FAENG/UFMS

Prof^a. Dr^a Claudia Gonçalves Vianna Bacchi
UFMS

CAMPO GRANDE, MS
2015

DEDICATÓRIA

*Este trabalho é dedicado à minha família,
minha base, minha vida!*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus pela iluminação, proteção, sabedoria e por me dar uma família indescritível! Aos meus pais, que não mediram esforços para me dar uma boa educação, me ensinaram o que é respeito, o amor, o significado de família, suporte na minha caminhada, pela liberdade de escolha no que eu queria traçar em minha vida e no que eu precisei vocês estavam ali em prontidão para me atender. A melhor herança que recebi de vocês foi de ter a oportunidade de estudar, de ir em busca dos meus objetivos e sonhos, portanto, meu sincero agradecimento.

Ao meu "Ditian" (in memoriam), que sempre fez de tudo para unir a família, mostrando a importância da mesma, da sua forma tradicionalista, porém com um coração imenso, um autodidata, autor de vários poemas e livros, minha inspiração, simplesmente hontoni arigato! À minha "Batian", que sempre quando a vejo, pergunta como está os estudos e preocupada com minha formação, da sua forma meiga e singela demonstrando carinho à todos. Meu muito obrigado, Batian!

Aos meus irmãos e sobrinhos, que posso contar sempre, seja nos momentos felizes ou tristes, em que além de irmãos, são meus melhores amigos, obrigado pelo suporte que vem dado até hoje, por acreditarem em mim e por me proporcionar momentos de grande felicidade.

Ao meu querido Orientador Prof. Dr. Jorge Luiz Steffen, na qual considero um segundo pai, mesmo o vendo em alguns momentos, aprendi não só a parte da pesquisa, mas além disso, levarei um aprendizado pessoal, daqueles momentos do "café", em que falávamos de assuntos aleatórios, mas o senhor sempre com muita sabedoria me repassava ensinamentos de vida. É claro, que hoje estou aqui, graças ao senhor, que acreditou em mim, abraçou a intenção da pesquisa em uma conversa informal e cá estamos, e com toda certeza terei sempre o senhor como referência pessoal e profissional.

Agradeço aos queridos Professores: Nobuyoshi, Paula, Giancarlo e Sandra pelas incansáveis reuniões do Colegiado do PGTA, pude me aproximar ainda mais de vocês, oportunidade esta que aprendi muito sobre um programa de pós-graduação, e também sobre as questões relacionadas a fazer ciência, obrigado! Aos demais professores: Teodorico, Claudia, Synara, Isabel e Fabio, por compartilhar seus ensinamentos, meu sincero obrigado.

Aos meus amigos que de forma direta ou indiretamente, me auxiliaram nessa minha caminhada, os churra's Japa, as chácaras de los brothers, entre outros eventos que compartilhamos que foram épicos!

Enfim, são muitos os agradecimentos, quem de alguma forma esteve presente nesta minha caminhada, meu sincero obrigado!

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	x
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Geral.....	3
2.2. Específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Considerações Gerais.....	4
3.2. Hidrologia Aplicada.....	5
3.2.1. Precipitação.....	6
3.2.2. Escoamento.....	10
3.2.2.1. Método de Índices.....	11
3.2.2.2. Método Soil Conservation Service (SCS).....	12
3.2.2.3. Equações do escoamento.....	14
3.2.2.4. Classificação dos modelos de escoamento.....	15
3.2.3. Transformação da precipitação em vazão.....	16
3.3. Sistema de Informação Geográfica (SIG).....	17
3.4. Modelos hidrológicos.....	17
3.4.1. Classificação de modelos e sistemas.....	18
3.4.2. Modelos Precipitação-vazão.....	19
3.4.3. Equações do escoamento superficial.....	27
3.4.3.1. Equações para escoamento nos planos.....	27
3.4.3.2. Equações para escoamento em canais.....	29
3.4.4. Métodos numéricos.....	31
3.4.5. Hidrograma.....	33

4. MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1. Aspectos gerais	36
4.2. Escolha e descrição da área de estudo	36
4.3. Caracterização fisiográfica da área de estudo em ambiente SIG.....	38
4.4. Localização dos postos pluviométricos e fluviométricos	44
4.5. Eventos	45
4.6. Precipitação efetiva.....	45
4.6.1. Parâmetro da Curva Número (CN)	46
4.6.2. Coeficiente β	47
4.7. Modelo de Onda Cinemática	48
4.7.1. Método de soluções das equações.....	48
4.7.1.1. Escoamento no plano.....	49
4.7.1.1. Escoamento em canais.....	49
4.8. Modelo computacional	50
4.8.1. Validação do modelo computacional	51
4.8.2. Análise estatística.....	51
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
5.1. Postos pluviométricos e fluviométricos.....	53
5.2. Discretização da área de estudo	55
5.3. Características físicas das sub-bacias	56
5.3.1. Parâmetro CN e rugosidade de Manning	58
5.4. Modelo matemático	65
5.4.1. Fase de ajuste	65
5.4.2. Fase da verificação e validação do modelo proposto	79
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	82
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXO A.....	89
ANEXO B.....	93
ANEXO C.....	113
ANEXO D.....	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Postos com dados disponíveis para estimativa da precipitação média da bacia do exemplo. (Fonte: Paz, 2004)	7
Figura 3.2 - Exemplo do traçado dos polígonos de Thiessen, para estimativa de precipitação média na bacia, com base nos dados dos postos X, Y, Z e W. (Fonte: Paz, 2004).....	8
Figura 3.3 - Definição do polígono de Thiessen e das áreas de influência dos postos X, Y, Z e W para estimativa da precipitação média na bacia do exemplo. (Fonte: Paz, 2004).....	9
Figura 3.4 - Exemplo de isoietas mensais, com valores em mm (Fonte: Paz, 2004).	10
Figura 3.5 - Estruturas para discretização de bacia hidrográfica. (Fonte: Tucci, 1998).	21
Figura 3.6 - Representação do MNT para uma bacia hidrográfica. (Fonte: Rennó e Soares, 2004)	23
Figura 3.7 - Discretização de bacias em zonas e planos (Fonte: Desai, 1979).....	24
Figura 3.8 - Representação da bacia por meio de células (Fonte Diskin e Simpson, 1978).....	24
Figura 3.9 - Geometria da seção de um cone (Fonte: Singh, 1975)	25
Figura 3.10 - Geometria de dois planos retangulares e um canal, em forma de V. (Fonte: Singh, 1975)	25
Figura 3.11 - Geometria da seção composta (Fonte: Singh, 1975)	25
Figura 3.12 - Geometria em cascata de planos contribuindo para o canal (Fonte: Singh, 1975).....	26
Figura 3.13 - Trecho de rio com dois planos retangulares e canais livres (Fonte: Costa Neto, 2014).....	27
Figura 3.14 - Esquemas numéricos no tempo (Fonte: Tucci, 1998).....	32
Figura 3.15 - Hidrograma típico resultante da ocorrência de uma precipitação na área contribuinte (Fonte: Paz, 2004)	34
Figura 4.1 - Unidade de Planejamento e Gerenciamento Ivinhema	37
Figura 4.2 - Localização da área de estudo	37
Figura 5.1- Postos Pluviométricos e o Polígono de Thiessen.....	54

Figura 5.2 - Postos Fluviométricos.....	54
Figura 5.3 - Sub-bacias discretizadas	55
Figura 5.4 - Esquema de encadeamento das sub-bacias.....	55
Figura 5.5 - Mapa da declividade	57
Figura 5.6 - Mapa pedologia.....	59
Figura 5.7- Mapa de uso e ocupação do solo	60
Figura 5.8 - Dados pluviométricos e fluviométricos	66
Figura 5.9 - Precipitação Efetiva	67
Figura 5.10 - Dados pluviométricos e fluviométricos	67
Figura 5.11 - Precipitação efetiva.....	68
Figura 5.12 - Dados pluviométricos e fluviométricos	69
Figura 5.13 - Precipitação efetiva.....	70
Figura 5.14 - Dados pluviométricos e fluviométricos	70
Figura 5.15 - Precipitação efetiva.....	71
Figura 5.16 - Dados pluviométricos e fluviométricos	72
Figura 5.17- Precipitação efetiva.....	73
Figura 5.18 - Hidrograma do Evento 1 - Teste 1.....	73
Figura 5.19 - Hidrograma do Evento 2 - Teste 1.....	74
Figura 5.20 - Hidrograma do Evento 3 - Teste 1.....	74
Figura 5.21 - Hidrograma do evento 4 - Teste 1	74
Figura 5.22 - Hidrograma do Evento 5 - Teste 1.....	75
Figura 5.23 - Hidrograma do Evento 1 - Teste 2.....	75
Figura 5.24 - Hidrograma do Evento 2 - Teste 2.....	76
Figura 5.25 - Hidrograma do Evento 3 - Teste 2.....	76
Figura 5.26 - Hidrograma do Evento 4 - Teste 2.....	76
Figura 5.27 - Hidrograma do Evento 5 - Teste 2.....	77
Figura 5.28 Hidrogramas da Sub-bacia 1	79
Figura 5.29 - Hidrogramas da Sub-bacia 3.....	79
Figura 5.30 - Hidrogramas da Sub-bacia 4.....	80
Figura 5.31 - Hidrogramas da Sub-bacia 7	80
Figura 5.32 - Hidrogramas da Sub-bacia 12.....	80

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1- Imagens ResourceSat -1, Sensor LISS3	388
TABELA 4.2 - Postos Pluviométricos	44
TABELA 4.3 - Postos Fluviométricos	45
TABELA 4.4 - Classificação quanto ao tipo de solo	46
TABELA 4.5 - Classificação quanto ao uso do solo	46
TABELA 4.6 - Composição dos tipos e usos do solo com os devidos valores de CN ..	47
TABELA 5.1 - Postos pluviométricos e suas áreas de influências	53
TABELA 5.2 - Características físicas das sub-bacias	56
TABELA 5.3 - Declividade média dos planos laterais e dos cursos principais	58
TABELA 5.4 - Tipos de solos e suas respectivas áreas	59
TABELA 5.5 - Uso e ocupação do solo e suas respectivas áreas	60
TABELA 5.6 - Parâmetro CN	61
TABELA 5.7 - Coeficiente de rugosidade n de Manning médio	644
TABELA 5.8 - Evento 1.....	66
TABELA 5.9 - Evento 2.....	68
TABELA 5.10 - Evento 3.....	69
TABELA 5.11 - Evento 4.....	71
TABELA 5.12 - Evento 5.....	72
TABELA 5.13- Volumes observados e simulados.....	77
TABELA 5.14 - Porcentagem de erro na vazão (PEP) e tempo de pico (PET)	78
TABELA 5.15 - Coeficiente de eficiência (R^2) e Raiz do erro do quadrático médio (REQM).....	78
TABELA 5.16 - Resultados observados e simulados e seus respectivos erros.....	81

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A - área da bacia hidrográfica;

A_x , A_y , A_z , A_w - as áreas de influências dos postos X, Y, Z e W;

ANA - Agência Nacional de Águas

b - Largura do canal;

BCM - Bacia contribuinte a montante;

CN - Curva número;

CORINE - Coordination of Information of Environment;

d_i - distância euclidiana entre o i ésimo ponto da vizinhança e o ponto amostrado;

Dim - Dimensionar;

DSG - Diretoria de Serviços Geográficos;

dt - Intervalo de tempo;

D_v - Desvio de volumes;

dx - Intervalo do espaço;

F - Variável adimensional na infiltração;

E(t) - evaporação no instante t;

EAM - Erro absoluto médio;

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUA - Estados Unidos da América;

g - Aceleração da gravidade;

GLS - Global Land Survey;

h_{efet} - Altura da lâmina da chuva efetiva;

h_{escsup} - Altura da lâmina do escoamento superficial;

I_a - Abstração inicial;

IBGE - Instituto Brasileiro Geografia e Estatística;

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais;

i_R - Precipitação de referência;

Km - Quilômetros;

Km^2 - Quilômetros ao quadrado;

LD - Lado direito;

L_d - Largura do plano direito;

LE - Lado esquerdo;
 L_e - Largura do plano esquerdo;
 LISS - Linear Imaging Self Scanner;
 L_s - Comprimento do curso d'água;
 m - metros;
 MNT - Modelo Numérico do Terreno;
 n - número de observações;
 NCM - Número de contribuinte a montante;
 n_d - Rugosidade de Manning do plano direito;
 n_e - Rugosidade de Manning do plano esquerdo;
 NIT - Número de intervalos de tempo
 n_s - Rugosidade Manning do curso d'água;
 P - Precipitação total;
 P_m - precipitação média na bacia;
 P_x, P_y, P_z, P_w - precipitações nos postos X, Y, Z e W;
 P_{ef}; i_e - Precipitação efetiva;
 PEP - Porcentagem de erro da vazão de pico;
 PET - Porcentagem de erro do tempo de pico;
 P_i - valor da variável da iésima localidade vizinha;
 P_t - Precipitação no instante t;
 Q - Vazão;
 Q_{calc} - vazão diária calculada;
 Q_{cor} - a vazão diária corrigida;
 Q_t - Vazão no instante t;
 R² - Coeficiente de eficiência;
 REQM - Raiz do erro quadrado médio;
 RGB - Red / Green / Blue;
 S - Capacidade de armazenamento do solo;
 s - Segundos;
 S₀ - a declividade do fundo;
 SCS - Soil Conservation Service;
 S_d - Declividade do plano direito;
 S_e - Declividade do plano esquerdo;
 S_f - a declividade da linha de atrito;

S_i - a declividade;
 SIG - Sistema de informação geográfica
 SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas;
 SRTM - Shuttle Radar Topography Mission;
 S_s - declividade do curso d'água;
 t - Tempo;
 t_b - Tempo de base do hidrograma
 t_c - Tempo de concentração;
 T_D - Variável adimensional do tempo;
 TR - 55 - Technical Release 55;
 TSB - Tipo de sub-bacia;
 UPG - Unidade de Planejamento e Gerenciamento;
 UTM - Universal Transversa de Mercator;
 V - Volume
 w - valor constante a ser descontado da precipitação total;
 x - distância no sentido longitudinal
 y - Profundidade do escoamento;
 α - fator constante multiplicativo;
 Δt - acréscimo de tempo t ;
 Δx - acréscimo de espaço na direção x ;
 Δz - acréscimo de espaço na direção z ;
 θ - Declividade da bacia;
 ϕ - índice.

RESUMO

SUEKAME, H. K. (2015). *Modelo hidrológico aplicado à rede de rios de uma bacia hidrográfica*. Campo Grande, 2015. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Os modelos hidrológicos representam um determinado sistema hidrológico e tem como objetivo obter respostas, ou saídas, desse sistema diante de diferentes entradas. Esse sistema pode ser uma bacia hidrográfica, onde o escoamento e a propagação do fluxo são os processos predominantes. A escassez de estações meteorológicas e fluviométricas, associada às grandes dimensões das bacias hidrográficas, impossibilitam a quantificação do volume de água escoado, bem como seu comportamento ao longo do trecho de escoamento. A partir dessa premissa, objetivou-se neste trabalho testar modelo matemático aplicado à rede de rios da bacia hidrográfica, a fim de melhor compreensão e entendimento sobre a área analisada. Para tanto, adotou-se o Método da Onda Cinemática, discretizado a partir dos postos de vazão, utilizando-se o método numérico de diferenças finitas com variáveis adimensionais. O modelo proposto possibilita a obtenção dos hidrogramas nos diversos pontos das sub-bacias, formadoras da bacia hidrográfica original, respeitando a continuidade do processo, além de reproduzir hidrogramas no exutório com grande aproximação aos hidrogramas observados.

Palavras-chave: Modelagem hidrológica; escoamento superficial; onda cinemática; hidrogramas.

ABSTRACT

SUEKAME, H. K. (2015). *Hydrologic model applied to the network of rivers in a watershed*. Campo Grande, 2015. Dissertation (Masters) - Federal University of Mato Grosso do Sul, Brazil.

The hydrologic models represent a particular hydrological system and aims to get answers or outputs, this system before different entries. This system can be a watershed where the flow and the spread of flow are the predominant processes. The scarcity of weather and gauged stations, associated with the large river basins, impossible to quantify the drained water volume, as well as their behavior along the flow passage. From this premise, the aim of this paper test mathematical model applied to the network of rivers in the basin in order to better comprehension and understanding of the analyzed area. Therefore, we adopted the method of wave kinematics, discrete from the flow stations, using the numerical method of finite differences with dimensionless variables. The proposed model allows obtaining the hydrograph at the various points of the sub-basins, forming the original basin, respecting the continuity of the process, and reproduce hydrograph in output with great approach to the observed hydrograph.

Key-words: hydrologic modeling; runoff; kinematic wave; hydrograph.

1. INTRODUÇÃO

A atual conscientização quanto à necessidade de conservação dos recursos hídricos tem levado à busca de soluções para um melhor uso e aproveitamento da água. Trata-se de um recurso natural finito, essencial para a sobrevivência dos seres vivos e que serve como transportador de diversas substâncias, tornando-se um dos elementos mais importantes nos ciclos biogeoquímicos (Costa Neto, 2005).

Além da preocupação em garantir o atendimento das necessidades de água das futuras gerações, o processo de gestão dos recursos hídricos é naturalmente complexo, pois abrange interesses diversos, seja entre os usuários de um mesmo tipo de demanda ou pela multiplicidade de usos da água. Criar as condições necessárias para planejar a utilização dos recursos hídricos de forma equilibrada aos usos múltiplos impõe uma abordagem holística.

Para promover o desenvolvimento sustentável e o intercâmbio entre regiões com interesses comuns, ou entre as que brigam pelo direito de utilizar a água para determinado fim, foi necessário reconhecer e adotar o conceito de bacia hidrográfica. Muitas vezes, os recursos hídricos não são utilizados adequadamente nas bacias hidrográficas, devido a falta de informações hidrológicas existentes. Nestas situações é necessário o uso de dispositivos auxiliares para obtenção desses dados.

A modelagem matemática vem sendo empregada desde o século XIX para representar o escoamento da água em sistemas hidrológicos, através de equações matemáticas derivadas da Mecânica dos Fluidos (Abbott, 1979; Cunge *et al.*, 1980). Conforme a disponibilidade de dados, a capacidade do modelo em produzir informações apropriadas na resposta às questões formuladas, as características do sistema modelado e dos recursos computacionais, tempo e material humano disponíveis, são adotadas simplificações na representação matemática do sistema.

Os modelos hidrológicos representam um determinado sistema hidrológico com o objetivo de obter respostas, ou saídas, desse sistema mediante diferentes entradas. Tal sistema pode ser uma bacia hidrográfica ou um rio, onde o escoamento e a propagação do fluxo são os processos predominantes. Assim, um modelo hidrológico é ferramenta útil, que permite, através do equacionamento dos processos, representar, entender e simular o comportamento de uma bacia hidrográfica para prever condições diferentes

daquelas observadas (Tucci, 1998). Entretanto, determinadas bacias possuem limitações básicas como a quantidade e qualidade dos dados hidrológicos, além do que, a dificuldade em definir as relações existentes entre seus diferentes componentes da bacia hidrográfica, podem comprometer os resultados esperados.

Os modelos do tipo chuva-vazão são utilizados na obtenção de séries de vazões em locais desprovidos de dados fluviométricos ou de previsão, a partir das precipitações sobre a bacia, mediante entendimento da interação dos processos físicos envolvidos. O processo de modelagem supõe a existência de amostra de eventos que possibilitem o ajuste dos parâmetros relativos às condições locais do escoamento em estudo. Para representar o comportamento de um sistema, através de modelos, são necessárias as fases: i) ajuste; ii) verificação; iii) utilização do modelo (previsão ou simulação).

O escoamento da água e a propagação de vazão em rios podem ser representados com o uso de modelos hidrodinâmicos resolvendo numericamente as equações de Saint-Venant (equação da continuidade e da quantidade de movimento). Entretanto, os modelos mais simplificados de propagação de vazão apresentam grande importância, uma vez que exigem menos dados de entrada e normalmente são eficientes computacionalmente, ou seja, mais rápidos na obtenção da solução.

A justificativa deste trabalho reside na importância de ter dispositivos auxiliares na tomada de decisão, utilizando técnicas de geoprocessamento para caracterização física da bacia hidrográfica e modelagem hidrológica constituindo um subsídio necessário para a gestão objetiva e mais eficiente dos recursos hídricos.

O presente trabalho propõe estimar vazões diárias em locais sem medições de uma bacia hidrográfica, utilizando o modelo hidrológico do tipo chuva-vazão, como instrumento de auxílio no planejamento e gestão de recursos hídricos, avaliando os hidrogramas simulados em relação aos hidrogramas observados, testando formas de melhor representar a realidade e entender o comportamento de uma bacia hidrográfica.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Simular o comportamento do escoamento em rede de rios de uma bacia hidrográfica utilizando um modelo chuva-vazão.

2.2. Específicos

- Delimitar e caracterizar fisicamente a bacia hidrográfica utilizando geoprocessamento;
- Identificar e localizar os postos pluvio-fluviométricos;
- Selecionar de eventos de chuva e vazão;
- Implementar do modelo hidrológico do tipo chuva-vazão;
- Ajustar os parâmetros do modelo;
- Gerar hidrogramas em pontos de interesse na bacia estudada.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Considerações Gerais

Ao longo da história o homem tem passado por profundas mudanças na sua forma de ver o mundo. De uma abordagem mecanicista e cartesiana da realidade vem evoluindo gradativamente para uma visão sistêmica e holística do mundo que habitamos. O modelo de pensamento que ao longo dos séculos manteve o homem em relação à natureza como o ente predador e dominador vem sendo substituído por uma visão que considera forma interligada os fenômenos biológicos, sociais, econômicos e ambientais.

De acordo com Cunha (1982), o crescente e exponencial aumento da população mundial, juntamente com a expansão industrial, sem os devidos cuidados com o meio ambiente e uso irracional de recursos hídricos, vem se traduzindo na degradação da qualidade de vida do planeta. Sabendo que a água é um recursos natural finito e dotado de valor econômico, acarreta em problemas de dimensões preocupantes, não somente pela água ser um elemento imprescindível a vida, mas também fator condicionante do desenvolvimento econômico.

Havendo desequilíbrio entre a disponibilidade e a demanda de água, necessita-se de um planejamento e gestão de recursos hídricos de forma eficiente. O processo de gestão de recursos hídricos é de natureza complexa, uma vez que abrange interesses diversos, seja entre os usuários de um mesmo tipo de demanda ou pela multiplicidade de usos da água. Para tanto, há a necessidade de compreensão do comportamento do sistema, desde dos princípios da hidrologia até alcançar a eficiência na gestão a partir do seu planejamento.

Com vistas a subsidiar estudos de planejamento e gestão dos recursos hídricos, é necessária a obtenção de dados que auxiliem na determinação das vazões em pontos de interesse. Devido à escassez de postos pluviométricos e fluviométricos, que forneçam uma série histórica de dados confiáveis, criam-se técnicas de modelagem que variam em sua complexidade, que vão desde os métodos empíricos até os modelos matemáticos. Tais modelos podem ser usados para fazer previsões em áreas sem registro de dados, assumindo ajustes aceitáveis com base na topografia e uso do solo (Chery *et al.*, 1979).

Prever o comportamento do sistema hidrológico requer descrever seu funcionamento, sendo capaz de reproduzi-lo de forma satisfatória conforme os objetivos do estudo, considerando-o sob determinadas condições iniciais e de contorno. Para tanto, a modelagem matemática vem sendo empregada há décadas, procurando representar o escoamento da água através de equações matemáticas derivadas da mecânica dos fluidos (equações da conservação da massa, quantidade de movimento e energia) (Abbott, 1979; Cunge, 1980).

Ao tratar com um modelo hidrológico precipitação-vazão, aplicado a uma bacia hidrográfica, a seguir são apresentados conceitos e definições relativos ao estudo em foco.

3.2. Hidrologia Aplicada

"Hidrologia é a ciência que trata da água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas e sua reação com o meio ambiente, incluindo sua relação com as formas vivas" (Definição do U.S. Federal Council of Service and Technology, citada por Chow, 1959).

De acordo com Tucci (1998) a hidrologia trata dos fenômenos naturais complexos encontrados no ciclo hidrológico. Os processos, como a precipitação, evaporação, infiltração e o escoamento em rios, dependem de um grande número de fatores, que dificultam a análise quantitativa e qualitativa dos mesmos.

Observando a descrição do ciclo hidrológico, percebe-se o quanto ele é condicionado pelas características locais, como clima, relevo, tipo de solo, uso e ocupação do solo, geologia, rede hidrográfica, etc.

"A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei Federal nº9.433, de 8 de janeiro de 1997, incorpora princípios e normas para a gestão de recursos hídricos adotando a definição de bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão. Assim, é de grande importância para gestores e pesquisadores a compreensão do conceito de bacia hidrográfica e de suas subdivisões" (Teodoro *et al.*, 2007).

Os processos envolvidos no ciclo hidrológico, a bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema físico, cuja expressão é usada para denotar a área de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída que é chamado de exutório. Entretanto, esse é um sistema aberto,

já que nem toda a precipitação se torna escoamento no exutório ou fica armazenada na própria bacia. Há perdas intermediárias, relativas aos volumes evaporados, transpirados ou infiltrado profundamente (Paz, 2004).

Barrella *et al.*(2011) define bacia hidrográfica como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lenço freático.

Lima e Zakia (2000), acrescentam ao conceito geomorfológico da bacia hidrográfica, uma abordagem sistêmica. Para esses autores as bacias hidrográficas são sistemas abertos, que recebem energia através de agentes climáticos e perdem energia através do deflúvio, podendo ser descritas em termos de variáveis interdependentes, que oscilam em torno de um padrão, e, desta forma, mesmo quando perturbadas por ações antrópicas, encontram-se em equilíbrio dinâmico. Assim, qualquer modificação no recebimento ou na liberação de energia, ou modificação na forma do sistema, acarretará em uma mudança compensatória que tende a minimizar o efeito da modificação e restaurar o estado de equilíbrio dinâmico.

3.2.1. Precipitação

A precipitação é entendida como qualquer forma de água proveniente da atmosfera que atinge a superfície terrestre, como, por exemplo, neve, granizo, chuva, orvalho, geada, etc. O que diferencia as várias formas de precipitação é o estado em que a água se encontra. De acordo com Paz (2004), como a precipitação constitui a "entrada" de água na bacia hidrográfica, tomando-a como um sistema físico, a estimativa da precipitação em uma bacia dá ideia da disponibilidade hídrica nela, servindo para avaliar a necessidade de irrigação, a previsão de enchentes nos rios, a operação de hidroelétricas, o atendimento às demandas para abastecimento público, entre outros.

"Nos estudos hidrológicos o conhecimento da distribuição e variação da precipitação, tanto no tempo como no espaço, é imprescindível. A precipitação é o elemento climático de maior importância na erosão hídrica dos solos, devido à ação exercida pelo impacto das gotas da chuva e pelo escoamento superficial iniciado a partir desta" (Foster, 1982).

A precipitação média em uma bacia é entendida como sendo a lâmina de água de altura uniforme sobre toda a sua área, associada a um período de tempo. Obviamente, isso constitui uma simplificação, mas que permite inferir sobre o regime pluviométrico da região e servir de comparação entre bacias. Para calcular a precipitação média de uma superfície qualquer, é necessário utilizar as observações dos postos pluviométrico dentro da superfície e nas suas vizinhanças. Conforme Villela e Mattos (1975) existem três métodos para determinação da altura média de precipitação de uma área específica: método da média aritmética, método de Thiessen e método das Isoietas.

O método da média aritmética é o método mais simples e consiste na média dos registros dos valores de precipitação, este método é influenciado pelos valores extremos e apresenta-se satisfatório quando a distribuição é uniforme. Assim, supondo que estejam disponíveis dados dos postos X, Y, Z e W, a precipitação média na bacia da Figura 3.1 pode ser estimado como (Paz, 2004):

$$P_m = \frac{P_x + P_y + P_z + P_w}{4} \quad (3.1)$$

Onde P_x , P_y , P_z , P_w , são as precipitações nos postos X, Y, Z e W, respectivamente, e P_m é a precipitação média na bacia.

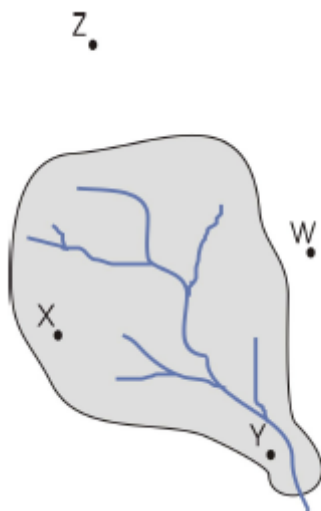


Figura 3.1 - Postos com dados disponíveis para estimativa da precipitação média da bacia do exemplo. (Fonte: Paz, 2004)

O método dos polígonos de Thiessen foi empregado na meteorologia pelo meteorologista americano Alfred H. Thiessen e também está relacionado ao diagrama de Voronoi (Thiessen, 1911). Segundo Villela (1975) este método se caracteriza pela

atribuição de pesos relativos aos postos considerados mais representativos para uma área específica.

A expressão matemática para o cálculo da precipitação média sobre uma bacia pelo método de Thiessen, para uma dada área A, é dada por:

$$P_m = \frac{A_x \cdot P_x + A_y \cdot P_y + A_z \cdot P_z + A_w \cdot P_w}{A} \quad (3.2)$$

Onde P_x , P_y , P_z , P_w , são as precipitações nos postos X, Y, Z e W, respectivamente; A_x , A_y , A_z , A_w são as áreas de influências dos postos X, Y, Z e W e P_m é a precipitação média na bacia; A é a área total da bacia.

Para o traçado dos polígonos de Thiessen, inicialmente os postos são unidos por linhas retas formando um polígono fechado (Figura 3.2-b), em seguida, são traçadas retas perpendiculares aos segmentos que unem os postos, dividindo-os em duas partes iguais (Figura 3.2-c), essas retas perpendiculares são prolongadas até o cruzamento com as demais, definindo os polígonos de Thiessen e, portanto, as áreas de influência de cada posto na bacia (Figura 3.3) (Paz, 2004).

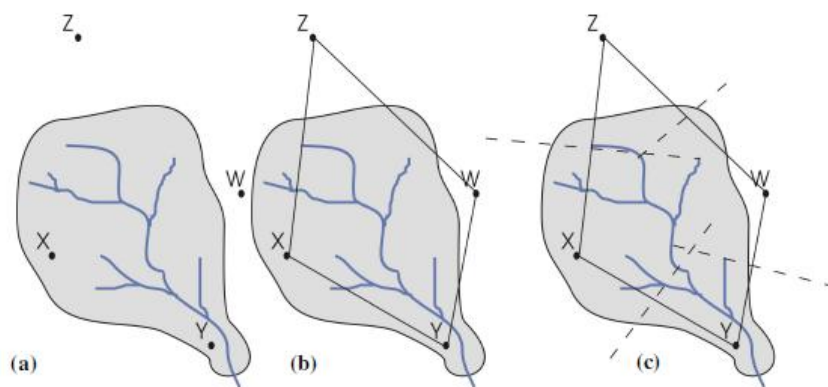


Figura 3.2 - Exemplo do traçado dos polígonos de Thiessen, para estimativa de precipitação média na bacia, com base nos dados dos postos X, Y, Z e W. (Fonte: Paz, 2004)

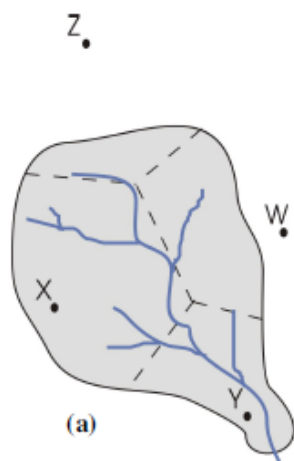


Figura 3.3 - Definição do polígono de Thiessen e das áreas de influência dos postos X, Y, Z e W para estimativa da precipitação média na bacia do exemplo. (Fonte: Paz, 2004)

O outro método para calcular a precipitação média sobre uma região é o método das isoietas que segundo Almeida (2006), corresponde à determinação de linhas de igual pluviosidade, sendo que o valor da precipitação média sobre uma determinada bacia é obtida multiplicando-se a área entre cada par de isoietas pela média da precipitação entre elas e dividindo-se pela área total. Esse procedimento é realizado para todas as isoietas consideradas da bacia. Na Figura 3.4 é apresentado um exemplo das isoietas em uma bacia hidrográfica correspondendo a valores mensais.

Conforme Bertoni e Tucci (2002), outro método baseado na interpolação por meio do inverso do quadrado da distância entre os postos, é calculado por:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^2} P_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^2}} \quad (3.3)$$

P_i : valor da variável da i ésima localidade vizinha; d_i : distância euclidiana entre o i ésimo ponto da vizinhança e o ponto amostrado.

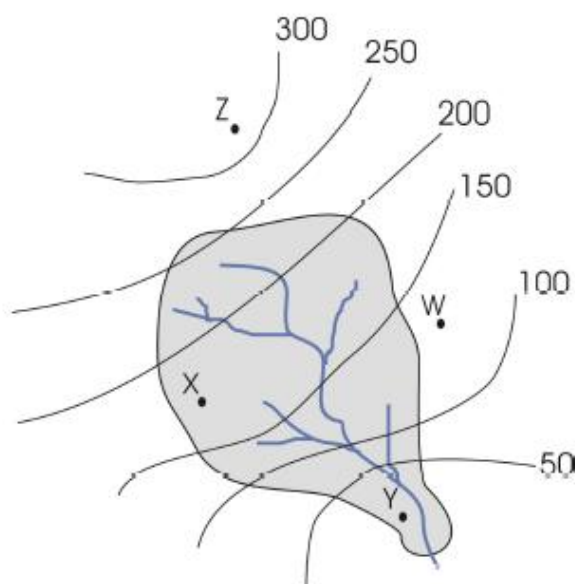


Figura 3.4 - Exemplo de isoietas mensais, com valores em mm (Fonte: Paz, 2004).

3.2.2. Escoamento

"Os processos hidrológicos estão diretamente relacionados à morfologia da bacia através de processos geomorfológicos de modificação, erosão e deposição do solo. O escoamento da água na bacia, proveniente das precipitações sobre ela ocorridas, é o mecanismo principal para o transporte de solutos e sedimentos" (Steffen, 1997).

À parcela da precipitação que produz escoamento superficial dá-se o nome de precipitação efetiva. Para a sua determinação, os principais métodos utilizados são de índices e o método SCS.

"A precipitação efetiva é a parcela do total precipitado que gera o escoamento superficial. Para obter o hietograma correspondente à precipitação efetiva é necessário retirar os volumes evaporados, aqueles retidos nas depressões e os infiltrados" (Tucci, 1993).

O escoamento calculado utilizando a equação da continuidade e as equações de Euler para fluidos ideais ou de Navier-Stokes para fluidos reais. Estas equações retratam o escoamento através de conservação da massa (equação da continuidade) e da quantidade de movimento do escoamento considerando as forças envolvidas no escoamento (Tucci, 1998).

Geralmente o escoamento em rios possui direção longitudinal, por este motivo é o processo é representado por equações com uma dimensão espacial. As equações de

continuidade e quantidade de movimento do escoamento unidimensional foram desenvolvidas por Saint Vénant. Estas equações são a base do desenvolvimento dos modelos de escoamento superficial em bacias e em rios.

3.2.2.1. Método de Índices

O uso de índices consiste em um método simplificado de determinar a precipitação efetiva, através do emprego de um fator constante, chamado índice. Tal fator pode ser estimado a partir dos dados de vazão ou adotando-se um valor pré-ajustado com base em eventos anteriores de chuva ou com base no valor estimado para outras bacias com características semelhantes.

O índice α é um fator constante multiplicativo da precipitação total (P), cujo resultado é a precipitação efetiva (P_{ef}), sendo seu valor geralmente entre 0,8 e 0,9 (Tucci, 2000):

$$P_{ef} = \alpha \cdot P \quad (3.4)$$

Outro índice é o ϕ , cujo o valor também constante deve ser subtraído do total precipitado para obter a precipitação efetiva:

$$P_{ef} = P - \phi \quad (3.5)$$

onde ϕ pode ser determinado dividindo-se a diferença entre o total precipitado e o total escoado pelo número de intervalos de tempo em que a precipitação foi discretizada:

$$\phi = \frac{\sum P_t - \sum Q_t}{n_t} \quad (3.6)$$

onde P_t e Q_t é a precipitação e a vazão no instante de tempo t , e n_t é o número de intervalos de tempo.

Outro índice w constitui um valor constante a ser descontado da precipitação total para obter a precipitação efetiva:

$$P_{ef} = P - w \quad (3.7)$$

sendo que na estimativa de tal índice é adotado explicitamente um parâmetro S para contabilizar as perdas iniciais da precipitação:

$$w = \frac{\sum P_i - \sum Q_i - S}{n_i} \quad (3.8)$$

3.2.2.2. Método Soil Conservation Service (SCS)

Este método de determinação da precipitação efetiva foi desenvolvido pelo *Soil Conservation Service*, atual *Natural Resources Conservation Service*, do Departamento de Agricultura dos EUA, em 1975, baseado em estudos que procuraram correlacionar a precipitação total e a efetiva.

De acordo com Tucci (1998), o método, apesar de certas inconsistências apresentadas na literatura, tem sido muito utilizado em todo o mundo devido ao seguinte: (i) reduzido o número de parâmetros; (ii) relação entre os parâmetros e características físicas da bacia. O modelo não foi desenvolvido com o compromisso de representar um evento em específico, mas para estimar o hidrograma de projeto em uma determinada bacia.

Há três maneiras para se achar o número de *runoff* CN do SCS, também chamado de coeficiente de escoamento superficial ou número de deflúvio CN.

1) Características do solo:

Segundo McCuen (1998) o SCS classificou nos Estados Unidos mais de 4.000 solos para verificar o potencial de *runoff* e classificou estes grupos em quatro, identificando com as letras A, B, C e D.

As quatro classificações de Porto (1995) são bastante elucidativas e referem-se à capacidade mínima de infiltração de cada tipo de solo conforme o SCS e estão na Tabela A.1, apresentadas no Anexo A, juntamente com os tipos de solos classificados por Tucci (1993).

2) Pesquisas feitas no país, nos estados ou em regiões ou cidades:

Nos Estados Unidos todos os solos estão classificados conforme os grupos hidrológicos A, B, C ou D e fazem parte do modelo *Technical Release 55* (TR-55).

3) Capacidade mínima de infiltração no solo:

McCuen (1998) apresenta uma classificação dos quatro grupos A, B, C e D conforme disposto na Tabela A.2., em Anexo A, mostrando a capacidade mínima de infiltração no solo conforme o grupo do solo.

O número da curva de *runoff* ou seja do escoamento superficial é um índice que representa uma combinação entre o grupo e a cobertura do solo, conforme verifica-se na Tabela A.3, em Anexo A.

Para a determinação do volume superficial, o modelo utiliza uma expressão que relaciona a razão entre a precipitação total acumulada (P , em mm) com o volume superficial acumulado (Q em mm), e a razão entre a infiltração e o escoamento da bacia (Tucci, 1998). A relação resultante é a seguinte:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (3.9)$$

onde I_a são as perdas iniciais e S o armazenamento do solo.

Segundo o SCS verificou-se que em 50% dos casos observados os valores de I_a estão compreendidos entre $0,1S$ e $0,4S$. Portanto a relação anterior representa um valor médio, calculado apenas em função de CN , e que permite obter uma ordem de grandeza de I_a . De forma geral pode-se determinar as perdas iniciais através da seguinte equação:

$$I_a = \beta \cdot S \quad (3.10)$$

onde β é o valor de ajuste.

Para determinar a capacidade máxima da camada superior do solo S , foi estabelecida uma escala onde a variável é o parâmetro CN . Este parâmetro foi classificado de acordo com o tipo e uso do solo. A expressão que relaciona S e CN é a seguinte:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (3.11)$$

onde, S representa a capacidade de retenção em unidades inglesas (2,54 cm) e CN o número que representa a capacidade de gerar escoamento, tal como foi definida anteriormente. Para se obter o valor de S , em mm, no Sistema Internacional, deve ser utilizada a seguinte expressão:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.12)$$

"Da análise da expressão anterior constata-se que para um valor de CN tendendo a zero obtêm-se um valor de S infinito e para um valor de CN igual a 100 obtêm-se um valor nulo de S . Na prática, admite-se que CN varia entre 1 e 100. Dessa forma, conclui-se que uma bacia com CN igual a 100 seja totalmente impermeável, isto é, a mesma

dispõe de uma capacidade nula de absorver precipitação." (Almeida, 2009)

3.2.2.3. Equações do escoamento

O escoamento em superfície livre pode ser permanente ou não-permanente. O escoamento é permanente quando o gradiente da velocidade e do nível com relação ao do tempo são nulos, ou seja, não há variação de estado no sistema. O escoamento em regime não-permanente considera a variação no tempo e no espaço das variáveis que retratam o sistema. Este escoamento é representado por duas equações: conservação de massa (equação da continuidade) e a quantidade de movimento (equação da quantidade de movimento).

a) Equação da continuidade:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_1 \quad (3.13)$$

onde Q é a vazão em (m³/s); A é a área da seção molhada em (m²); x é a distância no sentido longitudinal em (m); t é o tempo em (s); e q₁ é a vazão por unidade de largura de contribuição lateral em (m³/s/m).

b) Equação da quantidade de movimento:

$$\underbrace{\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t}}_{1^\circ \text{ termo}} + \underbrace{\frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right)}_{2^\circ \text{ termo}} + \underbrace{\frac{\partial y}{\partial x}}_{3^\circ \text{ termo}} = (S_0 - S_f) \quad (3.14)$$

onde o primeiro termo representa a força de inércia do escoamento, o segundo termo a força de pressão e o terceiro termo a força de gravidade e a força de atrito, onde Q é a vazão (m³/s); A é a área da seção molhada (m²); x é a distância no sentido longitudinal (m); t é o tempo (s); g é a aceleração da gravidade (m/s²); y é a profundidade do escoamento (m); S₀ é a declividade da superfície (m/m); e S_f é a declividade da linha de atrito (m/m).

Para chegar nas equações 3.13 e 3.14, de acordo com Tucci (1998), foram adotadas as seguintes simplificações:

- Funções contínuas: na definição das equações diferenciais admitiu-se que as funções são contínuas com relação ao tempo e ao espaço longitudinal;

- Fluido incompressível e homogêneo;
- Pressão hidrostática: despreza-se a aceleração vertical do escoamento que ocorre em ondas com variações bruscas;
- Declividade de fundo: o gradiente de fundo é igual à tangente do ângulo, condição aceita para pequenas declividades de fundo (aproximadamente igual a 0,29 m/m) cujo o erro é de aproximadamente 2%.
- Escoamento unidimensional: na dedução das equações foram desprezadas as variações de velocidade nas direções transversal e vertical. Sendo assim, a velocidade média é representativa da variabilidade da velocidade na seção e o processo é considerado preponderante longitudinal, na direção do rio ou de uma declividade principal.
- Atrito: a declividade da linha de atrito é obtida pelo uso das equações de movimento uniforme de Chézy e Manning.

3.2.2.4. Classificação dos modelos de escoamento

Na literatura as equações 3.13 e 3.14 são consideradas equações completas, apesar das simplificações, pois podem representar o escoamento considerando as complexidades. Tucci (1998) afirma que o escoamento de uma onda num canal produz atenuação e deslocamento devido ao armazenamento e ao atrito com as superfícies do canal e difusão devido ao gradiente de pressão.

Chow (1959) classificou os modelos de escoamento em hidrológicos e hidráulicos. No primeiro grupo estão os modelos ditos de armazenamento, pois consideram somente o efeito do armazenamento no escoamento, desprezando os efeitos da equação de quantidade de movimento, modelo este dito de armazenamento. Os modelos hidráulicos, segundo a definição do referido autor, são aqueles que usam as equações de Saint Vénant.

De acordo com Tucci (1998) os modelos que utilizam a equação da continuidade e a equação da quantidade de movimento, desprezando-se os termos de pressão e de inércia, são ditos modelos de onda cinemática. Introduzindo o termo de pressão no modelo de onda cinemática, tem-se o modelo de difusão. E o modelo hidrodinâmico considera a equação de quantidade de movimento completa.

- Modelo de armazenamento:

$$S = f(I, Q, I', Q') \quad (3.15)$$

- Modelo de onda cinemática:

$$S_0 - S_f \quad (3.16)$$

- Modelo de difusão:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f \quad (3.17)$$

- Modelo hidrodinâmico:

Utilizam as equações (3.13) e (3.14).

3.2.3. Transformação da precipitação em vazão

O papel hidrológico da bacia hidrográfica é o de transformar uma entrada de volume de água concentrada no tempo - a precipitação - em uma saída distribuída no tempo - a vazão-. Isso é o que se chama de transformação chuva-vazão.

De acordo com Paz (2004), um dos principais interesses da hidrologia consiste justamente em estimar a transformação chuva-vazão, ou seja, tentar estimar qual a resposta da bacia hidrográfica devida à ocorrência de uma determinada precipitação. Entre as formas mais usadas para realizar a transformação chuva-vazão estão: (i) métodos simplificados que procuram estimar características do hidrograma; (ii) modelagem do processo chuva-vazão.

No primeiro caso, são empregadas equações empíricas que estimam parâmetros como a vazão e o tempo de pico do hidrograma, por exemplo, sendo mais comuns os métodos racional e do hidrograma unitário. Utilizando o segundo caso, modelos hidrológicos, procura-se reproduzir os processos físicos envolvidos na transformação chuva-vazão, sendo necessária uma grande quantidade de informações, como dados históricos observados de chuva e vazão, caracterização espacial do tipo e uso do solo, parâmetros específicos para determinadas equações, informações de relevo, entre outros.

3.3. Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Segundo Rodrigues (1998), um Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser definido como um sistema que visa à coleta, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de informações sobre entes com localização espacial, ou seja, informações que possam ser georreferenciadas. É um complexo formado por uma base de dados, software, hardware e organização dos dados.

Atualmente o SIG têm sido empregado em diversos estudos de bacias hidrográficas, como uma importante ferramenta na integração e análise das informações. Em termos de tipos de modelos, Shamsi (2002) descreve dois tipos: os "programas de desenvolvimento SIG", em que o software é usado para criar o banco de dados geográfico e os "programas de aplicações em SIG", em que o software é usado para desenvolver aplicações customizadas, como um programa computacional de gerenciamento utilizando SIG e modelos hidrológicos e hidráulicos.

3.4. Modelos hidrológicos

Segundo Tucci (1998) o modelo é a representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas. Assim, quanto mais complexos os sistemas, mais desafiadores e necessários são os modelos.

Dooge (1973) revisou os conceitos utilizados para definir um sistema e concluiu que o sistema é qualquer estrutura, esquema ou procedimento, real ou abstrato, que num dado tempo de referência inter-relaciona uma entrada, causa ou estímulo de energia ou informação, e uma saída, efeito ou resposta de energia ou informação.

De acordo com Tucci (1998), modelo é uma representação do comportamento do sistema. Os modelos usualmente são classificados em: físicos, analógicos e matemáticos. O modelo físico representa o sistema por um protótipo em escala menor, na maior parte dos casos. Os modelos analógicos valem-se da analogia das equações que regem diferentes fenômenos, para modelar no sistema mais conveniente, o processo desejado. Os modelos matemáticos são os que representam a natureza do sistema, através de equações matemáticas, e são mais versáteis, pois permitem facilmente

modificar a sua lógica, obtendo-se resultados para diferentes situações de um mesmo sistema ou de diferentes sistemas, além da rapidez na resposta.

O modelo hidrológico é um dispositivo que a ciência desenvolveu, para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas. O modelo por si só não é um objetivo, mas um dispositivo para atingir um objetivo.

A simulação é o processo de utilização do modelo. Na simulação existe, em geral, três fases que são classificados como estimativa ou ajuste, verificação e previsão. A estimativa dos parâmetros é a fase da simulação onde os parâmetros devem ser determinados. A verificação é a simulação do modelo com os parâmetros estimados onde se verifica a validade do ajuste realizado. A previsão é a simulação do sistema pelo modelo com parâmetros ajustados para quantificação de sua respostas a diferentes entradas.

Segundo Tucci (1998) a estimativa dos parâmetros depende da disponibilidade de dados históricos, medições de amostras e determinação das características físicas do sistema. Os métodos em geral utilizados são:

a) estimativa sem dados históricos: quando não existem dados sobre as variáveis do sistema, pode-se estimar os valores dos parâmetros baseando-se em informações da características físicas do sistema;

b) ajuste por tentativas: é o processo em que existindo valores das variáveis de entrada e saída, são obtidos por tentativas os parâmetros que melhor representem os valores observados através do modelo utilizado;

c) ajuste por otimização: utiliza os mesmos dados do processo por tentativa mas, por métodos matemáticos, otimiza uma função objetivo que retrata a diferença entre os dados observados e os calculados pelo modelo;

d) amostragem: os valores dos parâmetros são obtidos através de medições específicas no sistema.

3.4.1. Classificação de modelos e sistemas

De acordo com Tucci (1998) um sistema pode ser classificado segundo vários critérios encontrados na literatura. Os modelos que representam os sistemas também se enquadram dentro destas classificações. No entanto, nem sempre um sistema é

representado pelo modelo de mesmas características, devido a simplificações adotadas nos últimos. As classificações a seguir apresentadas mencionam indistintamente os termos sistema e modelo.

a) Memória: é o intervalo de tempo, no passado, durante o qual a entrada afeta o estado presente do sistema (Dooge, 1973).

b) Linearidade: um sistema é linear quando as propriedades de superposição e homogeneidade são satisfeitas (Cheng, 1959).

c) Contínuo e discreto: um sistema é dito contínuo quando os fenômenos são contínuos no tempo, e discreto quando as mudanças de estado se dão em intervalos discretos (Tucci, 1998).

d) Concentrado e distribuído: um modelo é concentrado quando não leva em conta a variabilidade espacial. O modelo é dito distribuído quando as variáveis e parâmetros do modelo dependem do espaço e/ou do tempo.

e) Estocástico e determinístico: se a chance de ocorrência das variáveis é levada em conta, e o conceito de probabilidade é introduzido na formulação do modelo, o processo e o modelo são ditos estocásticos. De outro lado, se a chance de ocorrência das variáveis envolvidas no processo é ignorada, e o modelo segue uma lei definida que não a lei das probabilidades, o modelo e os processos são ditos determinísticos (Chow, 1964). Dooge (1973) definiu a diferença entre sistemas determinísticos e estocásticos da seguinte forma: quando, para uma mesma entrada, o sistema produz sempre a mesma saída, o sistema é dito determinístico, enquanto que o sistema é estocástico quando o relacionamento entre a entrada e a saída é estatístico.

f) Conceitual e empírico: um modelo é dito conceitual, quando as funções utilizadas na sua elaboração levam em consideração os processos físicos. Os modelos empíricos são aqueles em que se ajustam os valores calculados aos dados observados, através de funções que não têm nenhuma relação com os processos físicos envolvidos (Tucci, 1998).

3.4.2. Modelos Precipitação-vazão

"Estes modelos surgiram com a necessidade de se obterem séries hidrológicas de vazões mais longas e representativas, para diferentes projetos de recursos hídricos. As séries de precipitações, normalmente, são mais longas que as de vazão. Além disso, com

a modificação das bacias pela construção de obras hidráulicas e alterações no uso do solo, as séries de vazões deixaram de ser homogêneas ou estacionárias. Partindo da precipitação, é possível completar vazões desconhecidas ou estimar as mesmas para os novos cenários existentes ou previstos para as bacias" (Tucci, 1998).

Conforme Tucci (1998) a estrutura atual dos modelos hidrológicos precipitação-vazão é baseada nos seguintes elementos: discretização da bacia hidrográfica, variáveis de entrada, estrutura básica de integração dos processos, aquisição dos dados físicos das bacias e determinação de parâmetros.

I) Discretização da bacia hidrográfica: quando há a utilização de critérios de divisão espacial para representar a bacia, conforme ilustra a Figura 3.5. De forma geral os modelos adotam uma das seguintes estruturas para discretização:

- Concentrado: toda bacia é representada por uma precipitação média e os processos hidrológicos por variáveis concentradas no espaço (figura 3.5a). Esta estrutura geralmente é utilizado em pequenas bacias;
- Distribuído por sub-bacias: de acordo com a drenagem principal da bacia, a estrutura faz uma subdivisão da bacia para sub-bacias (figura 3.5b). A subdivisão acontece baseada no seguinte: disponibilidade de dados, locais de interesse e variabilidade dos parâmetros físicos da bacia;
- Distribuição por módulos: esta discretização é feita por formas geométricas, sem relação direta com a forma da bacia, mas caracterizando internamente os componentes dos processos (figura 3.5c).

II) Variáveis de entrada: as variáveis de entrada normalmente utilizadas pelos modelos são: precipitação e a evapotranspiração potencial.

- Precipitação: caracterizada como a principal variável de entrada. A estimativa adequada da precipitação exige uma densa rede de pluviômetros e pluviógrafos, fato que não ocorre na prática, uma vez que as redes disponíveis são geralmente insuficientes para representar as variabilidades espaciais e temporais;
- Evapotranspiração: normalmente existem poucos dados deste tipo. Na realidade, os postos climatológicos fornecem dados de tanque, ou seja, evaporação e informações climatológicas que permitem a estimativa da evapotranspiração.

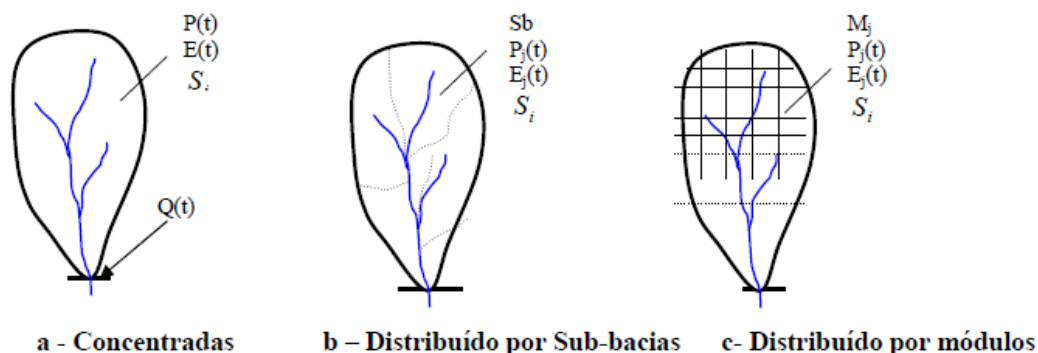


Figura 3.5 - Estruturas para discretização de bacia hidrográfica. (Fonte: Tucci, 1998)

Na Figura 3.5, $P(t)$ representa a precipitação no instante t , $E(t)$ a evaporação no instante t , $Q(t)$ a vazão no instante t , M o módulo da bacia, S_i a declividade e S_b a palavra sub-bacia.

III) Estrutura básica da integração dos processos: usualmente esta estrutura é separada em dois módulos: bacia e canal.

- Bacia: simula o balanço vertical dos fluxos e o escoamento na sub-bacia ou no módulo;
- Canal: simula o escoamento em rios e canais definidos, propagando a vazão de montante e recebendo contribuições do módulo da bacia.

IV) Aquisição dos dados físicos das bacias: pela grande diversidade de características naturais e variabilidade dos usos do solo, conseqüentemente resulta numa quantidade elevada de informações a serem transferidas para o modelo. Normalmente, utiliza-se o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto como ferramentas para obtenção de informações físicas da bacia hidrográfica.

V) Determinação dos parâmetros: existem parâmetros de modelos que são estimados com base nas características físicas, e outros que devem ser ajustados com base em dados observados das variáveis de entrada e saída.

"Os modelos concentrados consideram, que todas as variáveis de entrada e de saída são representativas de toda área estudada, podendo produzir resultados razoáveis, por não considerar precisamente as condições locais, os parâmetros são obtidos através de técnicas de ajuste e são desprovidos de significado físico. Os modelos distribuídos consideram a variabilidade espacial encontrada nas diversas variáveis do modelo, dividindo a bacia em subsistemas e agrupando-as, através da igualdade de condições de contorno, procurando dar significado físicos aos seus parâmetros. Os modelos

diferenciais distribuídos representam o comportamento da bacia pelas equações diferenciais, discretizadas no tempo e no espaço, que expressam o balanço de massa e a quantidade de movimento para cada subsistema. Os subsistemas são então interligados a cada intervalo de tempo, igualando suas mútuas condições de contorno" (Steffen, 1997).

Kite e Kouwen (1992) afirmam que os modelos concentrado podem apresentar resultados razoáveis, por tratar a bacia com uma área homogênea e de precipitação igualmente distribuída em toda sua área, não condizendo precisamente com a situação do local. Os modelos distribuídos dividem a bacia em subsistemas e aplicam para cada caso, suas particularidades separadamente, propagando as vazões que deles resultam, ao longo de cada trecho definido de canal. Os modelos distribuídos, embora flexíveis, necessitam de mais dados, mais parâmetros e maior esforço na aplicação. Porém, a escolha de um determinado tipo de modelo deve ser feita com base nos objetivos do estudo, características da bacia e do rio, na disponibilidades de dados e familiaridade com o modelo.

Beven (1989) afirma que os modelos hidrológicos distribuídos físicos são os que melhor representam processos físicos dentro de uma bacia hidrográfica, porém requerem uma quantidade bastante extensa e detalhada de informação sobre a bacia, de modo a realizar uma parametrização do modelo.

Conceitualmente, o espaço pode ser discretizado segundo duas abordagens distintas. Na primeira, a divisão é feita em partes identificáveis, as quais são denominadas objetos e podem ser representadas através de pontos, linhas ou polígonos. Ou então, o espaço pode também ser simplesmente segmentado formando o que se denomina campos contínuos (Burrough, 1998).

"O caso mais simples de discretização espacial de uma bacia hidrográfica é dividi-la em sub-bacias, onde cada uma constitui uma sistema agregado, conectadas por ligações que representam os cursos d'água" (Maidment, 1993).

Para estudos hidrológicos que analisam fluxos superficiais e subsuperficiais, os modelos agregados têm pouca aplicabilidade. Como a topografia é o principal fator determinante nos processos de transporte de materiais, os modelos que tratam da distribuição espacial da água na bacia hidrográfica requerem dados baseados nas características topográficas desta bacia tais como, limites das bacias e sub-bacias, inclinação do terreno, comprimento de rampa, forma do declive, orientação das vertentes, características dos canais de drenagem e conexões entre áreas que definirão

como a água se move através da paisagem. Estes atributos topográficos podem ser computados a partir de um Modelo Numérico do Terreno (MNT) usando-se uma variedade de técnicas. A estrutura ideal para um MNT depende do objetivo do uso do dado e de como este pode se relacionar com a estrutura de um modelo. (Moore *et al.*, 1993). As três principais formas de se estruturar um MNT, conforme a Figura 3.6: a) grades regulares; b) grades triangulares; e c) curvas de nível (Rennó e Soares, 2004).

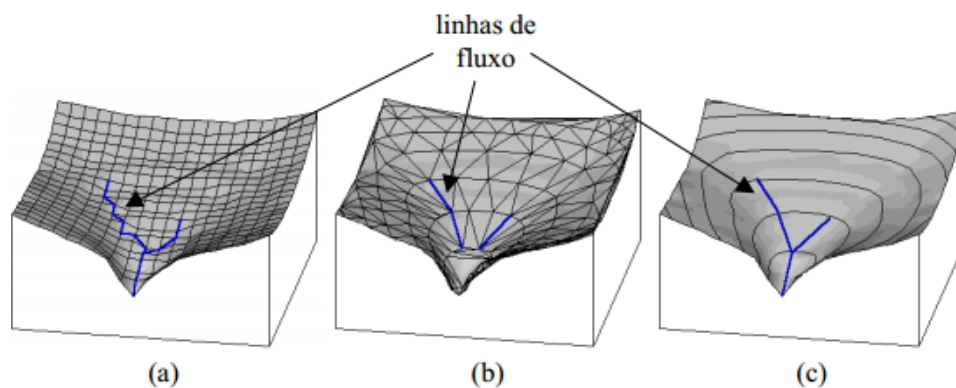


Figura 3.6 - Representação do MNT para uma bacia hidrográfica. (Fonte: Rennó e Soares, 2004)

Desai (1979) apresentou uma solução para o escoamento superficial unidimensional da onda cinemática, através de elementos finitos, considerando que a bacia é composta por duas partes, uma de escoamento superficial e outra de canais. A parcela geradora do escoamento superficial, é dividida em zonas, e estas em planos, de acordo com as características físicas da bacia. A precipitação efetiva de cada plano é transformada em escoamento superficial, e este alimenta os elementos do canal. As vazões são propagadas dentro dos canais, até a seção de interesse.

Para a montagem e definição dos planos para cálculo do escoamento superficial, leva-se em conta as características geométricas (comprimento e largura média) e físicas (declividade e rugosidade), conforme a Figura 3.7

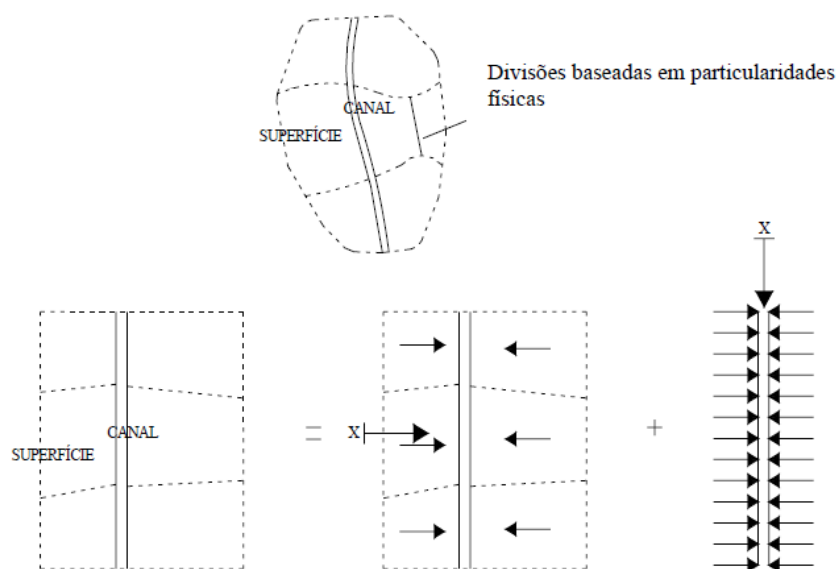


Figura 3.7 - Discretização de bacias em zonas e planos (Fonte: Desai, 1979)

Um modelo espacialmente distribuído, consistindo de células interligadas de formato semelhantes à rede de drenagem da bacia hidrográfica, foi apresentado por Diskin e Simpson (1978). De acordo com Costa Neto (2005) cada célula tem como entrada a precipitação sobre a área a qual ela representa, adicionada às vazões provenientes de outras células à montante. A representação é feita conforme o esquema da Figura 3.8.

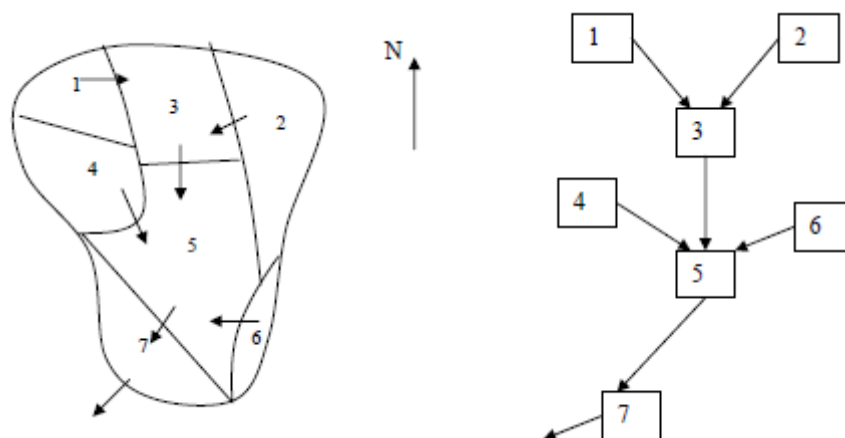


Figura 3.8 - Representação da bacia por meio de células (Fonte Diskin e Simpson, 1978)

Singh (1975) propôs quatro formas para representar as configurações geométricas visando uma melhor representação gráfica de uma bacia natural, são elas:

convergindo à seção de um cone (Figura 3.9); dois planos retangulares e um canal, em forma de V (Figura 3.10); seção composta (Figura 3.11); e cascata de planos contribuindo para o canal (Figura 3.12).

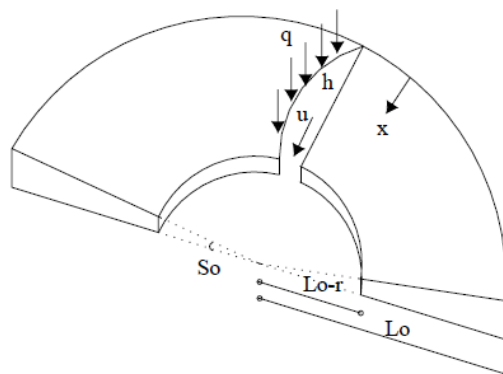


Figura 3.9 - Geometria da seção de um cone (Fonte: Singh, 1975)

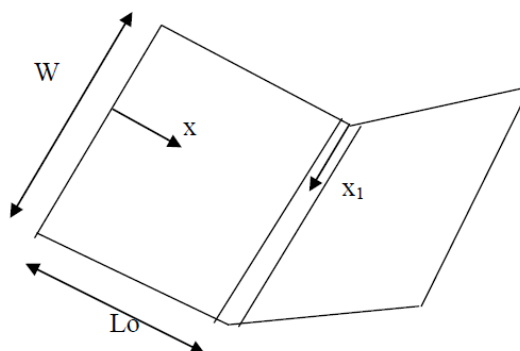


Figura 3.10 - Geometria de dois planos retangulares e um canal, em forma de V. (Fonte: Singh, 1975)

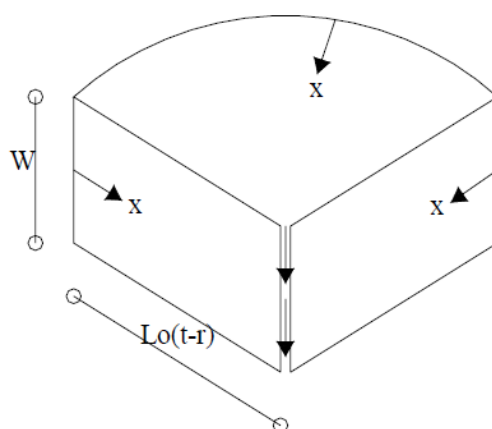


Figura 3.11 - Geometria da seção composta (Fonte: Singh, 1975)

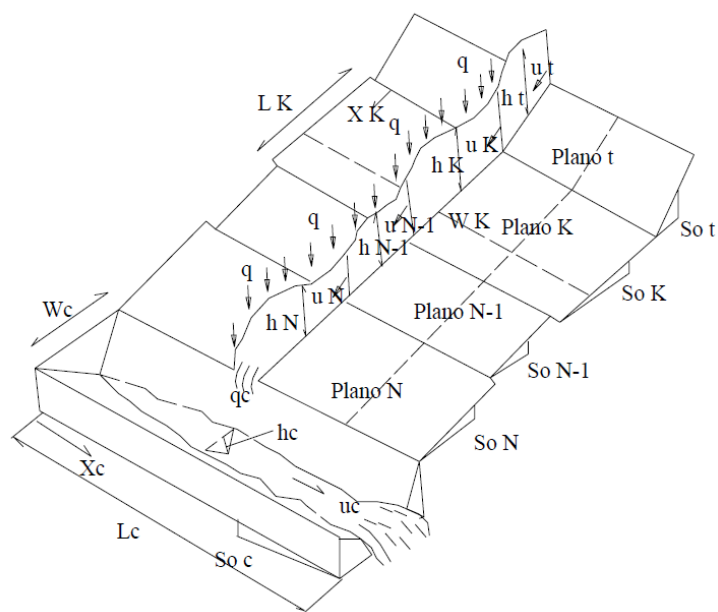


Figura 3.12 - Geometria em cascata de planos contribuindo para o canal (Fonte: Singh, 1975)

O comportamento do escoamento superficial depende essencialmente da cobertura da bacia, de sua declividade e do sistema de drenagem. De acordo com Tucci (1998) a representação desse escoamento em todos os seus detalhes é difícil devido a grande heterogeneidade espacial das bacias. Esse processo tem sido idealizado por planos de escoamento com pequena profundidade e grande largura, caracterizadas pelas direções predominantes que são definidas pela declividade topográfica.

Para os casos em que o escoamento superficial ocorra em dois planos idealizados retangulares em canais livres, a parcela da precipitação referente a infiltração pode ser desconsiderada. Portanto, a partir do esquema (Figura 3.13) pode-se deduzir as equações para escoamento em planos e canais.

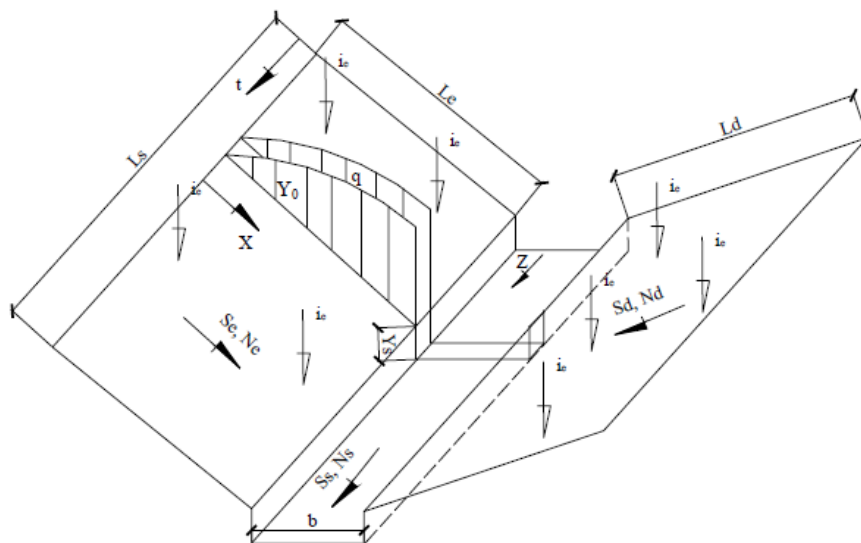


Figura 3.13 - Trecho de rio com dois planos retangulares e canais livres (Fonte: Costa Neto, 2014).

3.4.3. Equações do escoamento superficial

A solução da equação diferencial é obtida por métodos de discretização de diferenças finitas, aplicada a uma forma simplificada da bacia hidrográfica, constituída de dois planos laterais idealizados e um canal livre, conforme adaptação à metodologia adotada por Costa Neto *et al.* (2014), na simulação do escoamento superficial baseada na teoria da onda cinemática e com adimensionalização de variáveis.

3.4.3.1. Equações para escoamento nos planos

Considerando a equação da onda cinemática, onde:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_L \quad (3.18)$$

e

$$q_1 = \alpha y^m \quad (3.19)$$

sendo: $A = b.y$ e $Q = q.b$

Particularizando para o plano de índice 0 , temos:

$$\frac{\partial q_0}{\partial x} + \frac{\partial y_0}{\partial t} = \begin{array}{c} \longrightarrow i_e \xrightarrow{\text{para}} t \leq t_d \\ \longrightarrow -f_c \xrightarrow{\text{para}} t > t_d \end{array} \quad (3.20)$$

$$q_0 = \alpha_0 \cdot y_0^m \quad (3.21)$$

sendo: $\alpha_0 = S_0^{\frac{1}{2}} / n_0$ e $m = 5/3$ tem-se:

$$q_0 = \frac{\sqrt{S_0}}{n_0} \sqrt[3]{y_0^5} \quad (3.22)$$

Expressando y_0 em função de q_0 na equação (3.22), diferenciando em função de t e substituindo na equação (3.21), temos:

Assim, partindo de que:

$$\frac{\partial q_0}{\partial x} + \frac{1}{\alpha_0^m m q_0^{1-\frac{1}{m}}} \cdot \frac{\partial q_0}{\partial t} = i_e \rightarrow \text{para } t \leq t_d \quad (3.23)$$

Adimensionalizando as variáveis, i_e representa a precipitação efetiva e t_d o tempo de detenção. Ao trabalhar com diversos planos e sub-bacias, torna-se necessário a adoção de um tempo de referência t_R em substituição ao t_d . No caso de varia a precipitação efetiva no tempo, adota-se também uma precipitação de referência i_R , ficando as equações expressas por:

$$X = \frac{x}{L_0} \quad (3.24)$$

$$P = \frac{q_0}{(i_R \cdot L_0)} \quad (3.25)$$

$$T = m \cdot \frac{t}{t_R} \quad (3.26)$$

Assim, t_R poderá ser obtido da seguinte forma:

$$t_r = \left(\frac{m}{NIT \cdot \Delta t} \right) \cdot t_b \quad (3.27)$$

onde: NIT - Número de intervalos de tempo;

t_b = Tempo de base do hidrograma;

Δt = Intervalo de tempo.

Isolando q_0 , x e t nas equações adimensionais temos:

$$\frac{\partial q_0}{\partial x} = \frac{\partial q_0}{\partial X} \frac{\partial X}{\partial x} = \frac{\partial q_0}{\partial X} \frac{1}{L_0} \quad (3.28)$$

$$\frac{\partial q_0}{\partial t} = \frac{\partial q_0}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial q_0}{\partial T} \frac{1}{t_R} \quad (3.29)$$

Substituindo as equações (3.28) e (3.29) na equação (3.23), temos:

$$\frac{\partial q_0}{\partial X} \frac{1}{L_0} + \frac{m}{\alpha_0^{\frac{1}{m}} m (q_0)^{1-\frac{1}{m}} t_R} \frac{\partial q_0}{\partial T} = i_e \quad (3.30)$$

Sendo: $q_0 = P \cdot i_R \cdot L_0$

$$\frac{\partial q_0}{\partial X} = i_R \cdot L_0 \cdot \frac{\partial P}{\partial X} \quad (3.31)$$

$$\frac{\partial q_0}{\partial T} = i_R \cdot L_0 \cdot \frac{\partial P}{\partial T} \quad (3.32)$$

Substituindo as equações (3.31) e (3.32), na equação (3.30) e dividindo toda equação por i_R e simplificando os valores de m , temos:

$$\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{L_0}{\alpha_0^{\frac{1}{m}} P^{1-\frac{1}{m}} i_R^{1-\frac{1}{m}} L_0^{1-\frac{1}{m}} t_R} \frac{\partial P}{\partial T} = \frac{i_e}{i_R} \quad (3.33)$$

sendo: $K_0 = \frac{i_e}{i_R}$ e substituindo o valor de P e simplificando i_R e parcela do L_0 no segundo termo da equação, temos:

$$\frac{\partial P}{\partial X} + \left(\frac{L_0}{\alpha_0} \right)^{\frac{1}{m}} \frac{1}{P^{1-\frac{1}{m}} \cdot i_R^{1-\frac{1}{m}} \cdot t_R} \frac{\partial P}{\partial T} = K_0 \quad (3.34)$$

sendo: $T_{cR} = \left(\frac{L_0}{\alpha_0} \right)^{\frac{1}{m}} \cdot \frac{1}{i_R^{1-\frac{1}{m}}}$, o tempo de concentração para cada plano calculado com a precipitação de referência.

3.4.3.2. Equações para escoamento no canal

A equação da continuidade utilizada para o escoamento em canais, considerando que os planos laterais possuem largura, comprimento, rugosidade, declividade e intensidade iguais, pode ser descrita da seguinte forma:

$$\frac{\partial Q_s}{\partial z} + b \frac{\partial Y_s}{\partial t} = 2q_0 L \quad (3.35)$$

Partindo da Equação de Manning onde:

$$Q_s = b \alpha_s Y_s^m \quad (3.36)$$

Expressando Y_s em função de Q_s , através da equação (3.36), derivando e manipulando algebricamente e substituindo na equação (3.35) resulta em:

$$\frac{\partial Q_s}{\partial z} + \frac{b^{1-1/m}}{m \alpha_s^{1/m} Q_s^{1-1/m}} \frac{\partial Q_s}{\partial t} = 2q_0 \quad (3.37)$$

Considerando as variáveis já adimensionalizadas nas equações 3.24 a 3.26 e ainda:

$$Q = \frac{Q_s}{2L_0 L_s i_e} \quad (3.38)$$

$$Z = z / L_s \quad (3.39)$$

Substituindo Q_s , z , t , q_0 e m , na equação 3.37, temos:

$$\frac{G}{Q^{0,4}} \frac{\partial Q}{\partial T} + \frac{\partial Q}{\partial Z} = P \quad (3.40)$$

onde,

$$G = \left(\frac{2L_s}{b \alpha_s} \right)^{0,6} \frac{b \alpha_0^{0,6}}{2L_0} \quad (3.41)$$

Considerando neste trabalho, os planos laterais de contribuição com comprimentos, declividades, rugosidades e intensidades diferentes, e mantendo iguais somente suas larguras, entendemos que a equação (3.37) será escrita da seguinte forma:

$$\frac{\partial Q_s}{\partial z} + \frac{b^{1-\frac{1}{m}}}{m \cdot \alpha_s^{\frac{1}{m}} \cdot Q_s^{1-\frac{1}{m}}} \frac{\partial Q_s}{\partial t} = q_0 \quad (3.42)$$

Considerando as variáveis já adimensionalizadas e ainda:

$$q_{m\acute{a}x} = P_{m\acute{a}x} i_{Rm\acute{a}x} (L_{em\acute{a}x} + L_{dm\acute{a}x})$$

onde P é máximo quando $P_{m\acute{a}x} = 1$

$$Q = \frac{Q_s}{q_{m\acute{a}x} L_{cm\acute{a}x}} \quad (3.43)$$

$$\frac{\partial Q_s}{\partial z} + b \frac{\partial Y_s}{\partial t} = q \quad (3.44)$$

$$Q_s = q_{max} Q L_{cmax} \quad (3.45)$$

$$\frac{\partial Q_s}{\partial z} = \frac{\partial Q_s}{\partial Z} \frac{\partial Z}{\partial z} = q_{max} L_{cmax} \frac{\partial Q}{\partial Z} \quad (3.46)$$

$$\frac{\partial Q_s}{\partial t} = \frac{\partial Q_s}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t} = q_{max} L_{cmax} \frac{\partial Q}{\partial T} \quad (3.47)$$

Substituindo as equações (3.47) e (3.46) na equação (3.37), temos:

$$q_{max} L_{cmax} \frac{\partial Q_s}{\partial Z} + \frac{b^{1-\frac{1}{m}}}{\alpha_s^{\frac{1}{m}} \cdot Q_s^{1-\frac{1}{m}}} \frac{L_s q_{max} L_{cmax}}{t_R} \frac{\partial Q}{\partial T} = q \cdot L_s \quad (3.48)$$

Dividindo toda equação por $(q_{max} L_{cmax})$ e substituindo Q_s :

$$\frac{\partial Q}{\partial Z} + \frac{b^{1-\frac{1}{m}}}{\alpha_s^{\frac{1}{m}} \cdot q_{máx}^{1-\frac{1}{m}} Q^{0,4} L_{cmáx}^{1-\frac{1}{m}}} \frac{L_s}{t_R} \frac{\partial Q}{\partial T} = \frac{q \cdot L_s}{q_{max} L_{cmax}} \quad (3.49)$$

fazendo:

$$q^* = \frac{(q \cdot L_s)}{q_{max} L_{cmax}} \quad (3.50)$$

obtemos:

$$G = \frac{L_s b^{1-\frac{1}{m}}}{\alpha_s^{\frac{1}{m}} \cdot q_{máx}^{1-\frac{1}{m}} L_{cmáx}^{1-\frac{1}{m}}} \cdot \frac{1}{t_R} \quad (3.51)$$

3.4.4. Métodos numéricos

Na simulação dos processos hidrológicos, assim como em outras áreas científicas, os métodos numéricos são indispensáveis na solução de equações diferenciais complexas, que formulam a realidade dos sistemas.

Tais equações podem ser classificadas, segundo as variáveis independentes, em ordinárias ou parciais. Sendo que as ordinárias possuem somente uma variável independente, já a parcial possui pelo menos duas variáveis independentes.

Segundo Costa Neto (2005) a resolução das equações diferenciais aplicadas aos recursos hídricos, por serem representativas de um sistema heterogêneo e variável no espaço, dificilmente possuem soluções analíticas. Assim, sendo, utilizam-se de métodos

numéricos para solução das mesmas, citando-se o método de diferenças finitas como aquele de maior aplicação, devido a simplicidade e flexibilidade.

Os esquemas numéricos de diferenças finitas baseiam-se na substituição das derivadas por relações de diferenças entre a variável dependente e as independentes. Partindo do desenvolvimento de uma função em série de Taylor e do truncamento da série a partir da derivada de uma determinada ordem, são obtidos os esquemas de discretização necessários.

As equações diferenciais parciais necessitam da definição das condições iniciais e de contorno. A discretização no tempo depende de como as derivadas são discretizadas no plano x - t . A discretização no tempo é classificada em explícita e implícita.

Os esquemas numéricos explícitos utilizam as variáveis do tempo t para resolver a incógnita no tempo $t+1$, enquanto que os esquemas implícitos utilizam as informações das variáveis no tempo t e no tempo $t+1$ para encontrar as variáveis em $t+1$, conforme a Figura 3.14. No esquema explícito a derivada é avaliada no tempo t , e o termo θ_i^{t+1} é calculado em função dos dados conhecidos no tempo t , configurando a seguinte equação:

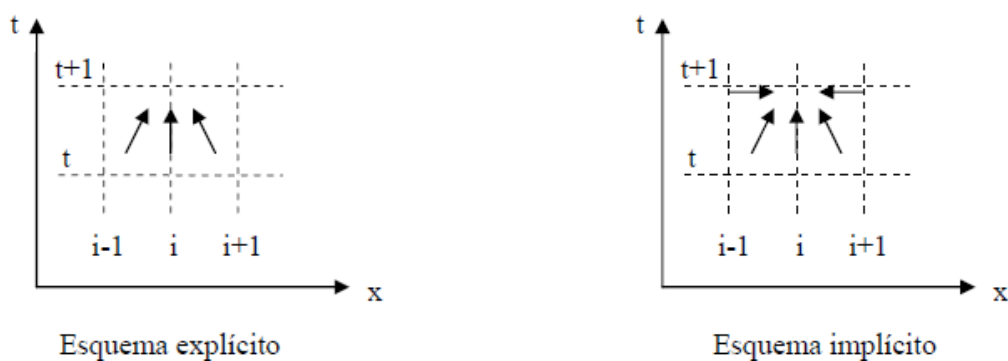


Figura 3.14 - Esquemas numéricos no tempo (Fonte: Tucci, 1998)

Há a necessidade de conhecer algumas condições dos esquemas que permitem uma solução compatível para a equação diferencial. A solução numérica sempre envolve algum erro com relação a sua solução analítica. Para minimizar os erros, indica-se verificar a consistência, convergência, estabilidade e precisão numérica do esquema utilizado.

Segundo Costa Neto (2005) o sistema é consistente, na proporção em que a solução numérica se aproxima da solução analítica. A consistência do esquema é

observada quando toda a equação numérica converge para a equação diferencial. A estabilidade numérica de um esquema é necessária para que se obtenha uma solução aceitável do problema proposto. A instabilidade pode ocorrer por erros de truncamento na expansão da série de Taylor, arredondamento e discretização. Na solução numérica, ao longo do tempo e do espaço, esses erros podem se acumular, levando o resultado final da equação diferencial a valores absurdos. A análise da precisão numérica de um esquema deve resultar em critérios para a escolha correta dos intervalos de tempo Δt e de espaço Δx , de tal forma que a solução numérica tende a se aproximar da solução analítica.

3.4.5. Hidrograma

Para estudar ou avaliar o escoamento superficial, é de grande utilidade o traçado do hidrograma, que consiste em um gráfico da evolução da vazão ao longo do tempo. Para um rio, o hidrograma se refere a uma seção transversal específica, já que ao longo do seu curso o rio vai recebendo mais contribuições e aumentando sua vazão, até aquele ponto.

"Vendo a bacia hidrográfica como um sistema físico, cuja entrada é a precipitação e saída é a vazão no seu exutório, entende-se que o hidrograma representa a resposta da bacia, naquele ponto ou seção considerada, à precipitação que ocorreu na sua área de contribuição" (Paz, 2004).

Então dada à ocorrência de um evento de chuva, a resposta da bacia ou o hidrograma resultante tem tipicamente o aspecto ilustrado na Figura 3.15.

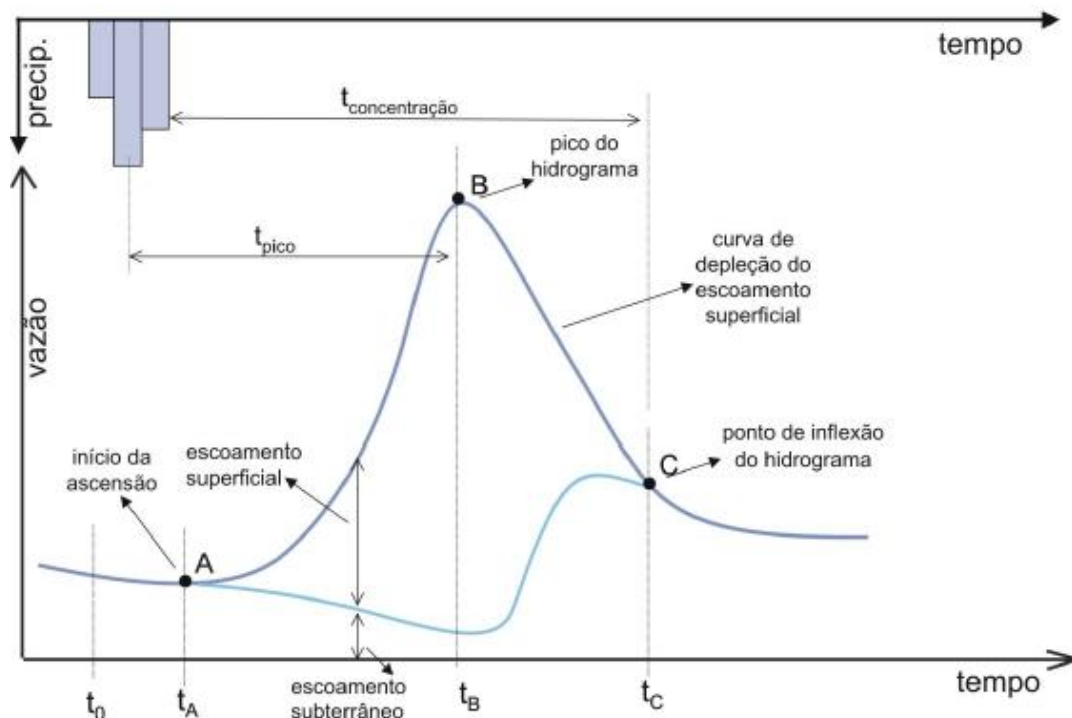


Figura 3.15 - Hidrograma típico resultante da ocorrência de uma precipitação na área contribuinte (Fonte: Paz, 2004)

No hidrograma esquemático apresentado na Figura 3.15, convém destacar alguns pontos:

- em resposta à precipitação ocorrida, a vazão no rio inicia sua ascensão no ponto A, alcançando a vazão máxima correspondente ao ponto B;
- a curva de ascensão do hidrograma localiza-se entre os pontos A e B, enquanto o trecho B e C refere-se a curva de recessão;
- no hidrograma em questão, parte da vazão é devido ao escoamento superficial nas vertentes e parte é deve-se à alimentação do rio pelas águas subterrâneas;
- o ponto C, como ponto de inflexão, caracteriza o instante em que cessa o escoamento superficial devido precipitação.

Uma característica importante do hidrograma de uma bacia é o tempo de concentração (t_c), definido como sendo o tempo necessário para que toda a bacia hidrográfica contribua para o ponto analisado, ou seja, é o tempo necessário para que água precipitada no ponto mais distante da bacia se desloque até a seção analisada.

Uma forma usual de estimar esse parâmetro são equações empíricas que correlacionam aspectos físicos da bacia com o tempo de concentração. A equação de

Kirpich (equação 3.52) e SCS (equação 3.53) são exemplos, conforme Almeida *et al.*, 2014.

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (3.52)$$

$$t_p = \frac{26,8L^{0,8}(S / 25,4 + 1)^{0,7}}{D^{0,5}} \quad (3.53)$$

onde t_c é o tempo de concentração em minutos; t_p é o tempo de pico em minutos; L é o comprimento em km; D é declividade em percentagem; e H é o desnível em m.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Aspectos gerais

A metodologia utilizada neste trabalho envolve a utilização dos modelos matemáticos de Onda Cinemática para simulação de eventos estimando vazões desconhecidas, alimentados por dados hidrológicos e físicos de uma bacia hidrográfica.

De posse dos limites da bacia, foram determinadas as cartas topográficas e imagens necessárias para elaboração das cartas com as informações indispensáveis à alimentação do modelo hidrológico. A simulação do escoamento superficial e de propagação de vazão em canais adota o modelo de transformação da bacia hidrográfica em dois planos retangulares, dispostos em forma de "V", representando as superfícies do terreno, e um canal de drenagem central que representa o rio, todos com larguras variáveis e constantes.

A bacia hidrográfica em análise foi dividida em sub-bacias, com o objetivo de uma melhor avaliação do escoamento em cada trecho para os diferentes níveis de discretização espacial. As dicretizações buscaram homogeneidade nas sub-bacias no que se refere principalmente à declividade, rugosidade, precipitação efetiva, vegetação, pedologia e uso do solo.

4.2. Escolha e descrição da área de estudo

A Unidade de Planejamento e Gerenciamento (UPG) Ivinhema, localiza-se na parte sudeste de Mato Grosso do Sul, entre as latitudes $21^{\circ}51'00''$ e $23^{\circ}14'00''$ S e longitudes $52^{\circ}21'00''$ e $55^{\circ}57'00''$ W, com uma área aproximada de 46.688,75 km², conforme a Figura 4.1.

A área de estudo, ilustrado na Figura 4.2, está inserida na UPG Ivinhema, compreendendo quatro rios principais e seus contribuintes, com a área aproximada de 31.943,11 km², tendo seu exutório a estação fluviométrica Ivinhema, localizada no Município de Ivinhema em Mato Grosso do Sul, no entorno da latitude $22^{\circ} 22' 57''$ S e longitude $53^{\circ} 31' 43''$ W.

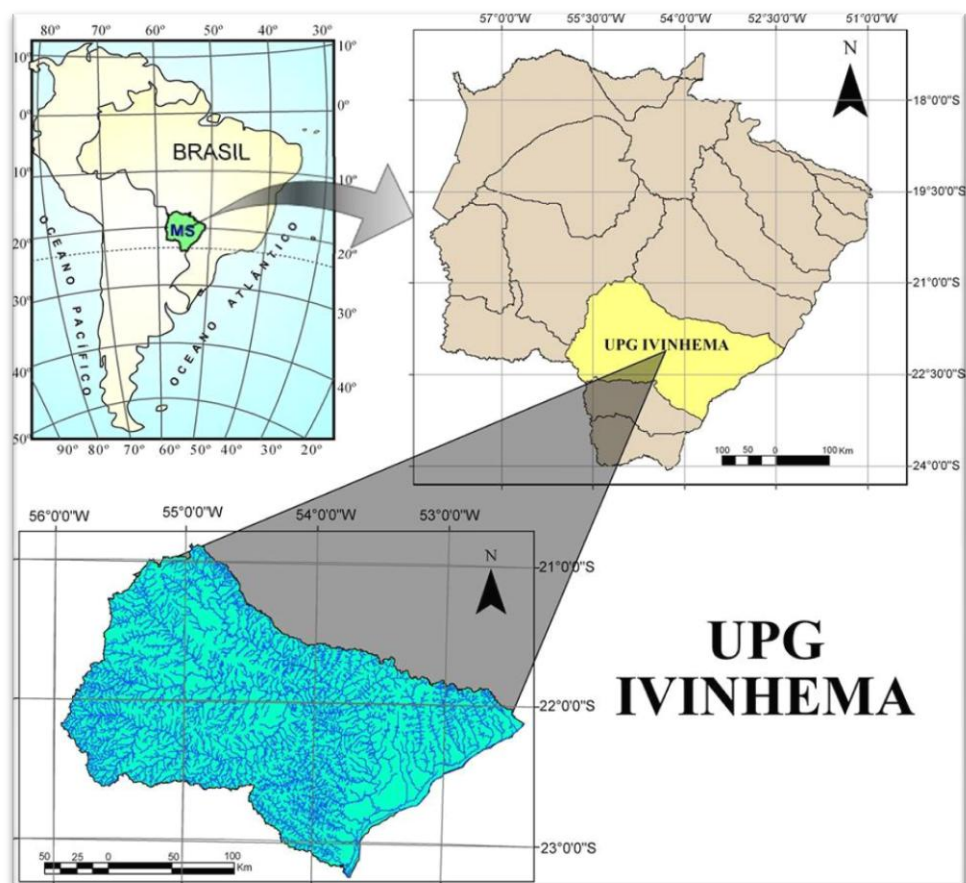


Figura 4.1 - Unidade de Planejamento e Gerenciamento Ivinhema

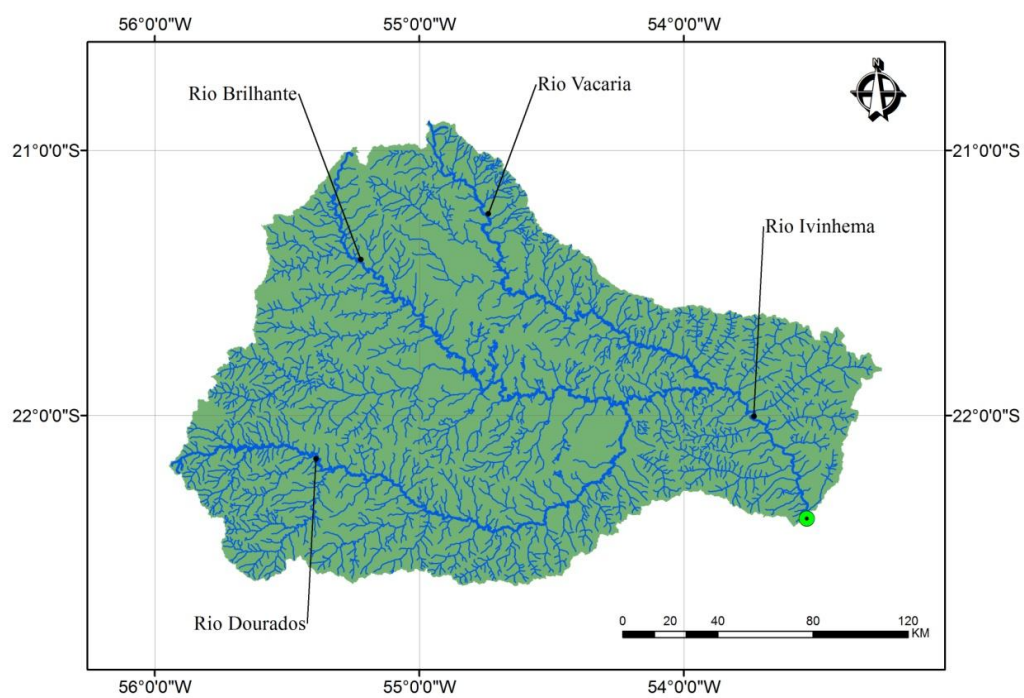


Figura 4.2 - Localização da área de estudo

A escolha desta área de estudo se deu pela existência de dados de oito estações fluviométricas e treze estações pluviométricas influentes, e também pela elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Ivinhema em que há disponibilidade de informações de suas características físicas. Já o ponto exutório da área de estudo foi selecionado por apresentar dados observados de vazões pela Agência Nacional de Águas (ANA) com o intuito da verificação com as vazões simuladas pelo modelo hidrológico.

4.3. Caracterização fisiográfica da área de estudo em ambiente SIG

Para obtenção dos cursos hídricos da bacia hidrográfica, das curvas de nível e para conferência das bacias e sub-bacias foram geradas através das imagens Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) adquiridas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) as quais possuem dados de relevo do terreno.

A etapa seguinte consistiu na aquisição e no georreferenciamento das imagens do satélite ResourceSat-1, Sensor LISS3 da área de estudo, imagens estas com resolução espacial de 24 metros. Para a caracterização do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Ivinhema foram necessárias ao todo oito imagens de satélite, conforme Tabela 4.1 e estas ilustradas na Figura 4.3. Tais cenas foram corrigidas geometricamente utilizando-se como base imagens ortorretificadas e registradas dos satélites Landsat-5 e Landsat-7, todas compreendidas no período de 2005, fornecidas gratuitamente do projeto Global Land Survey (GLS). Buscou-se atender aos padrões cartográficos de exatidão, realizando-se o georreferenciamento com erro máximo tolerável de 15 metros.

TABELA 4.1- Imagens ResourceSat -1, Sensor LISS3

Órbita	Ponto	Data de passagem
322	093	27/10/2012
322	094	27/10/2012
323	093	01/03/2013
323	094	01/03/2013
324	093	02/08/2013
324	094	02/08/2013
325	093	22/01/2013
325	094	22/01/2013

Para determinação do uso e ocupação do solo utilizaram-se três bandas do satélite ResourceSat-1: a banda 3 (vermelha) para identificação de vegetação e uso do solo, a banda 4 (infravermelho próximo) para áreas de silvicultura, vegetação, geomorfologia, pedologia, geologia e uso e ocupação do solo e, a banda 5 (infravermelho médio) na identificação de queimadas, do uso do solo e da vegetação. A fim de melhor visualizar os recursos hídricos superficiais e a situação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica, as imagens de satélite foram trabalhadas na composição *Red/Green/Blue* (RGB) 4/5/3, que permite identificação dos dados de interesse no estudo. Através de classificação automática supervisionada, onde são escolhidas diversas áreas de treinamento (*Training Samples*) nas imagens de satélites classificadas, aplicou-se então algoritmos específicos de geoprocessamento que detectaram por semelhança os locais com mesma resposta espectral na imagem e mapeá-los, baseados no sistema de cores apresentados pelo programa CORINE - *Coordination of Information of Environment* (Bossard *et al.*, 2000).

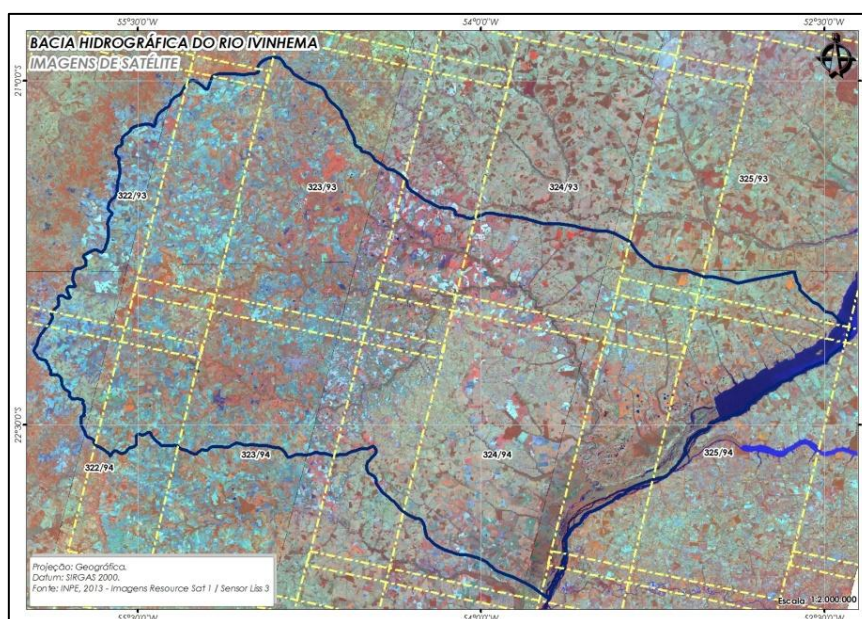


Figura 4.3 - Imagem do Satélite ResourceSat-1, Sensor LISS 3, utilizado como base na elaboração do estudo (Fonte: INPE, 2013)

O método consistiu na aplicação de um algoritmo do software livre SPRING de máxima verossimilhança que subdividiu a imagem em classes similares com as respostas espectrais na faixa do visível e do infravermelho próximo, as quais foram posteriormente agrupadas em seis classes consideradas de maior importância para o estudo, sendo eles:

- Áreas com vegetação;
- Área de agricultura;
- Área de pastagem;
- Áreas úmidas;
- Áreas urbanas; e
- Corpos hídricos.

Nas áreas definidas como agricultura enquadram-se as diversas culturas existentes na bacia, como por exemplo, soja, sorgo, milho, cana-de-açúcar, arroz, entre outras. Nas áreas definidas como pastagens incluem-se as formações de pastagens implantadas e nativas, de formação recente ou mais antiga. Quanto à classe denominada vegetação, fazem parte da mesma, as formações arbóreas densas e as esparsas, florestas, não havendo distinção entre florestas naturais e plantadas devido à escala do trabalho. As áreas classificadas como úmidas, incluem as formações denominadas várzeas e regiões alagadas constatadas na área da bacia hidrográfica. Já as áreas classificadas como corpos hídricos incluem rios, riachos, lagos, lagoas, córregos e barragens detectadas na escala de trabalho utilizada.

Com as cartas topográficas e as imagens de satélite ortorretificadas e corrigidas, deu-se início ao processo de vetorialização espacial dos dados que são o foco deste estudo. Devido às limitações existentes na escala do trabalho utilizada (1:100.000), o detalhamento de cursos d'água de menor extensão fica comprometido pois impossibilita sua vetorialização.

As imagens SRTM escolhidas neste estudo foram previamente tratadas pela EMBRAPA sendo georreferenciadas e separadas em articulação compatível com a escala 1:250.000 do IBGE, dispostos em uma malha em formato *raster* com resolução de 90x90m as quais possuem dados de relevo do terreno. Foram utilizadas as seguintes imagens: SF-21-X-B, SF-21-X-C, SF-21-X-D, SF-21-Z-B, SF-21-Z-D, SF-22-V-C, SF-22-V-D, SF-22-Y-A, SF-22-Y-B, SF-22-Y-C, conforme ilustrada na Figura 4.4.

Através destes dados foi gerado o modelo numérico do terreno (MNT), o qual subsidiou, através de dispositivo específico (*slope*) do *software* SIG, a obtenção das declividades média dos planos laterais, que originaram como resposta um *raster* dividido em três classes de declividade definidas, sendo elas: de 0 a 3% como suave ondulado, de 3,1 a 10% como ondulado e de 10,1 a 21% como forte ondulado. Já a

declividade dos canais foi calculada utilizando a equação (4.1), da declividade equivalente constante.

$$S_s = \frac{L^2}{\left[\sum \frac{L_i}{\sqrt{I_i}} \right]^2} \quad (4.1)$$

onde, L é o comprimento total do curso d'água (metros); L_i o comprimento do sub-trecho do curso d'água (metros); I_i a declividade do sub-trecho; e S_s a declividade do canal. Vale ressaltar que a declividade do sub-trecho foi determinada através do dispositivo específico (*slope*) do *software* SIG.

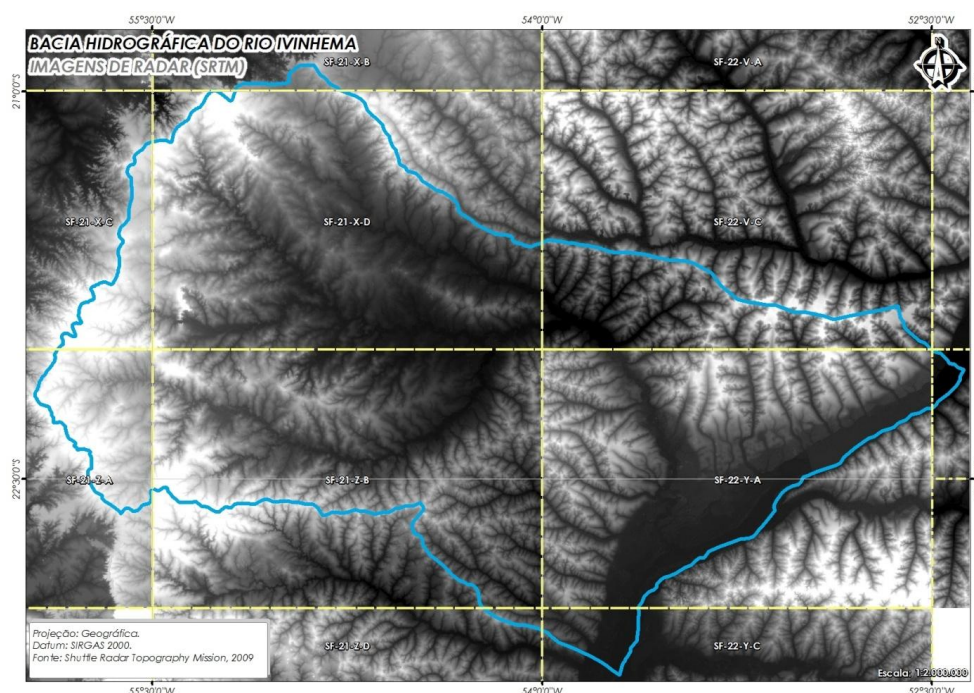


Figura 4.4- Imagem do radar SRTM. (Fonte: Shuttle Radar Topography Mission SRTM), 2009. Adaptado por EMBRAPA, 2010)

Vale ressaltar que todas as bases de dados utilizadas na elaboração deste estudo, bem como os arquivos gerados, foram projetados e convertidos, quando necessário, para a Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) com *datum* horizontal SIRGAS 2000, *zone number* 21 south, mais apropriado e melhor ajustado para a área em estudo.

Utilizando Software SIG e a imagem SRTM foi possível realizar correções de picos e depressões, para que assim seja determinado a direção do fluxo de acordo com a topografia do terreno.

A bacia hidrográfica original, foi discretizada em sub-bacias a partir de dispositivos específicos do Software SIG, procurando-se subdividir de forma com que

as áreas obtivessem características homogêneas, levando em conta a topografia do terreno, os cursos d'água principais e caso a existência de posto fluviométrico torna-se seu ponto exutório. Estabeleceu-se, assim, um total de 13 sub-bacias, que foram identificadas numericamente e trabalhadas individualmente.

Cada sub-bacia foi dividida em dois planos, tomando o curso principal como divisão, denominados de planos "direito" e "esquerdo", elaborando um *layer* para cada plano, e constituindo uma tabela de atributos com a área em quilômetros quadrados (km²).

Tendo já prontas e segregadas as delimitações da área de estudo, de seus trechos de análise e a vetorialização dos seus recursos hídricos, em posse das áreas de cada plano das sub-bacias, procedeu-se o cálculo da extensão dos cursos d'água em metros (m), e assim calculadas as larguras médias dos planos em metros (m), de acordo com a equação (4.2).

$$L_{d,e} = \frac{A_{d,e}}{L_s} \quad (4.2)$$

onde, $L_{d,e}$ é a largura dos planos direito ou esquerdo em metros (m), $A_{d,e}$ a área dos planos direito ou esquerdo em metros quadrados (m²) e L_s o comprimento do curso d'água.

Já a determinação das larguras dos rios, em metros (m), foi feita de duas formas, a primeira baseou-se na largura de canal constante para cada sub-bacia, conforme ilustrado na figura 3.13, em que os planos laterais são idealizados de forma retangular porém sem variação da largura, sendo estimado através das informações dos postos fluviométricos da ANA ou caso não o tenha, através de imagem de satélite, utilizando *software* SIG.

A segunda forma baseou-se na variação da largura, sendo que para os rios a montante, provindo de nascente estima-se a largura de 1 metro e expandindo-se proporcionalmente à extensão do rio, até seu exutório da sub-bacia, onde contém um posto fluviométrico da ANA, com informações disponibilizadas dos seus perfis transversais, e a sub-bacia à jusante, inicia-se com largura do rio igual ao exutório da bacia a montante, como representada pela geometria, ilustrada na Figura 4.5. Caso o exutório não tenha um posto fluviométrico, a determinação da largura do rio foi feita

através de imagem de satélite, utilizando algoritmo específico de medição de distância do *software* SIG.

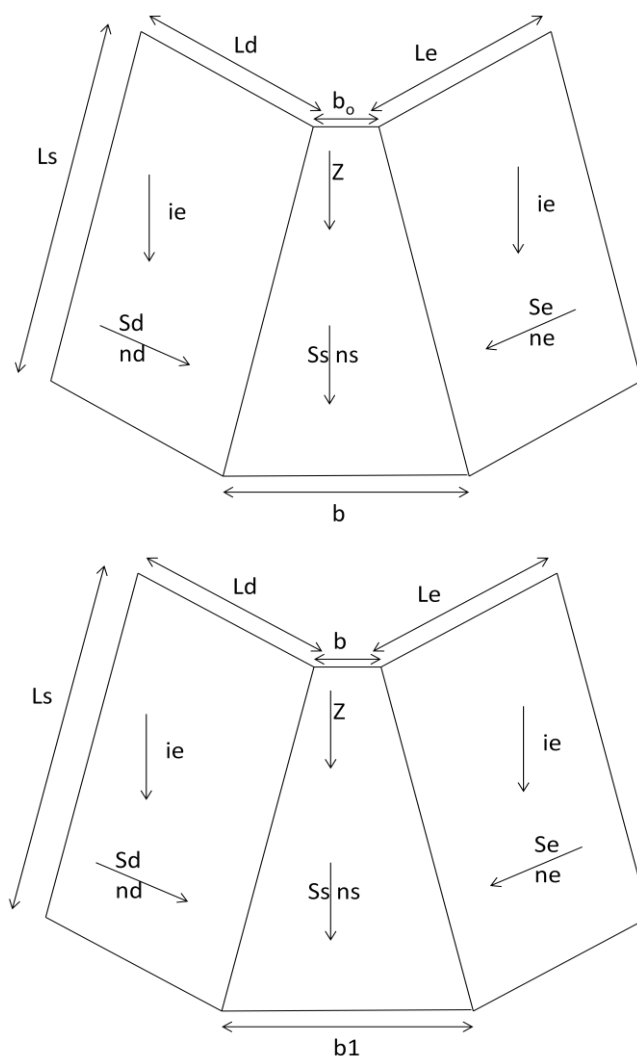


Figura 4.5 - Geometria de dois planos e um rio com largura variável

Com base na Figura 4.6 destaca-se, L_s o comprimento do rio (metros); L_d e L_e são larguras dos planos da direita e esquerda, respectivamente (metros); i_e a precipitação efetiva; S_d e S_e são as declividades dos planos da direita e esquerda, respectivamente (metro/metro); n_d e n_e são as rugosidades dos planos da direita e da esquerda, respectivamente; S_s a declividade do rio (metro/metro); n_s a rugosidade do rio; b_0 a largura do rio à montante provinda de nascente (1 metro); b e b_1 são as larguras dos rios (metros); e Z é o sentido do fluxo do curso d'água.

Os valores de rugosidade dos planos e canais foram estimados a partir de dados dos tipos de solo e vegetação, confrontando com informações de trabalhos já realizados por Tucci (2001), Beasley *et al.* (1981), Cruciani (1989), conforme Tabelas A.4 e A.5

apresentadas no Anexo A. Para a determinação dos valores médios da rugosidade de Manning nos planos, foi adotado o método de média ponderada.

$$Coef.n_{médio} = \frac{(A_1.n_1) + (A_2.n_2) + (A_3.n_3) + (A_4.n_4)}{A_{total}} \quad (4.3)$$

Vale ressaltar que a área urbana não foi contabilizada no cálculo pela insignificância em relação aos demais uso e ocupação do solo.

4.4. Localização dos postos pluviométricos e fluviométricos

Os postos pluviométricos foram utilizados a partir de dados existentes e disponibilizados pela plataforma Hidroweb da Agência Nacional de Águas, em que há um inventário atualizado de estações de monitoramento hidrológico. Para a área de interesse do estudo, foram localizados 13 estações, sendo eles representados na Tabela 4.2.

Para a determinação das áreas de influência de cada posto pluviométrico na bacia hidrográfica foi utilizado o Método de Thiessen. Mesmo com o método consolidado, há limitação pelo tamanho da área de estudo em relação a quantidade de postos pluviométricos, homogeneizando a precipitação total lida pelo posto distribuindo na área de influência como um todo, acarretando em discrepância com a realidade.

TABELA 4.2 - Postos Pluviométricos

Posto	Estação	Código ANA	Latitude	Longitude
Antônio João (AJ)	Pluvial	2255002	22° 11' 17" S	55° 56' 37" O
Aroeira (Ar)	Pluvial	2154000	21° 38' 50" S	54° 25' 31" O
Caarapó (Caa)	Pluvial	2254000	22° 37' 28" S	54° 49' 29" O
Dourados (Do)	Pluvial	2254001	22° 23' 53" S	54° 47' 30" O
Glória de Dourados (GD)	Pluvial	2254003	22° 24' 21" S	54° 14' 07" O
Itaporã (Itap)	Pluvial	2254005	22° 04' 29" S	54° 47' 02" O
Itaum (Itaum)	Pluvial	2255004	22° 05' 10" S	55° 21' 11" O
Maracaju (Ma)	Pluvial	2155000	21° 37' 07" S	55° 08' 13" O
Porto Rio Brilhante (PRB)	Pluvial	2154001	21° 48' 22" S	54° 36' 11" O
Porto Wilma (PW)	Pluvial	2254004	22° 04' 31" S	54° 11' 21" O
Retiro Guarujá (RG)	Pluvial	2154006	21° 53' 36" S	54° 05' 26" O
Sidrolândia (Sid)	Pluvial	2054021	20° 57' 05" S	54° 58' 18" O
Xavante (Xa)	Pluvial	2153003	21° 58' 56" S	53° 26' 20" O

Fonte: Hidroweb, Agência Nacional de Águas.

Os postos fluviométricos também foram utilizados a partir de dados existentes e disponibilizados pelo sistema Hidroweb da ANA, porém com um inventário limitado em períodos. Para a área de estudo foram localizados 8 postos, sendo eles representados na Tabela 4.3.

Em posse das localizações dos postos pluviométricos e fluviométricos (latitude e longitude), através do *Software* SIG, foram os mesmos situados no mapa da área de estudo, representado pela geometria de *point*. Vale ressaltar, por conveniência para o estudo, os pontos foram projetados em UTM com *datum* horizontal SIRGAS 2000.

TABELA 4.3- Postos Fluviométricos

Posto	Estação	Código ANA	Latitude	Longitude	Período
Aroeira	Fluvial	64613000	21° 38' 29" S	54° 25' 19" O	1972 a 2006
Fazenda São Joaquim	Fluvial	64613800	21° 50' 48" S	53° 57' 39" O	1983 a 2004
Brilhante	Fluvial	64601000	21° 37' 57" S	54° 59' 13" O	1988 a 2006
Porto Rio					
Brilhante	Fluvial	64605000	21° 48' 22" S	54° 36' 11" O	1972 a 1994
Dourados	Fluvial	64609000	22° 23' 50" S	54° 47' 31" O	1972 a 2006
Porto Wilma	Fluvial	64610000	22° 04' 08" S	54° 13' 43" O	1983 a 2006
Fazenda Ipacarái	Fluvial	64614000	21° 57' 23" S	53° 46' 03" O	1983 a 2005
Ivinhema	Fluvial	64617000	22° 22' 57" S	53° 31' 43" O	1972 a 2003

Fonte: Hidroweb, Agência Nacional de Águas.

4.5. Eventos

A escolha dos eventos baseou-se na análise de dados pluviométricos e fluviométricos de séries temporais através dos postos existentes na área de estudo, com a finalidade de conter hidrogramas com picos bem definidos e chuvas correspondentes, permitindo realizar a comparação entre vazão observada e simulada.

4.6. Precipitação efetiva

Segundo Tucci (2001), a precipitação efetiva é a parcela da precipitação total que gera escoamento superficial. Para se obter a precipitação efetiva é necessário retirar os volumes infiltrados, evaporados e retidas nas depressões.

De acordo com Vieira e Palmier (2006), o conhecimento da vegetação predominante na bacia e as consequências hidrológicas causadas por variação na cobertura vegetal são essenciais no processo de quantificação da interceptação vegetal e no entendimento do seu comportamento hídrico.

4.6.1. Parâmetro da Curva Número (CN)

A metodologia utilizada pelo SCS baseia-se na capacidade de infiltração, e portanto na potencialidade de gerar escoamento superficial.

De acordo com diferentes tipos e coberturas dos solos de cada área componente das sub-bacias, foram adotados valores recomendados para o parâmetro CN, apresentados nas Tabelas A.1, A.2 e A.3, no Anexo A.

Na determinação preliminar de valores para o parâmetro CN fez-se o enquadramento dos tipos de solo encontrados na região com valores tabelados, conforme disposto na Tabela 4.4, e o enquadramento com relação ao uso do solo está representado na Tabela 4.5.

TABELA 4.4 - Classificação quanto ao tipo de solo

Classificação quanto ao tipo de solo	
Tipos de solo	Enquadramento para cálculo de CN
Latossolo Vermelho Distroférrico	→ Classe de solos enquadradas em solo tipo A
Latossolo Vermelho Distrófico	

TABELA 4.5- Classificação quanto ao uso do solo

Classificação quanto ao uso do solo	
Cobertura vegetal antrópica - Agricultura	→ Classe de plantações de cereais em curvas de nível - V1
Cobertura vegetal antrópica - Pastagem	→ Classe de pastagens normais em curvas de nível - V2
Cobertura vegetal natural - Vegetação	→ Classe de florestas normais - V3
Cobertura natural	→ Classe de áreas úmidas - V4
Cobertura antrópica	→ Classe de zonas urbanas - V5

Levando-se em conta o tipo e o uso do solo, fez-se a ponderação preliminar dos valores de CN dispostos na tabela 4.6, conforme os valores recomendados em Tucci (2001).

TABELA 4.6 - Composição dos tipos e usos do solo com os devidos valores de CN

	Solo A	
	Composição	CN
Uso tipo V1	A V1 =	62
Uso tipo V2	A V2 =	25
Uso tipo V3	A V3 =	36
Uso tipo V4	A V4 =	100
Uso tipo V5	A V5 =	77

E assim, procedeu-se o cálculo da média ponderada desses valores de acordo com as áreas correspondentes.

$$CN_{\text{médio}} = \frac{(A_1 \cdot CN_1) + (A_2 \cdot CN_2) + (A_3 \cdot CN_3) + (A_4 \cdot CN_4) + (A_5 \cdot CN_5)}{A_{\text{total}}} \quad (4.4)$$

4.6.2. Coeficiente β

Para o cálculo da precipitação efetiva, primeiramente determinou-se o volume escoado superficialmente de cada evento selecionado, da seguinte forma:

$$Vol_{\text{medio}} = \Delta t \left(\frac{Q_1 + Q_n}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} Q_i \right) \quad (4.5)$$

$$Vol_{\text{base}} = \frac{\Delta t(Q_1 + Q_n)}{2} \quad (4.6)$$

$$Vol_{\text{escsup}} = Vol_{\text{medio}} - Vol_{\text{base}} \quad (4.7)$$

sendo Q_1 a vazão inicial em m^3/s , Q_n a vazão final em m^3/s , Q_i a vazão intermediária em m^3/s , Δt a variação do tempo em segundos e os Vol_{escsup} , Vol_{medio} e Vol_{base} são os volumes do escoamento superficial, médio e de base, respectivamente, em m^3 .

O valor encontrado para o Vol_{escsup} determinou-se a lâmina escoada por meio de:

$$h_{\text{escsup}} = \frac{vol_{\text{escsup}}}{A_t} \quad (4.8)$$

sendo h_{escsup} a lâmina escoada em metros e a A_t a área em estudo em m^2 .

Posteriormente estimou-se a precipitação acumulada, baseada no produto da chuva diária com a porcentagem da área de influência de cada posto pluviométrico.

Para a determinação da precipitação efetiva acumulada diária criou-se a condição de que a precipitação acumulada diária se menor que a abstração inicial resulta no valor zero, se maior, o resultado será a partir da equação:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (4.9)$$

sendo Q a precipitação efetiva acumulada em mm, P a precipitação acumulada em mm, I_a a abstração inicial e S a capacidade de retenção máxima.

Determinou-se um CN médio para toda a bacia em questão, para o cálculo da capacidade de retenção máxima (S) e a abstração inicial (I_a).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4.10)$$

$$I_a = \beta \cdot S \quad (4.11)$$

sendo o β o fator de correção.

Desacumulando a precipitação efetiva e somando-as, resulta na altura da lâmina da chuva efetiva (h_{efet}). Foi estipulado a condição em que a lâmina do volume escoado (h_{escsup}) seja igual à lâmina da chuva efetiva (h_{efet}), a partir da variação do fator de correção β , sendo este o valor utilizado para a determinação da precipitação efetiva em todas sub-bacias.

4.7. Modelo de Onda Cinemática

O sistema proposto neste trabalho é o escoamento em regime não permanente, o qual considera a variação no tempo e no espaço das variáveis que retratam o mesmo. Este tipo de escoamento é descrito matematicamente por equações diferenciais parciais não lineares, deduzidas com base nas leis físicas de conservação de massa (equação da continuidade) e quantidade de movimento (equação da quantidade de movimento).

4.7.1. Método de soluções das equações

O método utilizado para resolução será o método numérico explícito das diferenças finitas. Esse método consiste em uma aproximação das derivadas parciais de uma equação diferencial. Para esta aplicação, é necessário o conhecimento das condições iniciais e de contorno, do problema a ser estudado.

4.7.1.1. Escoamento no plano

Conforme demonstrado o cálculo no item 3.4.3.1. do capítulo anterior, temos:

$$\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{Tc_R}{t_R \cdot P^{0,4}} \frac{\partial P}{\partial T} = K_0 \quad (4.12)$$

Aplicando o método numérico das diferenças finitas, conforme discretização esquematizada na Figura 4.6, temos:

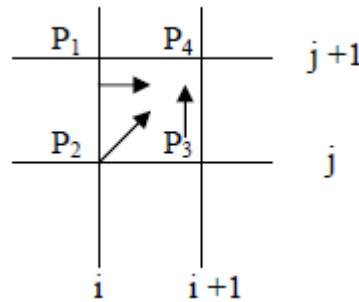


Figura 4.6- Esquema de discretização pelo método explícito das diferenças finitas para os planos

Sendo:

$$P = P_2$$

$$\frac{\partial P}{\partial X} = \frac{P_4 - P_1}{\Delta X} \quad (4.13)$$

$$\frac{\partial P}{\partial T} = \frac{P_4 - P_3}{\Delta T} \quad (4.14)$$

Aplicando na equação (4.14), temos:

$$\frac{P_4 - P_1}{\Delta X} + \frac{Tc}{t_R \cdot P_2^{0,4}} \frac{P_4 - P_3}{\Delta T} = K_0 \quad (4.15)$$

multiplicando a equação (4.15) por ΔX , considerando que $\beta = \frac{\Delta X \cdot Tc}{t_R \cdot \Delta T \cdot P_2^{0,4}}$, temos:

$$(P_4 - P_1) + \beta(P_4 - P_3) = \Delta X \cdot K_0 \quad (4.16)$$

4.7.1.2. Escoamento em canais

Partindo da demonstração realizada no item 3.4.3.2. do capítulo anterior, concluímos que:

$$\frac{\partial Q}{\partial Z} + \frac{G}{Q^{0,4}} \frac{\partial Q}{\partial T} = q * \quad (4.17)$$

Aplicando o método numérico das diferenças finitas, conforme discretização esquematizada na Figura 4.7, temos:

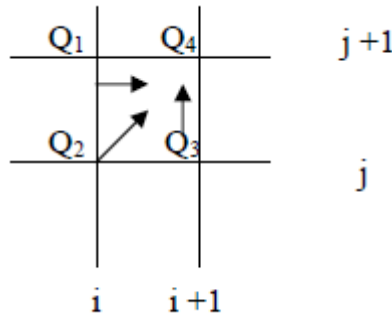


Figura 4.7 - Esquema de discretização pelo método explícito das diferenças finitas para os canais

$$\frac{Q_4 - Q_1}{\Delta Z} + \frac{G}{Q^{0,4}} \frac{Q_4 - Q_3}{\Delta T} = q * \quad (4.18)$$

Multiplicando a equação (4.18) por ΔZ e considerando que $Q = Q_2$ e que $\beta = \frac{\Delta Z \cdot G}{\Delta T \cdot Q^{0,4}}$, temos:

$$Q_4 = \frac{q * \cdot \Delta Z + \beta \cdot Q_3 + Q_1}{(1 + \beta)} \quad (4.19)$$

Foram admitidos seis intervalos diários, com tempo de base (tb) variando de acordo com o intervalo de dias selecionados para cada evento, sendo assim, o número de valores é resultado do produto do tb em relação ao intervalo diário.

4.8. Modelo computacional

O modelo computacional utilizado como plataforma de programação é o *Visual Basic for Applications (VBA)*, dispositivo parte do software Microsoft Office® Excel. Executando a simulação do escoamento superficial em sub-bacias, utilizando o modelo da onda cinemática para planos e canais.

O modelo gera os hidrogramas nos diferentes pontos de interesse, subsidiando ao pesquisador na avaliação dos dados fornecidos e quanto aos diferentes níveis de discretização.

O fluxograma do modelo computacional é ilustrado na Figura 4.8.

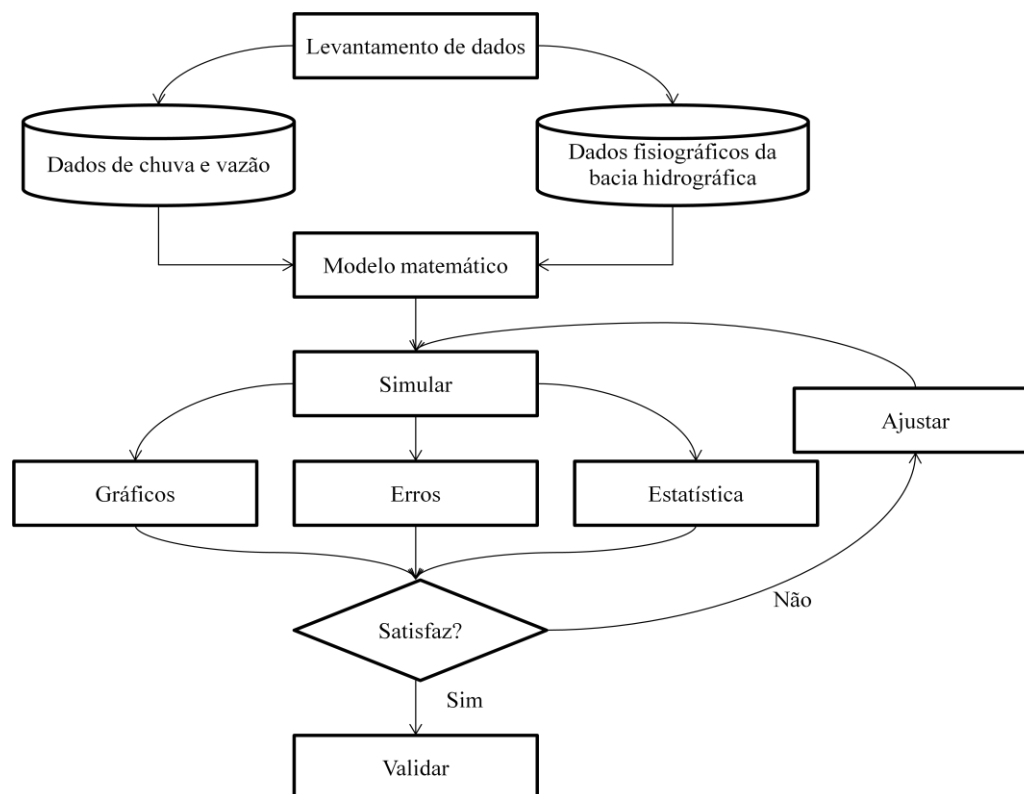


Figura 4.8 - Fluxograma do modelo computacional

4.8.1. Validação do modelo computacional

Para validação do modelo proposto, foram aplicados cinco eventos de chuvas na bacia em estudo, baseados nos postos fluviométricos e pluviométricos existentes, e assim, realizar a comparação entre os dados da vazão observada no ponto exutório em relação à vazão simulada pelo modelo, dentre elas a análise do volume escoado, o tempo e a vazão de pico.

Caso os resultados não forem satisfatórios, deve-se realizar os ajustes dos parâmetros físicos da área de estudo.

4.8.2. Análise estatística

De acordo com Costa Neto (2005) a precisão na simulação do escoamento é importante, pois dela dependerá todo o sucesso do modelo proposto, bem como a correta utilização dos parâmetros utilizados no processo de calibração. Entretanto, a

precisão das estimativas dependerá da habilidade do modelo em trabalhar com as variáveis fornecidas, apresentando respostas compatíveis com aquelas observadas.

O desempenho de modelos é usualmente avaliado por meio do uso de medidas estatísticas. Um bom critério de ajuste é o desvio do volume, o qual é a medida da habilidade do modelo para simular valores observados. Nesse método, quanto menor o valor de D_v da equação (4.14), melhor é o ajuste, sendo que o valor zero representa a simulação perfeita do evento observado (Asce, 1993).

$$D_v(\%) = \frac{V - V^*}{V} \cdot 100 \quad (4.20)$$

onde V é o volume observado e V^* o volume simulado pelo modelo.

Outra análise realizada é o critério do coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe, o R^2 , baseado na seguinte equação:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{cor} - Q_{calc})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{cor} - \overline{Q_{cor}})^2} \quad (4.21)$$

onde Q_{cor} é a vazão diária corrigida, a Q_{calc} é a vazão diária calculada e $\overline{Q_{cor}}$ é a vazão média corrigida, lembrando que a $Q_{cor} = Q_{obs} - Q_{base}$.

Legates e McCabe Jr. (1999) sugerem que, adicionalmente, deve-se analisar o erro absoluto médio (EAM), a raiz do erro quadrado médio (REQM).

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{cor} - Q_{calc}|}{n} \quad (4.22)$$

onde n é o número de observações.

$$REQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |Q_{cor} - Q_{calc}|^2}{n}} \quad (4.23)$$

Green e Stephenson (1986) recomendam que a vazão de pico deve ser avaliada por meio de um simples erro de porcentagem do pico (PEP):

$$PEP = \frac{Q_{pcalc} - Q_{pcor}}{Q_{pcor}} \cdot 100 \quad (4.24)$$

onde Q_{pcalc} é a vazão de pico calculada e Q_{pobs} vazão de pico observada.

Para análise da posição relativa entre os tempos de pico, tem-se a função proposta por:

$$PET = \frac{T_{pcalc} - T_{pcor}}{T_{pcor}} \cdot 100 \quad (4.25)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresenta-se neste capítulo o processo de estimativa dos dados fisiográficos da área de estudo para alimentação do modelo hidrológico, com as equações definidas no capítulo 4. A bacia em estudo tem dados fluviométricos no seu exutório gerando hidrogramas de vazões observadas, podendo-se correlacionar com o hidrograma de vazões calculadas gerado a partir do modelo. Efetuadas as calibrações e ajustes necessários, o modelo foi validado e pôde ser utilizado para o cálculo de novas bacias. Por fim, aplicou-se o modelo, obtendo-se os hidrogramas para os diversos níveis de discretização propostos, compatíveis com o hidrograma observado.

5.1. Postos pluviométricos e fluviométricos

Foram plotados os postos pluviométricos juntamente com o método de Polígono Thiessen (Figura 5.1) para estabelecer as áreas de influências dos mesmos (Tabela 5.1). Os postos de Maracaju e Itaum são os que abrangem maiores áreas de influências na bacia hidrográfica, resultando em uma distribuição homogênea da precipitação no posto em toda sua área de influência.

TABELA 5.1 - Postos pluviométricos e suas áreas de influências

Posto	Código ANA	Área de influência (km ²)
Antônio João	2255002	1.650,2
Aroeira	2154000	2.359,71
Caarapó	2254000	982,1
Dourados	2254001	1.929,21
Glória de Dourados	2254003	1.238,7
Itaporã	2254005	2.114,5
Itaum	2255004	4.685,3
Maracaju	2155000	4.959,8
Porto Rio Brilhante	2154001	1.825,5
Porto Wilma	2254004	1902,2
Retiro Guarujá	2154006	2.559,5
Sidrolândia	2054021	2.548,9
Xavante	2153003	3.187,4

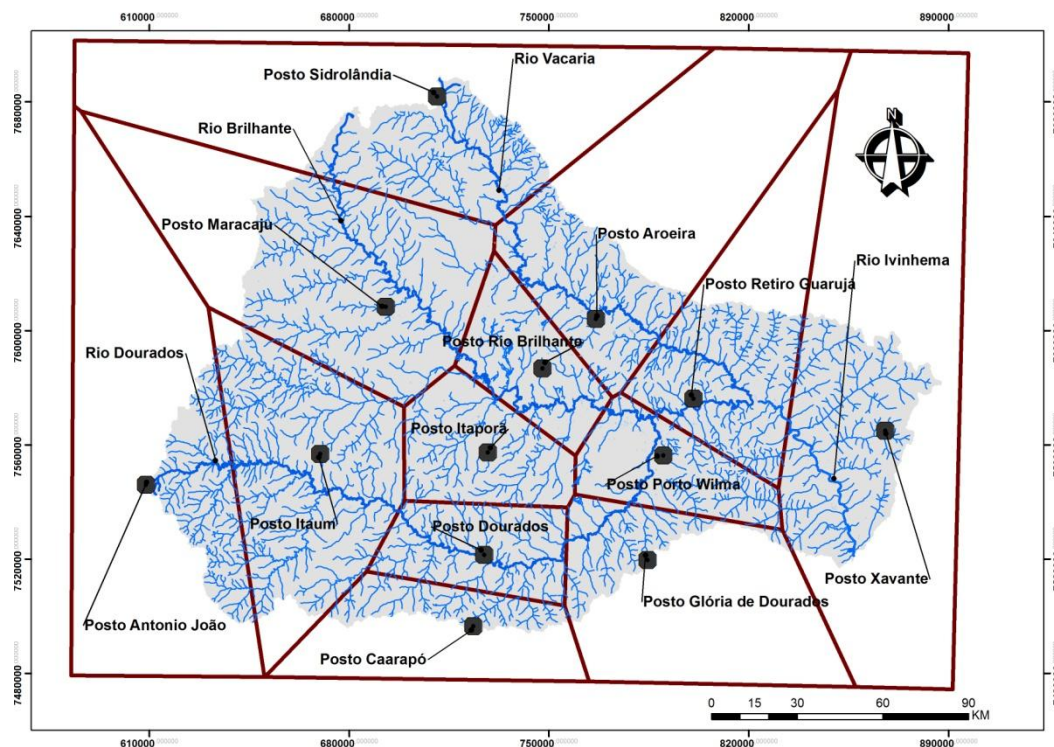


Figura 5.1- Postos Pluviométricos e o Polígono de Thiessen

Foram localizados dois postos fluviométricos em cada rio principal (rios Brilhante, Dourados, Vacaria e Ivinhema), sendo um no seu intermédio e outro próximo a sua foz.

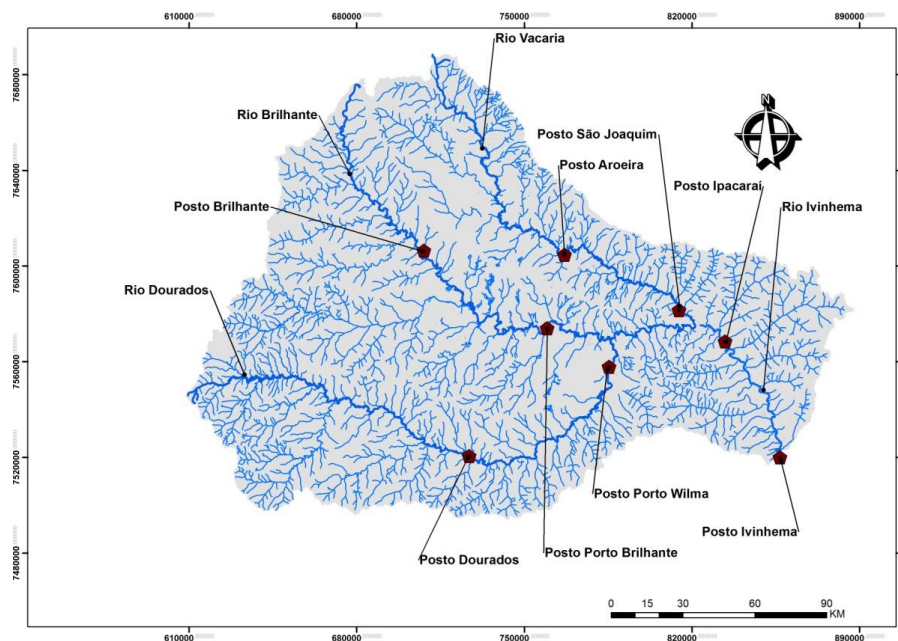


Figura 5.2 - Postos Fluviométricos

5.2. Discretização da área de estudo

Com a discretização obteve treze sub-bacias (Figura 5.3), sendo a sub-bacias 1 e 4 com áreas de drenagens ao rio Dourados, as sub-bacias 2, 5, 6, 8, 9 e 10 ao rio Brilhante, as sub-bacias 3, 7 e 11 ao rio Vacaria e 12 e 13 ao rio Ivinhema.

O encadeamento (Figura 5.4) das sub-bacias se deram a partir dos encontros dos rios principais até sua foz.

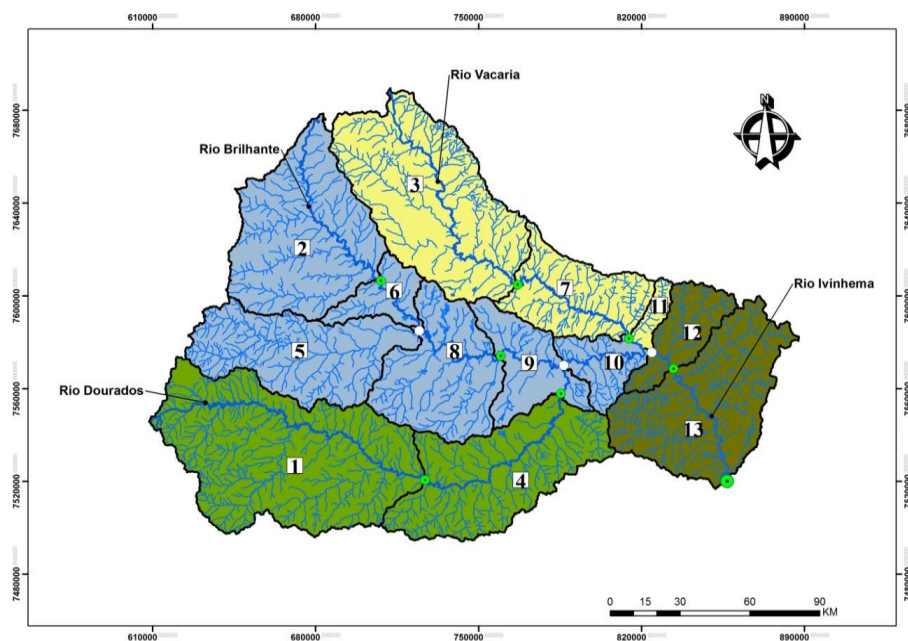


Figura 5.3 - Sub-bacias discretizadas

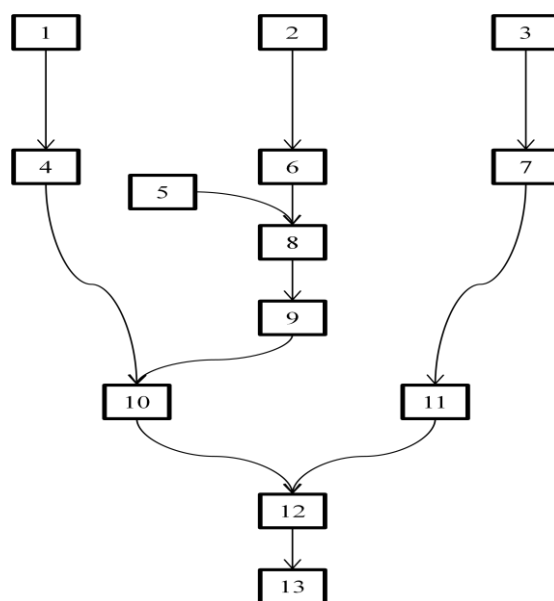


Figura 5.4 - Esquema de encadeamento das sub-bacias

5.3. Características físicas das sub-bacias

Após a discretização das sub-bacias, estas foram trabalhadas de forma individual, separadas em dois planos, para atingir um nível de melhor detalhamento (Tabela 5.2).

TABELA 5.2 - Características físicas das sub-bacias

Sub-bacia (nº)	Plano	A (km ²)	L (km)	L _s (km)	b ₀ (m)	b (m)
1	Direito	4.058,77	17,371	233,65	1	47,5
	Esquerdo	1.627,28	6,965			
2	Direito	2.706,35	20,395	132,69	1	40,4
	Esquerdo	1.118,92	8,432			
3	Direito	2.750,42	15,550	176,876	1	44,0
	Esquerdo	1.717,47	9,710			
4	Direito	2.264,83	17,601	128,680	47,5	60,9
	Esquerdo	1.076,33	8,364			
5	Direito	1.907,10	12,728	149,367	1	11,0
	Esquerdo	925,97	6,199			
6	Direito	388,65	7,651	50,80	40,4	40,4
	Esquerdo	316,54	6,231			
7	Direito	709,46	7,301	97,178	44,0	59,3
	Esquerdo	1.106,12	11,382			
8	Direito	1.848,19	22,867	80,825	51,4	56,0
	Esquerdo	653,17	8,081			
9	Direito	757,30	13,293	56,969	56,0	56,0
	Esquerdo	569,06	9,989			
10	Direito	465,65	7,527	61,860	102,0	102,0
	Esquerdo	318,05	5,141			
11	Direito	0,00	0,0	19,992	59,3	59,3
	Esquerdo	256,84	12,847			
12	Direito	202,60	13,169	15,385	151,3	163,4
	Esquerdo	804,19	52,272			
13	Direito	1.529,24	20,607	74,210	163,4	181,4
	Esquerdo	1.870,63	25,207			

A = Área (km²);

L = Comprimento dos planos laterais (km);

L_s = Comprimento do rio (km);

b₀ = Largura inicial do rio (m);

b = Largura final do rio (m).

Observa-se as distinções das áreas das sub-bacias que influenciam diretamente com o tempo de concentração e a variação da largura do canal resultando no aumento da velocidade do escoamento.

A declividade média das sub-bacias dos planos laterais e do curso principal encontra-se na Tabela 5.3, e o mapa está ilustrado na Figura 5.5. A classificação das declividades dos planos laterais e por trecho do curso principal para o cálculo da declividade equivalente constante, encontra-se na Tabela B.1 do Anexo B.

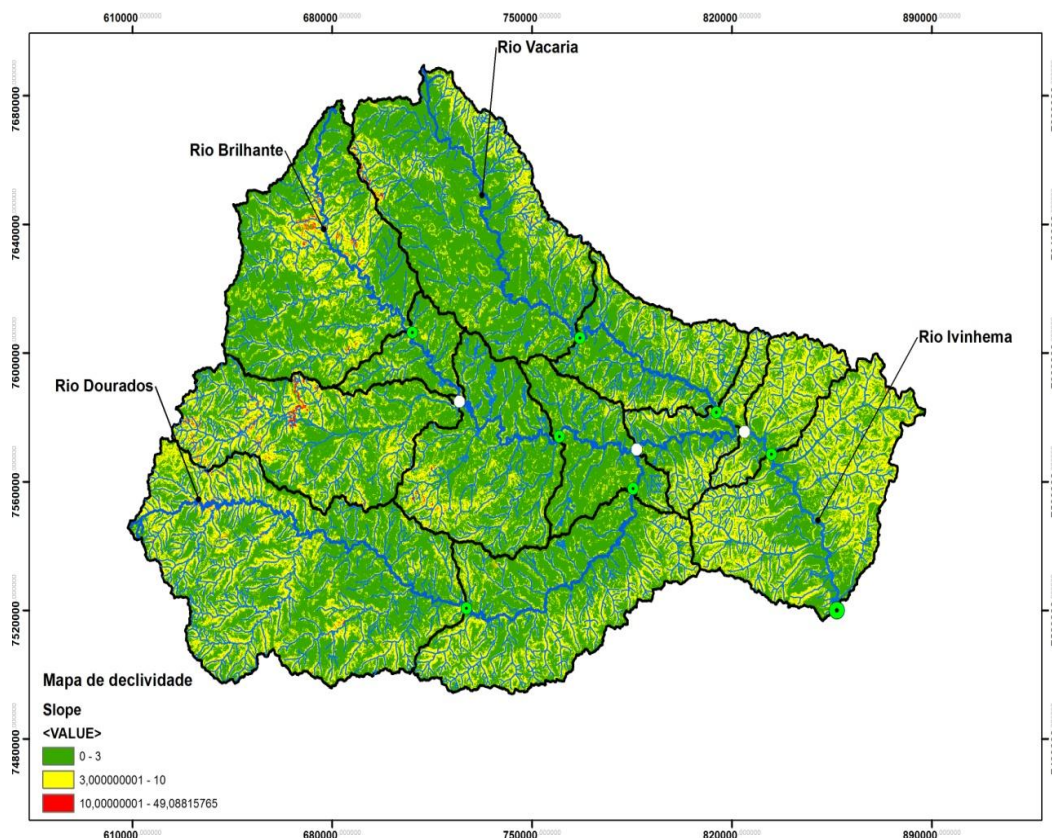


Figura 5.5 - Mapa da declividade

As declividades média dos planos laterais se encontram entre os valores de 0,0150 à 0,0327 m/m, e dos cursos principais entre 0,0072 a 0,0133 m/m, sendo consideradas declividades de classe suave ondulada pela EMBRAPA, em 1999.

A declividade do plano lateral é diretamente proporcional ao volume e a vazão de pico. Já a declividade do curso principal está ligada ao tempo de pico das vazões simuladas.

TABELA 5.3 - Declividade média dos planos laterais e dos cursos principais

Sub-bacia (n°)	Plano	S (m/m)	S _s (m/m)
1	Direito	0,0287	0,0119
	Esquerdo	0,0289	
2	Direito	0,0247	0,0099
	Esquerdo	0,0242	
3	Direito	0,0192	0,0094
	Esquerdo	0,0255	
4	Direito	0,0291	0,0080
	Esquerdo	0,0185	
5	Direito	0,0303	0,0133
	Esquerdo	0,0294	
6	Direito	0,0209	0,0113
	Esquerdo	0,0194	
7	Direito	0,0209	0,0100
	Esquerdo	0,0274	
8	Direito	0,0232	0,0097
	Esquerdo	0,0167	
9	Direito	0,0150	0,0076
	Esquerdo	0,0181	
10	Direito	0,0274	0,0108
	Esquerdo	0,0242	
11	Direito	0,00	0,0100
	Esquerdo	0,0315	
12	Direito	0,0302	0,0108
	Esquerdo	0,0327	
13	Direito	0,0304	0,0072
	Esquerdo	0,0325	

S = Declividade dos planos laterais (m/m);

S_s = Declividade do rio (m/m).

5.3.1. Parâmetro CN e rugosidade de Manning

A região da bacia hidrográfica estudada possui predominantemente a classe de solo Latossolos Vermelho (Figura 5.6). Este solo é proveniente de duas formações: Serra Geral e Caiuá. Segundo o Manual Brasileiro de Classificação de solos da Embrapa

2006, os latossolos são solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo.

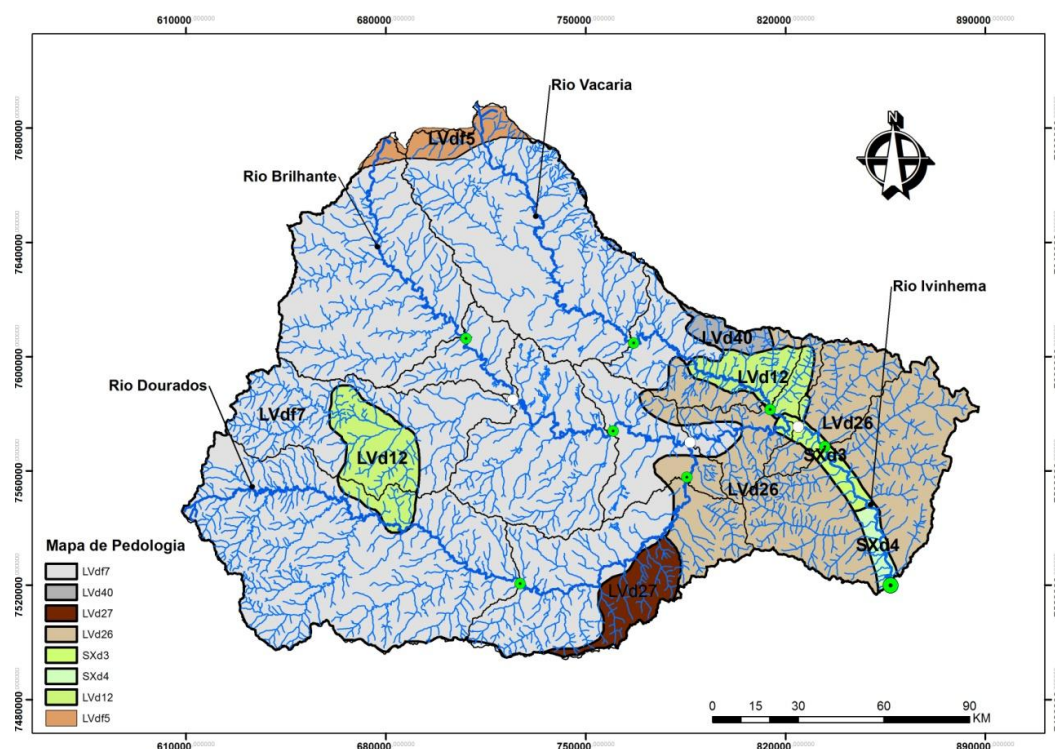


Figura 5.6 - Mapa pedologia

Observa-se elevada predominância do tipo de solo Latossolo Vermelho Distroférico e Distrófico e pequenas manchas de Planossolos Haplicos (Tabela 5.4).

TABELA 5.4 - Tipos de solos e suas respectivas áreas

Legenda	Solos	Área (km ²)
LVdf7	Latossolos Vermelhos Distroféricos + Latossolos Vermelhos Eutróféricos + Latossolos Vermelhos Distróficos	22.227,94
LVd26	Latossolos Vermelhos Distróficos + Argissolos Vermelhos Distróficos + Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	6.928,06
LVd12	Latossolos Vermelhos Distróficos + Neossolos Quartzênicos Orticos	1.729,04
LVd40	Latossolos Vermelhos Distróficos + Latossolos Vermelhos Distroféricos + Neossolos Quartzênicos	279,23
LVd27	Latossolos Vermelhos Distróficos + Argissolos Vermelhos Eutróficos + Latossolos Vermelhos Distroféricos	660,25
LVd5	Latossolos Vermelhos Distroféricos + Neossolos Litólicos Eutróficos	481,44
SXd3	Planossolos Haplicos Distróficos + Gleissolos Haplicos Distróficos	316,25
SXd4	Planossolos Haplicos Distróficos + Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	198,23

A área em estudo tem como sua economia baseada na agricultura, sendo a irrigação um dos principais usos dos recursos hídricos nesta região (Figura 5.7).

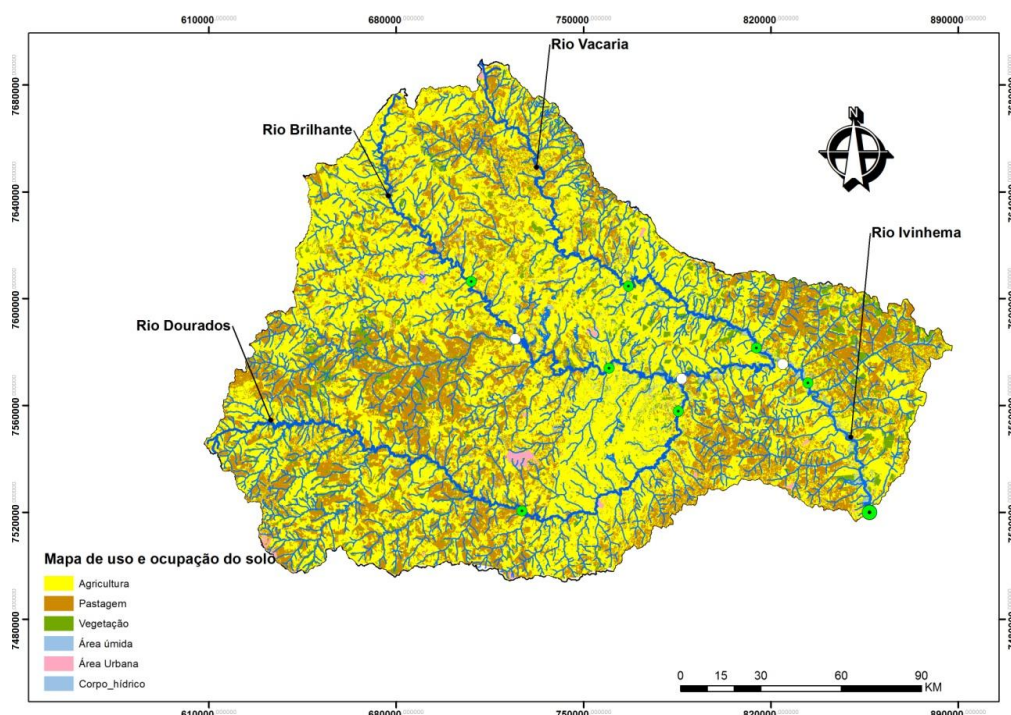


Figura 5.7- Mapa de uso e ocupação do solo

Observa-se que cerca de 86% da área está tomada por agricultura, pastagens e área urbana, restando apenas 14% de vegetação nativa, áreas úmidas e corpos hídricos (Tabela 5.5).

TABELA 5.5 - Uso e ocupação do solo e suas respectivas áreas

Uso e ocupação do solo	Área (km ²)
Agricultura	18.476,81
Pastagem	8782,94
Vegetação	3204,74
Área Úmida	1063,26
Área Urbana	124,05
Corpos Hídricos	123,67

Com as informações de tipos de solos enquadrando-se no grupo de solos A, confrontando a classificação quanto ao uso e ocupação do solo, procedeu-se o cálculo do CN médio (Tabela 5.6).

TABELA 5.6 - Parâmetro CN

Bacias (n°)	Lado	Área (Km²)	Coef. CN	% área p/ calc. CN	área parcial (km²)	CN médio
1	LD	4058,77	62	49,95	2027,36	
			25	34,9	1416,51	
			36	13,11	532,10	
			100	1,6	64,94	
			77	0,44	17,86	
	LE	1627,28	62	52,6	855,95	46,3524
			25	35,19	572,64	
			36	9,2	149,71	
			100	2,84	46,21	
			77	0,17	2,77	
2	LD	2706,35	62	73,12	1978,88	
			25	15,86	429,23	
			36	8,8	238,16	
			100	1,9	51,42	
			77	0,32	8,66	
	LE	1119,92	62	68,69	769,27	54,6138
			25	22,66	253,77	
			36	5,14	57,56	
			100	3,5	39,20	
			77	0,01	0,11	
3	LD	2750,72	62	61,35	1687,57	
			25	26,07	717,11	
			36	9,6	264,07	
			100	2,76	75,92	
			77	0,22	6,05	
	LE	1717,87	62	58,59	1006,50	50,9399
			25	27,72	476,19	
			36	9,74	167,32	
			100	3,87	66,48	
			77	0,08	1,37	
4	LD	2264,83	62	60,1	1361,16	
			25	31,9	722,48	
			36	4,8	108,71	
			100	2,53	57,30	
			77	0,67	15,17	
	LE	1076,33	62	75,1	808,32	50,0109
			25	10,87	117,00	
			36	6,41	68,99	
			100	4,92	52,96	
			77	2,7	29,06	

TABELA 5.6 - Parâmetro CN (continuação)

Bacias (n°)	Lado	Área (Km²)	Coef. CN	% área p/ calc. CN	área parcial (km²)	CN médio
5	LD	1901,1	62	37,49	712,72	
			25	47,97	911,96	
			36	12,69	241,25	
			100	1,81	34,41	
			77	0,04	0,76	
	LE	925,97	62	42,44	392,98	41,6455
			25	42,68	395,20	
			36	12,15	112,51	
			100	2,7	25,00	
			77	0,03	0,28	
6	LD	388,65	62	70	272,06	
			25	17,62	68,48	
			36	9,93	38,59	
			90	2,45	9,52	
			77	0,0036	0,01	
	LE	316,54	62	70,08	221,83	53,587572
			25	19,93	63,09	
			36	6,94	21,97	
			90	3,046	9,64	
			77	0,004	0,01	
7	LD	709,45	62	68,9	488,81	
			25	4,2	29,80	
			36	20,7	146,86	
			100	6,02	42,71	
			77	0,18	1,28	
	LE	1106,11	62	65,85	728,37	57,3786
			25	17,5	193,57	
			36	13,2	146,01	
			100	3,1	34,29	
			77	0,35	3,87	
8	LD	1848,19	62	64,3	1188,39	
			25	24,01	443,75	
			36	6,2	114,59	
			90	4,49	82,98	
			77	1	18,48	
	LE	653,17	62	61,8	403,66	52,9115
			25	21,6	141,08	
			36	10,5	68,58	

TABELA 5.6 - Parâmetro CN (continuação)

Bacias (n°)	Lado	Área (Km²)	Coef. CN	% área p/ calc. CN	área parcial (km²)	CN médio
9	LD	757,3	90	6,07	39,65	52,9821
			77	0,03	0,20	
			62	70,1	530,87	57,9401
			25	9,4	71,19	
			36	11,7	88,60	
			90	8,77	66,42	
			77	0,03	0,23	
	LE	569,06	62	73,1	415,98	58,2701
			25	5,2	29,59	
			36	14,3	81,38	
10	LD	465,64	90	6,17	35,11	
			77	1,23	7,00	
			62	56,9	264,95	53,354
			25	28,3	131,78	
			36	5,9	27,47	
			100	8,8	40,98	
			77	0,1	0,47	
	LE	318,05	62	74,4	236,63	59,3661
			25	4,1	13,04	
			36	14,5	46,12	
11	LD	0,00	100	6,97	22,17	
			77	0,03	0,10	
			62	0,0	0,00	0,00
			25	0,0	0,00	
			36	0,0	0,00	
			100	0,0	0,00	
			77	0,0	0,00	
	LE	260,49	62	38,4	100,03	45,43831
			25	43,82	114,15	
			36	11,1	28,91	
12	LD	202,6	100	6,677	17,39	
			77	0,003	0,01	
			62	57,6	116,70	52,2504
			25	29,1	58,96	
			36	6,3	12,76	
			100	6,98	14,14	
			77	0,02	0,04	
	LE	804,18	62	38,55	310,01	

TABELA 5.6 - Parâmetro CN (continuação)

Bacias (n°)	Lado	Área (Km²)	Coef. CN	% área p/ calc. CN	área parcial (km²)	CN médio
13	LD	1529,22	25	40,3	324,08	45,07339
			36	15,7	126,26	
			100	5,44	43,75	
			77	0,007	0,06	
			62	53,8	822,72	49,9924
			25	34,25	523,76	
			36	5,83	89,15	
			100	5,49	83,95	
	LE	1870,63	77	0,63	9,63	
			62	48,1	899,77	
			25	34,2	639,76	
			36	13,2	246,92	
			100	4,48	83,80	
			77	0,016	0,30	
						47,61632

Percebe-se que houve variação dos valores de CN médio entre 41 a 59, sendo que os valores mais elevados geram maior escoamento superficial.

Os coeficientes de rugosidade n de Manning dos planos variam entre 0,110 a 0,169 (Tabela 5.7), influenciando diretamente na vazão sobre a superfície.

TABELA 5.7 - Coeficiente de rugosidade n de Manning médio

Sub-bacias (n°)	n_e médio	n_d médio
1	0,122	0,115
2	0,123	0,110
3	0,118	0,115
4	0,137	0,116
5	0,124	0,117
6	0,118	0,112
7	0,129	0,149
8	0,149	0,131
9	0,151	0,169
10	0,156	0,154
11	0,147	0,000
12	0,145	0,149
13	0,138	0,138

n_e = Rugosidade de Manning do plano esquerdo;

n_d = Rugosidade de Manning do plano direito.

Para fins de cálculo do coeficiente de rugosidade de Manning em canais, foi adotado valor para todo o trecho com intervalo de n_s entre 0,075 e 0,150, por se tratar de rios com área de inundação de vegetação de acordo com Tabela A.4 que se encontra no Anexo A.

5.4. Modelo matemático

Foram utilizadas diversas planilhas eletrônicas e desenvolvidas rotinas de programação para cada fase da simulação.

Na primeira planilha foram introduzidos os dados físicos das sub-bacias e em outra os dados hidrológicos referentes aos eventos escolhidos que concatenadas permitiram determinar as chuvas efetivas com uso das sub-rotinas para a transformação da chuva efetiva em vazão, uma terceira planilha foi preparada de modo a receber os dados físicos de cada bacia e as chuvas efetivas, que mediante uma sub-rotina própria exportou os resultados para outras duas. Uma delas armazenando o hidrograma para servir de condição de montante no cálculo de jusante e outra planilha para calcular os índices de ajuste na comparação com os hidrogramas observados corrigidos.

Os arquivos de alimentação dos dados físicos devem obedecer a seguinte sequência em sua formulação:

- TSB - Tipo de sub-bacia;
- NCM - Número de contribuinte de montante;
- BCM - Bacia contribuinte de montante;
- Os dados do canal: largura (b), comprimento (L_s), declividade (S_s) e rugosidade (n_s);
- Os dados para o plano à esquerda: comprimento (L_e), declividade (S_e), rugosidade (n_e); e
- Os dados para o plano à direita: comprimento (L_d), declividade (S_d) e rugosidade (n_d).

5.4.1. Fase de ajuste

Foram escolhidos cinco eventos com os dados dos postos pluviométricos influentes na bacia e dados fluviométricos do posto Ivinhema.

Precipitação efetiva, com β igual à 0,098, de acordo com a Figura 5.9.

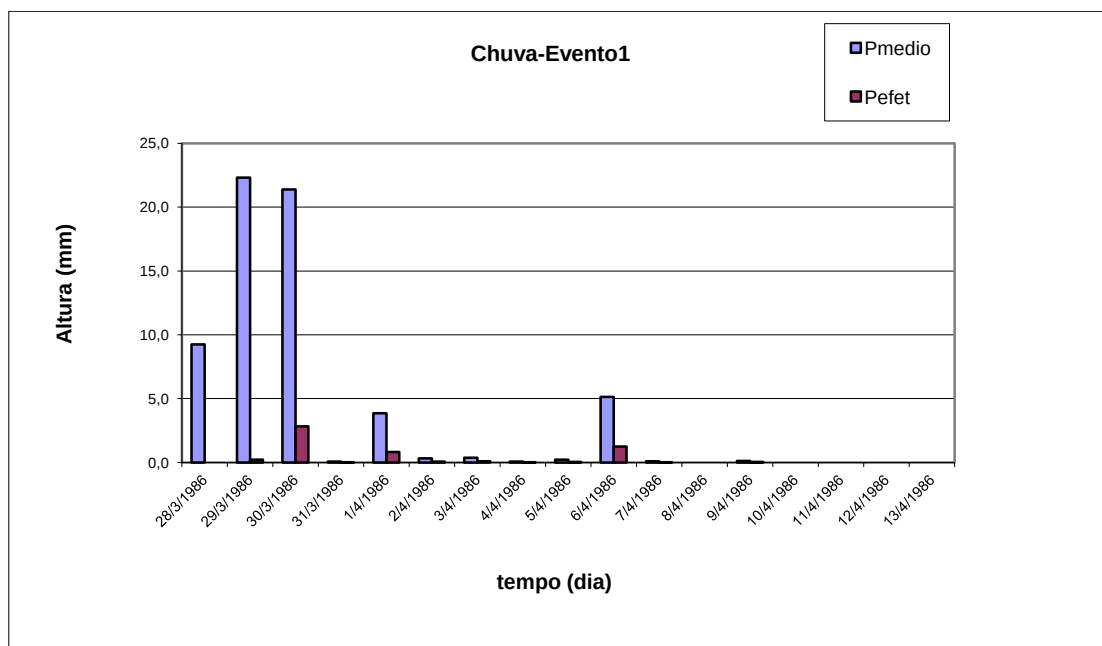


Figura 5.9 - Precipitação Efetiva

O evento 2 (Figura 5.10) compreende com início da ascensão no dia 20 de abril de 2001, pico do hidrograma no dia 30 de abril de 2001 e ponto de inflexão no dia 09 de maio de 2001(Tabela 5.9).

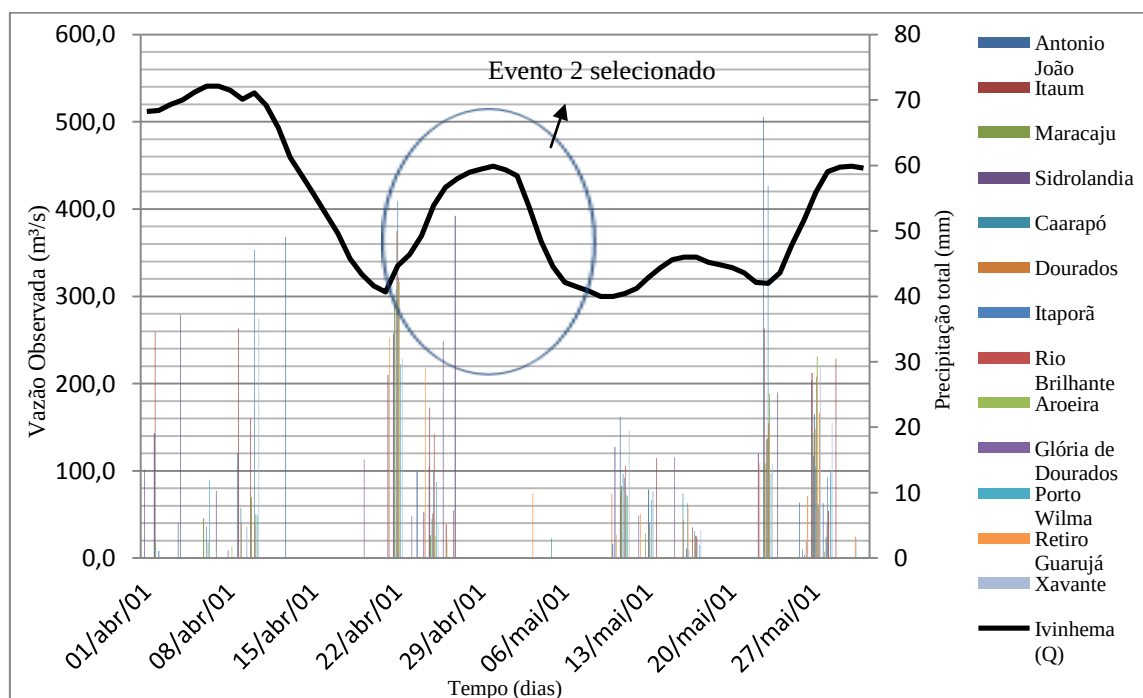


Figura 5.10 - Dados pluviométricos e fluviométricos

TABELA 5.9 - Evento 2

Posto / Tempo	Precipitação diária em mm/dia													Vazão (m³/s) Posto Ivinhema
	AJ	Itaum	Ma	Sid	Caa	Do	Itap	PRB	Ar	GD	PW	RG	Xa	
20/abr/01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	312,0
21/abr/01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	33,7	0	305,0
22/abr/01	34,2	34,5	39,5	0	41,1	50	54,6	42,9	42,2	0	29,6	0	30,5	335,0
23/abr/01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,4	0	0	0	348,0
24/abr/01	13,2	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	29	0	369,0
25/abr/01	14	23	3,5	0	6	6,8	13,4	19	3,4	0	11,6	0	5,3	404,0
26/abr/01	0	0	0	33,2	0	0	0	5,2	2,4	0	0	0	0	425,0
27/abr/01	0	7,3	0	52,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	435,0
28/abr/01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	442,0
29/abr/01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	446,0
30/abr/01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	449,0
01/mai/01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	445,0
02/mai/01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	438,0
03/mai/01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,9	0	403,0
04/mai/01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	363,0
05/mai/01	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	334,0
06/mai/01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	316,0
07/mai/01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	311,0
08/mai/01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	306,0
09/mai/01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300,0

Precipitação efetiva, com β igual à 0,013, de acordo com a Figura 5.11.

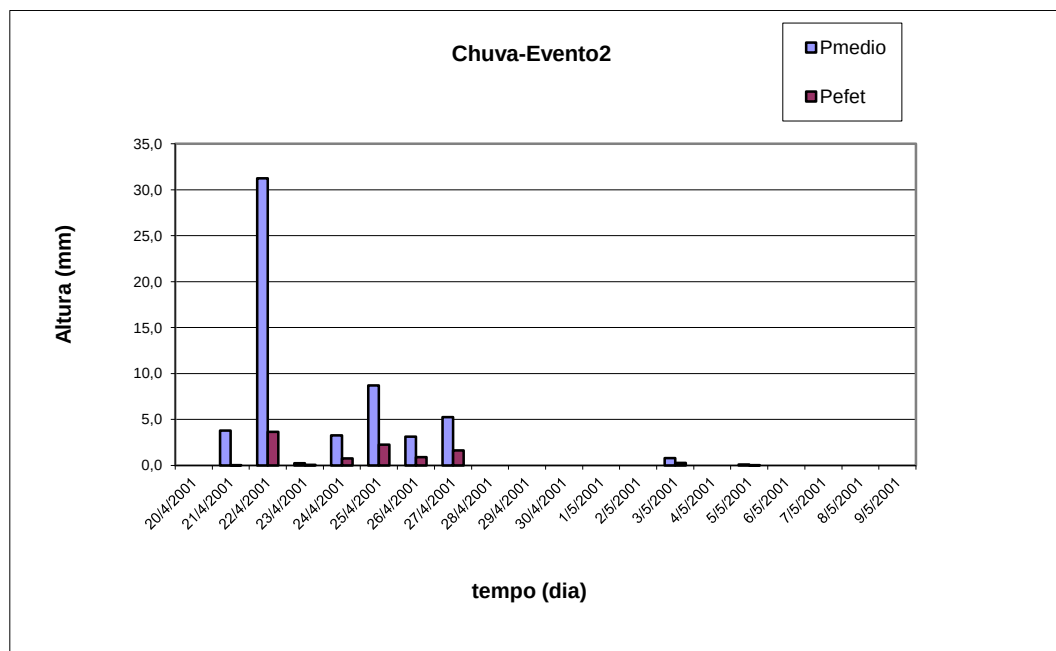


Figura 5.11 - Precipitação efetiva

Precipitação efetiva, com β igual a 0,118, de acordo com a figura 5.13.

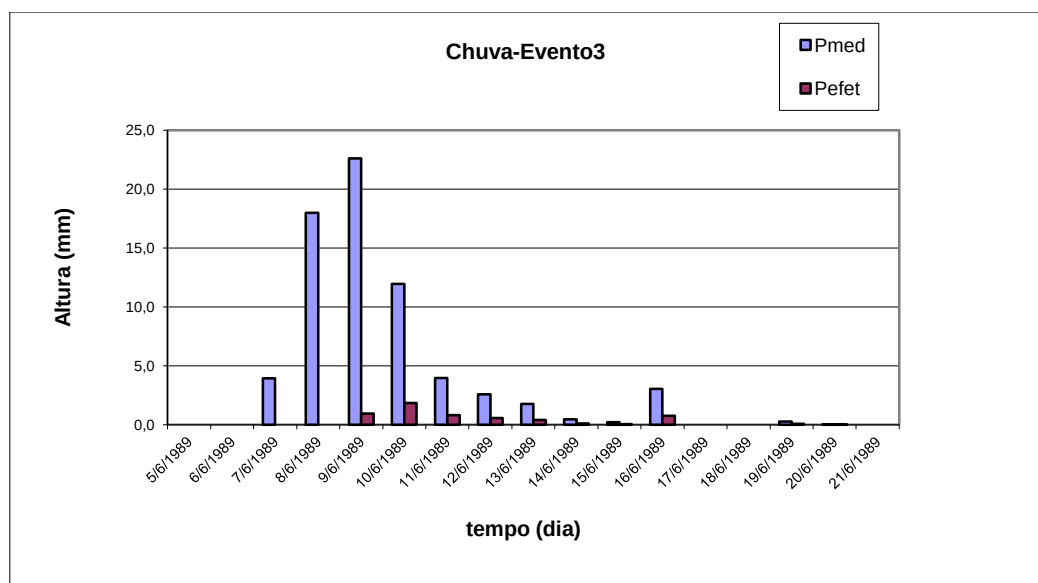


Figura 5.13 - Precipitação efetiva

O evento 4 (Figura 5.14) corresponde com início da ascensão no dia 3 de junho 2003, pico do hidrograma no dia 07 de junho 2003 e ponto de inflexão no dia 19 de junho de 2003 (Tabela 5.11).

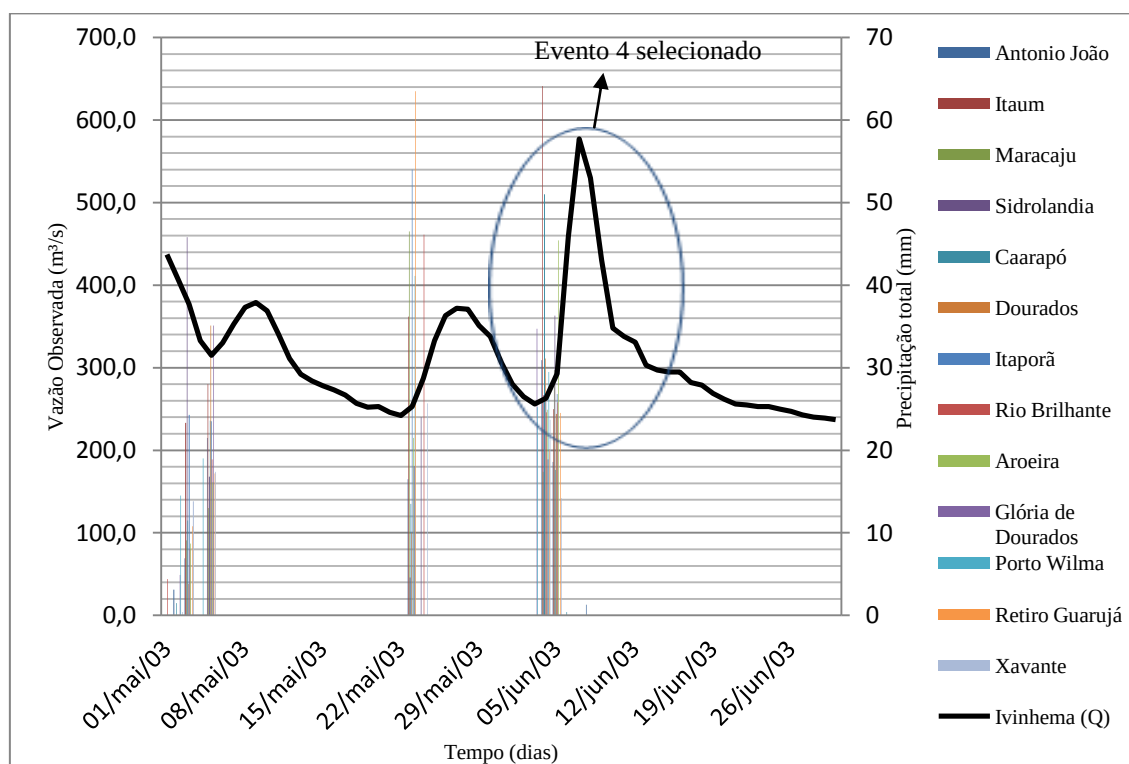


Figura 5.14 - Dados pluviométricos e fluviométricos

TABELA 5.11 - Evento 4

Posto / Tempo	Precipitação diária em mm/dia													Vazão (m³/s) Posto Ivinhema
	AJ	Itaum	Ma	Sid	Caa	Do	Itap	PRB	Ar	GD	PW	RG	Xa	
03/jun/03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34,7	25,2	0	0	256,0
04/jun/03	30,9	64,1	17,4	26,7	51	31,1	26	24,6	24,9	18,9	29,5	20,1	23,7	263,0
05/jun/03	18,6	25	29,7	36,3	17,6	24,4	26,8	25,8	45,4	0	0	24,5	14,2	293,0
06/jun/03	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	459,0
07/jun/03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	577,0
08/jun/03	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	530,0
09/jun/03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	430,0
10/jun/03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	348,0
11/jun/03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	338,0
12/jun/03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	331,0
13/jun/03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	303,0
14/jun/03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	297,0
15/jun/03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	295,0
16/jun/03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	295,0
17/jun/03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	282,0
18/jun/03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	279,0
19/jun/03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	269,0

Precipitação efetiva, com β igual à 0,058, de acordo com a Figura 5.15.

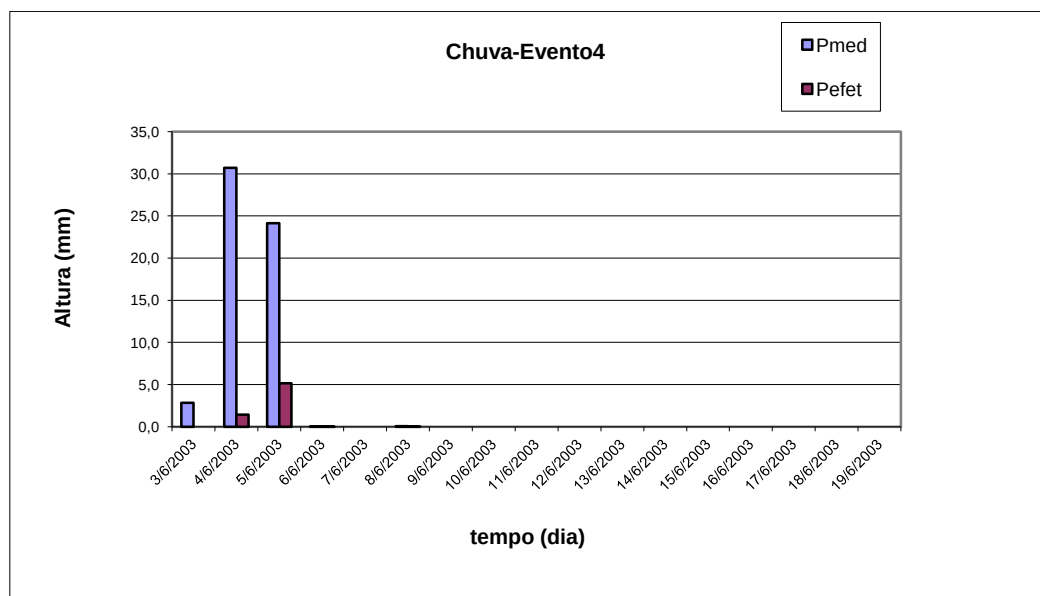


Figura 5.15 - Precipitação efetiva

O evento 5 (Figura 5.16) compreende com início da ascensão no dia 20 de julho de 2002, pico do hidrograma no dia 26 de julho de 2002 e ponto de inflexão no dia 7 de agosto de 2002 (Tabela 5.12).

Precipitação efetiva, com β igual à 0,092, de acordo com a Figura 5.17.

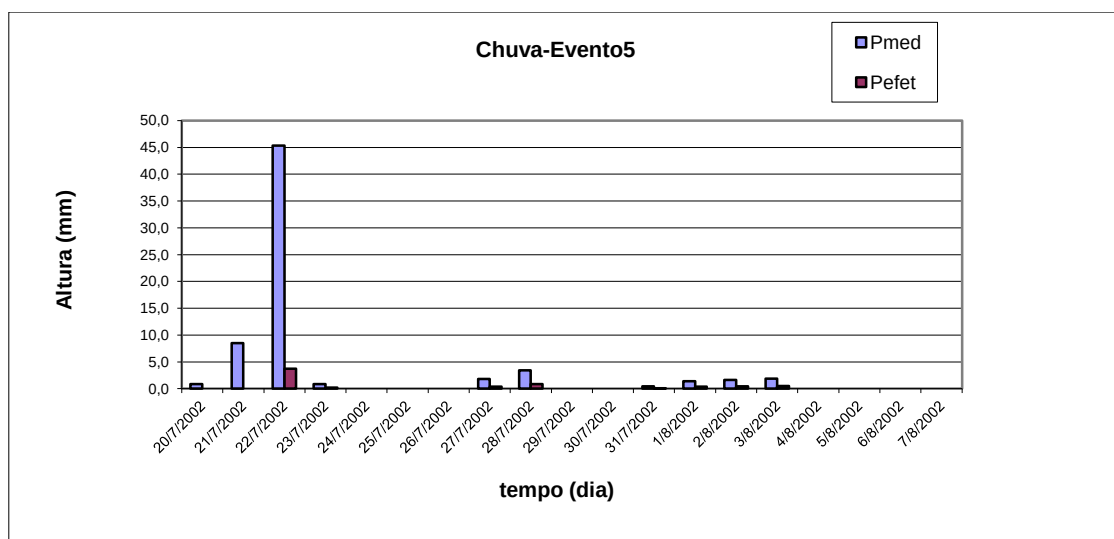


Figura 5.17- Precipitação efetiva

De posse dos dados fisiográficos da área de estudo e selecionados os eventos, foram realizadas as simulações. Primeiramente, as sub-bacias foram consideradas com os planos retangulares idealizados e canais livres com larguras constantes (teste 1), conforme as figuras 5.18, 5.19, 5.20, 5.21 e 5.22. Onde, as vazões corrigidas (Q_{cor}) são resultantes da diferença entre as vazões observadas (Q_{obs}) e as vazões estimadas para o fluxo de base (Q_{base}), tais valores juntamente com a vazão simulada simulada (Q_{sim}) encontram-se no Anexo C.

Teste 1

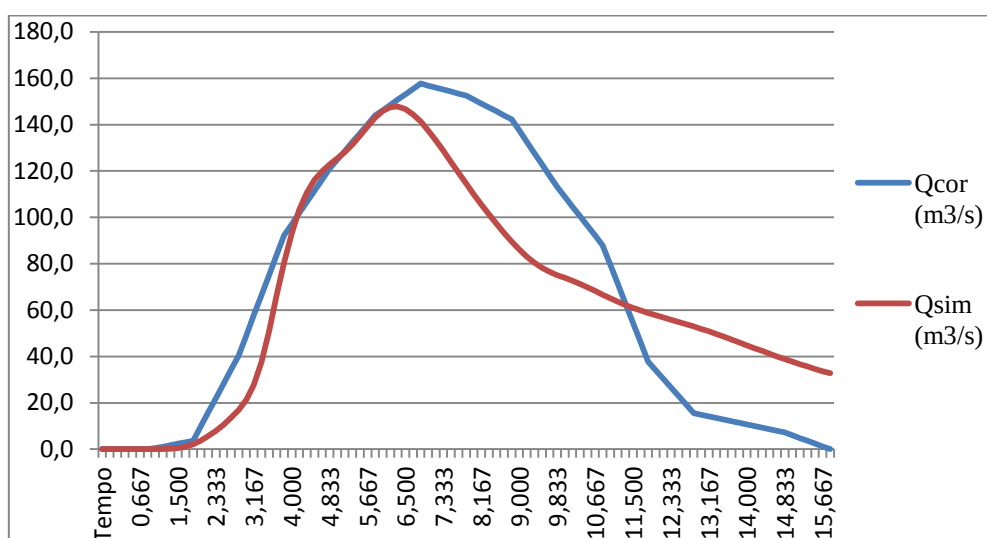


Figura 5.18 - Hidrograma do Evento 1 - Teste 1

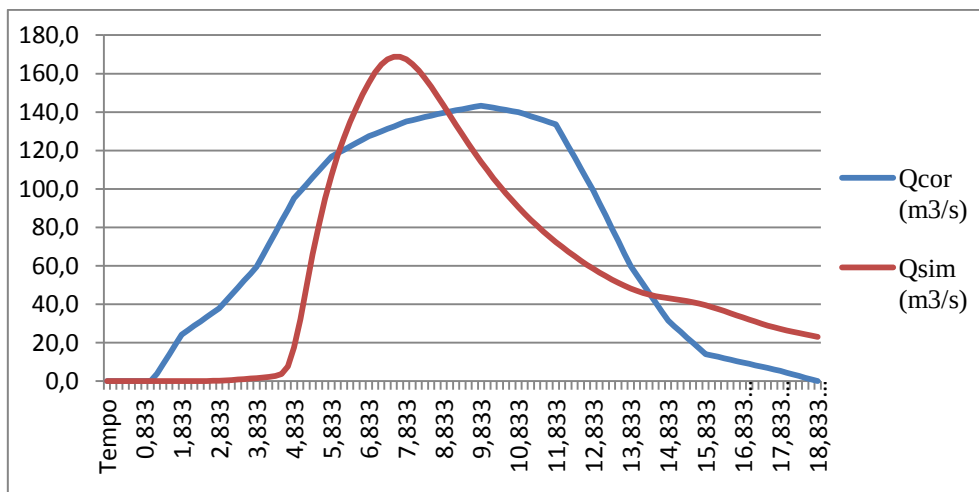


Figura 5.19 - Hidrograma do Evento 2 - Teste 1

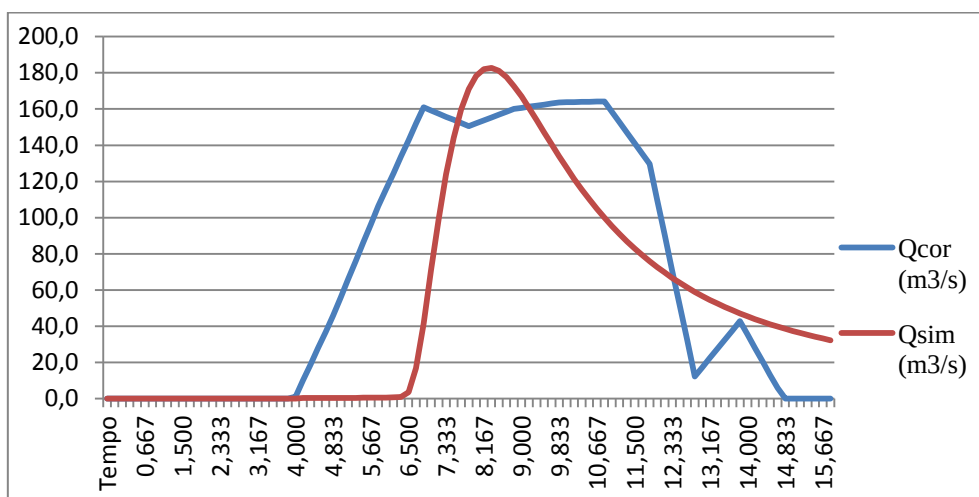


Figura 5.20 - Hidrograma do Evento 3 - Teste 1

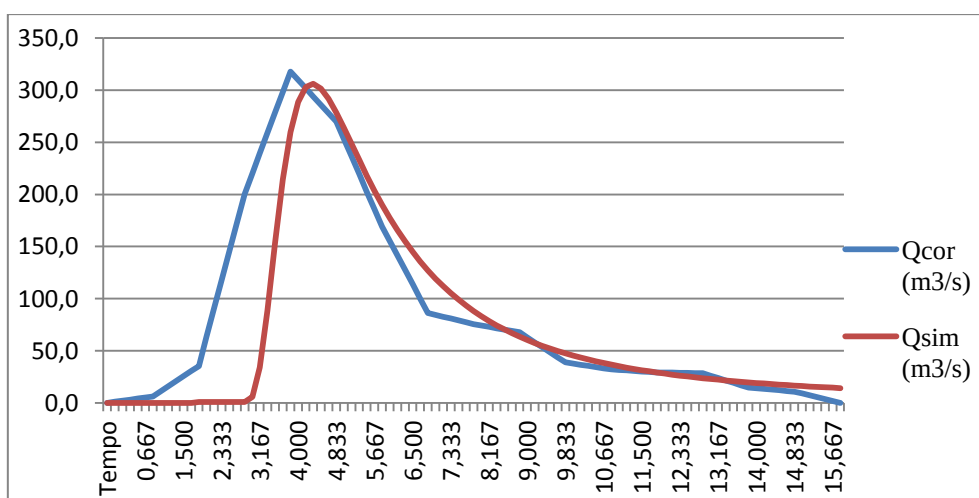


Figura 5.21 - Hidrograma do evento 4 - Teste 1

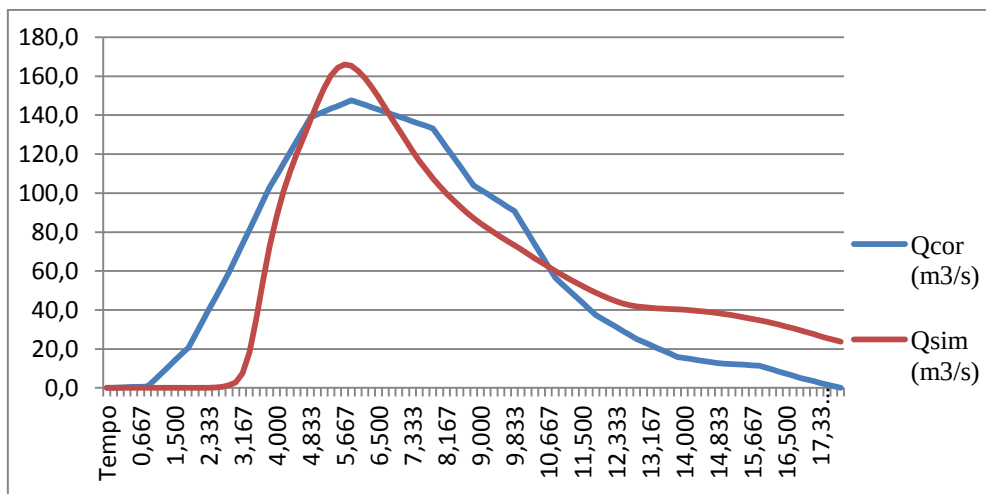


Figura 5.22 - Hidrograma do Evento 5 - Teste 1

A seguir, com os planos retangulares idealizados e canais livres com larguras variáveis (teste 2), conforme as figuras 5.23, 5.24, 5.25, 5.26, 5.27.

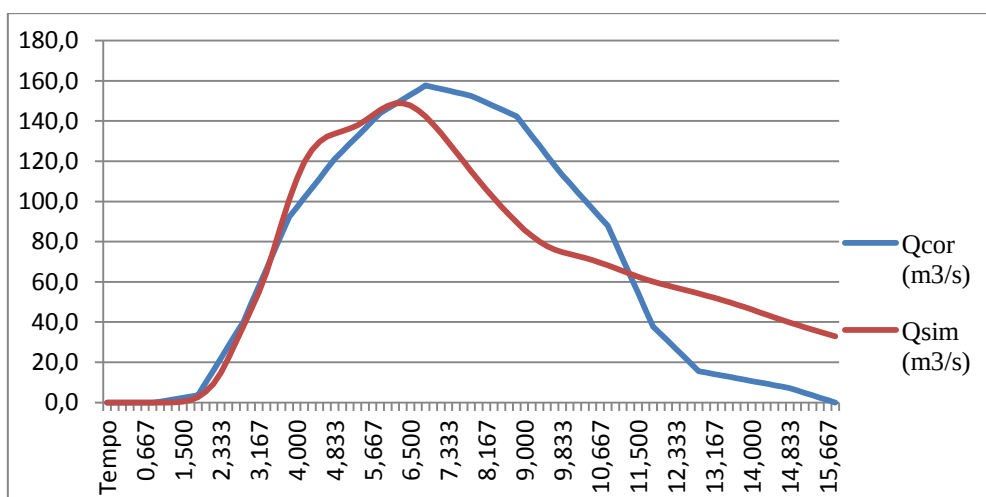


Figura 5.23 - Hidrograma do Evento 1 - Teste 2

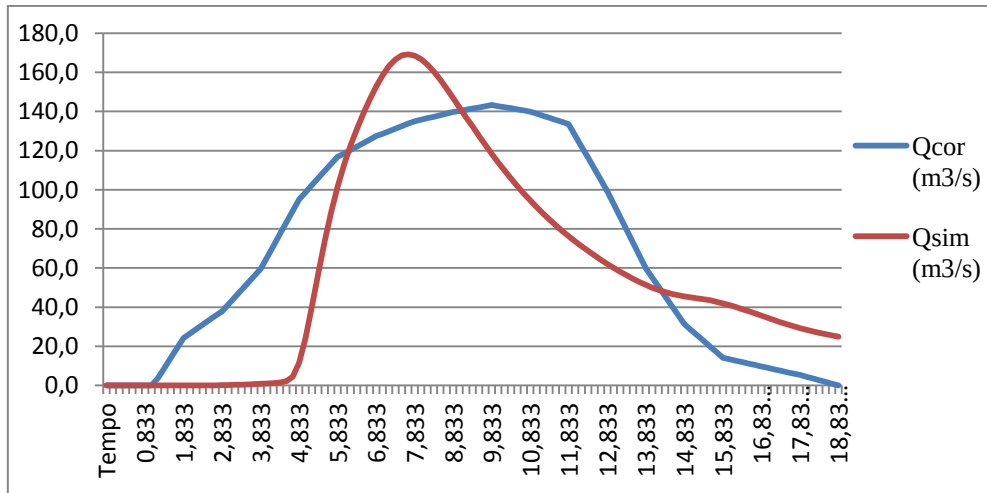


Figura 5.24 - Hidrograma do Evento 2 - Teste 2

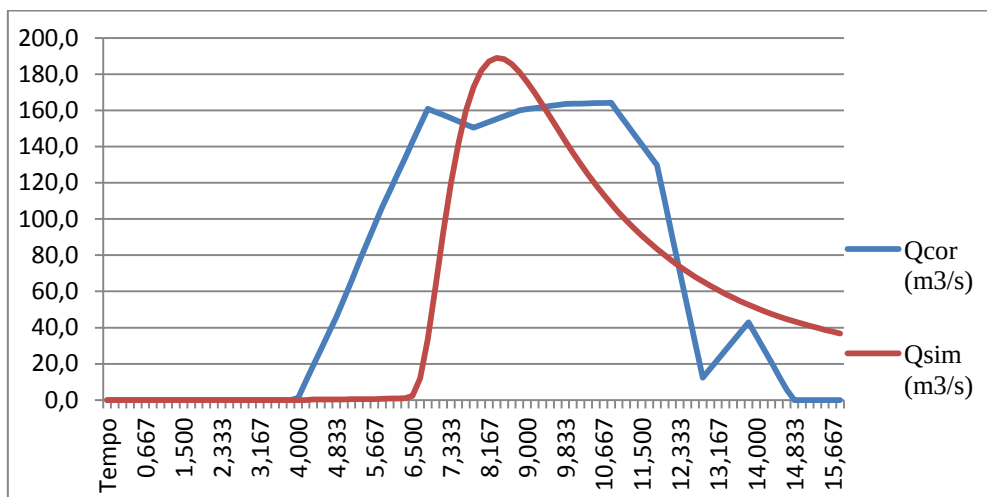


Figura 5.25 - Hidrograma do Evento 3 - Teste 2

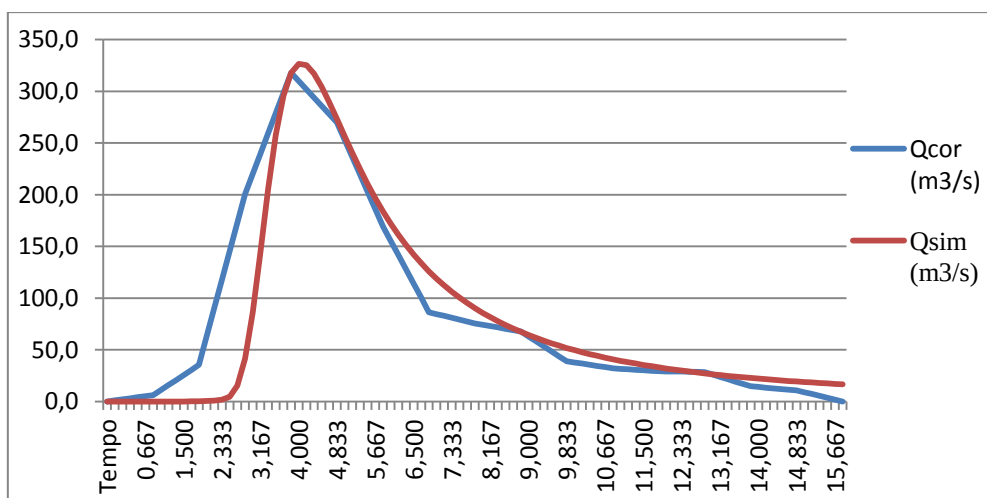


Figura 5.26 - Hidrograma do Evento 4 - Teste 2

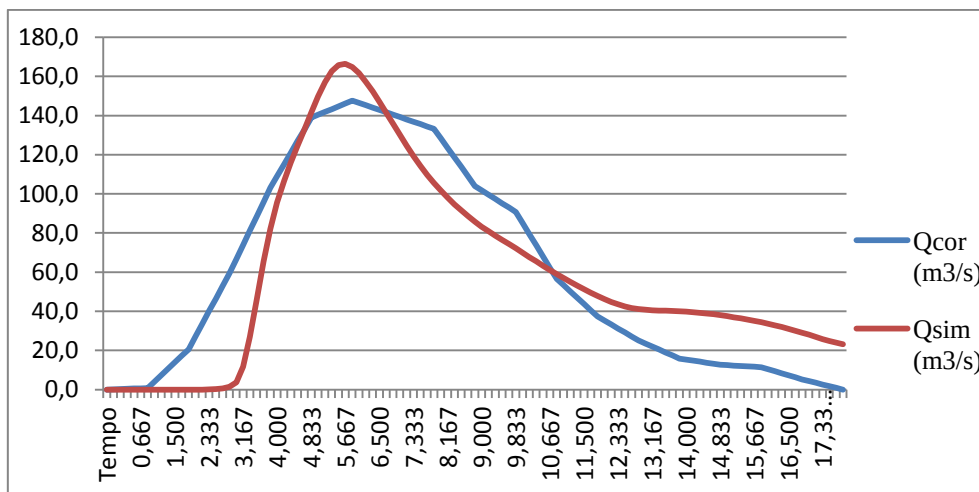


Figura 5.27 - Hidrograma do Evento 5 - Teste 2

Foram feitos os ajustes necessários para a validação do modelo proposto, sendo que a rugosidades e declividades sofreram pequenas alterações para ajuste de pico e tempo de pico. Os parâmetros físicos após a justes, encontram-se no anexo C.

Apesar do coeficiente β ter sido pré-determinado através da relação com a altura da lâmina do escoamento superficial, houve sua variação, pois aconteceu uma discrepância maior, principalmente na relação entre os volumes observados e simulados. Portanto foram utilizados os seguintes valores para β :

Evento 1: 0,079;

Evento 2: 0,080;

Evento 3: 0,057;

Evento 4: 0,103; e

Evento 5: 0,048.

A Tabela 5.13 ilustra os valores entre os volumes observados e simulados dos testes 1 e 2, bem como o seu desvio de volumes.

TABELA 5.13- Volumes observados e simulados

Eventos	Teste 1			Teste 2		
	Vol. observado (m³)	Vol. simulado (m³)	D_v	Vol. observado (m³)	Vol. simulado (m³)	D_v (%)
1	73.004.214,1	69.145.679,4	5,29	73.004.214,1	73.267.522,3	0,36
2	88.771.132,6	73.563.192,3	17,13	88.771.132,6	74.851.674,5	15,68
3	73.390.144,5	55.862.377,7	23,88	73.390.144,5	59.028.322,2	19,57
4	89.586.119,9	76.547.656,5	14,55	89.586.119,9	85.017.747,7	5,10
5	71.474.575,0	70.514.095,5	1,34	71.474.575,0	70.645.080,9	1,16

A Tabela 5.14 apresenta os valores de vazão de pico e tempo de pico, bem como seus erros em porcentagem.

TABELA 5.14 - Porcentagem de erro na vazão (PEP) e tempo de pico (PET)

Eventos	Qpico	Tpico	Teste 1				Teste 2			
	observada	observada	Qpico	PEP	Tpico	PET	Qpico	PEP	Tpico	PET
	(m³/s)	(m³/s)	simulada	(%)	simulada	(%)	simulada	(%)	simulada	(%)
			(m³/s)				(m³/s)			
1	157,7	7,0	147,7	6,31	6,50	7,16	148,8	5,62	6,50	7,16
2	143,3	10,0	168,8	17,77	7,667	23,35	169,3	18,11	7,833	21,68
3	164,2	11,0	182,8	11,32	8,50	22,743	189,0	15,12	8,50	22,743
4	317,8	4,0	306,3	3,617	4,5	12,48	326,5	2,74	4,167	4,14
5	147,7	6,0	166,0	12,39	5,833	2,79	166,4	12,69	5,833	2,79

A Tabela 5.15 apresenta os valores do coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe (R^2) e a raiz do erro quadrado médio (REQM).

TABELA 5.15 - Coeficiente de eficiência (R^2) e Raiz do erro do quadrático médio (REQM)

Eventos	Teste 1		Teste 2	
	R^2	REQM	R^2	REQM
1	0,73	26,61	0,74	26,25
2	0,46	34,21	0,46	34,21
3	0,15	47,42	0,12	47,82
4	0,50	53,37	0,72	38,47
5	0,72	2,28	0,74	2,21

Observa-se que, com relação ao teste 2, ao se considerar a variação das larguras dos rios, obteve-se menores erros nos eventos selecionados. Acredita-se que isso se deve à maior aproximação desse dado físico com a realidade. É perceptível um aumento considerável do volume simulado aproximando mais do volume observado, acarretando em aumento de velocidade do curso hídrico, e assim, obtendo um melhor ajuste nos tempos e vazão de pico.

Portanto, utilizando os resultados do teste 2, os eventos 1, 4 e 5 foram os que apresentaram melhores resultados em função do desvio dos volumes, considerados relativamente baixos.

Tais eventos, considerando a vazão e o tempo de pico, resultam em certa defasagem, refletindo no coeficiente de eficiência e na raiz do erro quadrado médio. Tende-se a ponderar estas análises estatísticas em atendimento ao objetivo do estudo, seja na manutenção dos volumes, acerto dos tempos ou vazões de picos e até mesmo em minimização do erro quadrático médio, portanto para fase de verificação, utiliza-se o evento 5, a título de exemplo, os demais eventos, com os hidrogramas e valores de vazões observadas e calculadas encontram-se no Anexo D.

5.4.2. Fase da verificação e validação do modelo proposto

A verificação consistiu em comparar os resultados das vazões simuladas e observadas para todos os níveis de discretização da bacia em estudo, onde existe posto fluviométrico com medições realizadas, utilizando o teste 2 e evento 5, conforme as Figuras 5.28, 5.29, 5.30, 5.31 e 5.32.

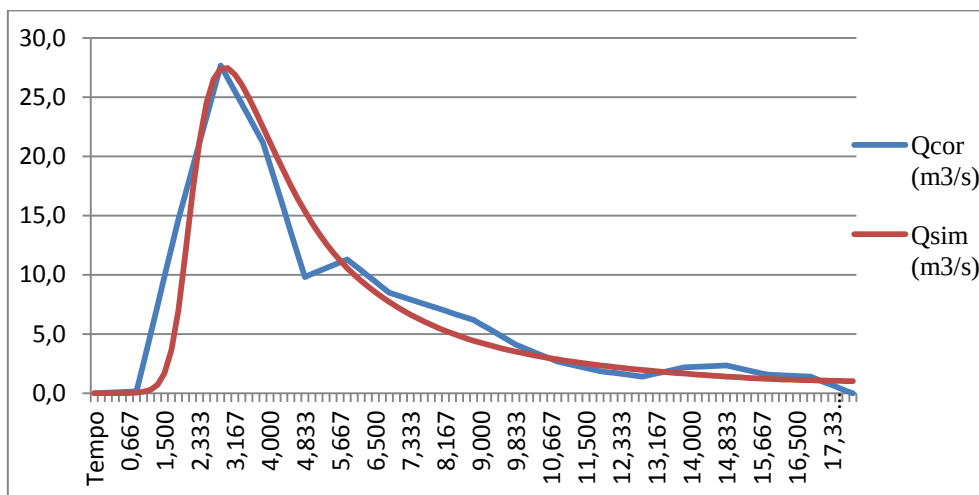


Figura 5.28 Hidrogramas da Sub-bacia 1

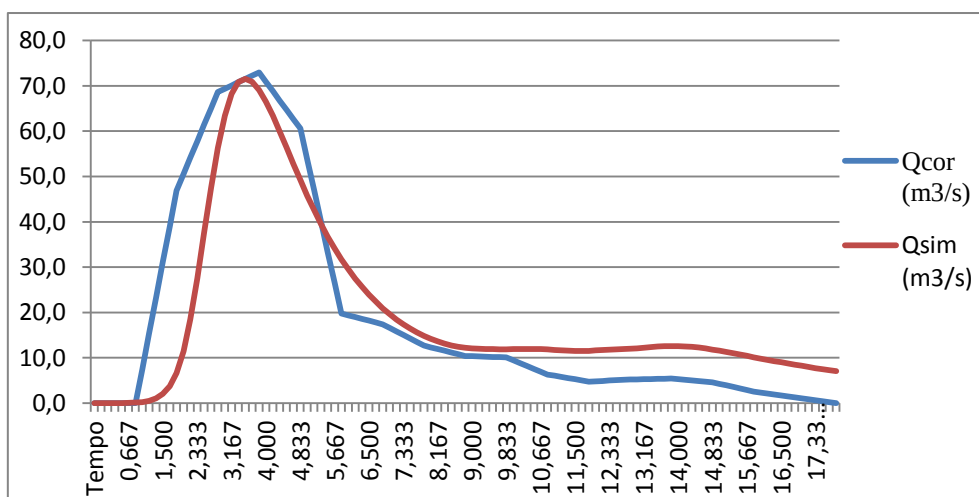


Figura 5.29 - Hidrogramas da Sub-bacia 3

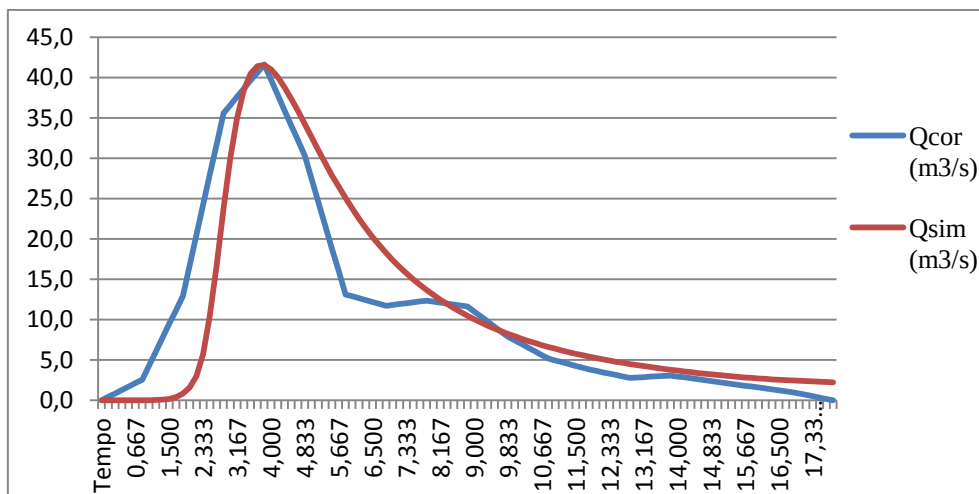


Figura 5.30 - Hidrogramas da Sub-bacia 4

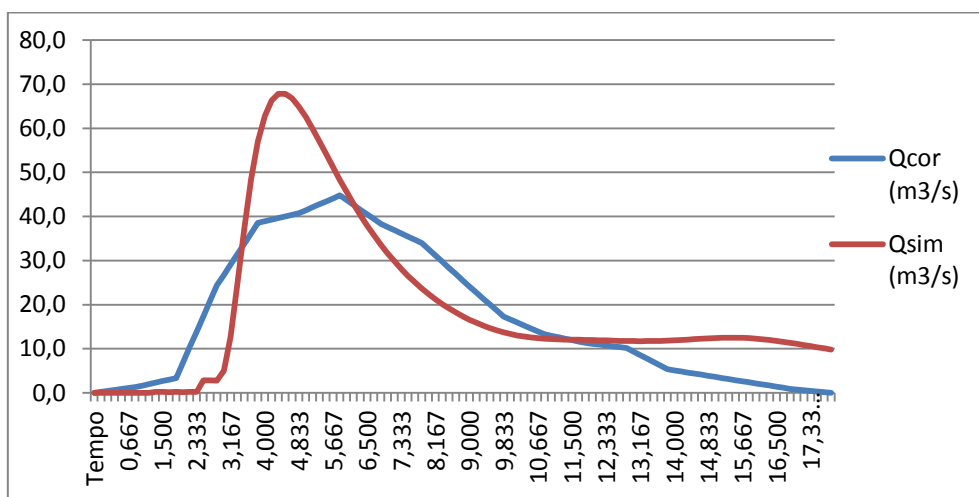


Figura 5.31 - Hidrogramas da Sub-bacia 7

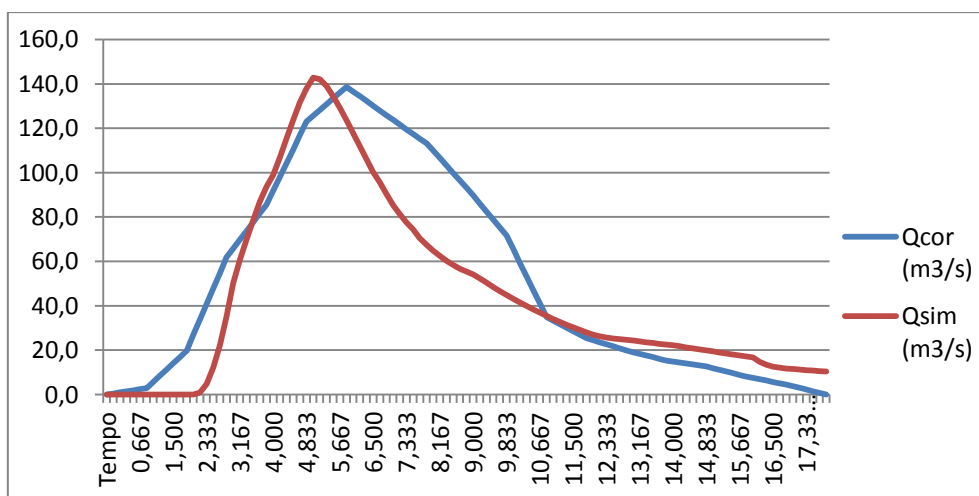


Figura 5.32 - Hidrogramas da Sub-bacia 12

Vale ressaltar que nas sub-bacias 2 e 8, mesmo possuindo um posto fluviométrico instalado em seu exutório, não havia medição neste intervalo de tempo, estimando assim as vazões simuladas diárias, encontradas no Anexo D, e as sub-bacias 5, 6 e 9 inexistem postos fluviométricos, conseqüentemente impossibilitou a comparação com as vazões observadas.

Após a verificação da análise estatística (Tabela 5.16), constata-se que os volumes e vazões de pico das sub-bacias, exceto a sub-bacia 7, estão bastante aproximados, porém com os tempos de pico com maior defasagem.

TABELA 5.16 - Resultados observados e simulados e seus respectivos erros

Sub-bacia (n°)	Vol _{obs} (m³)	Vol _{sim} (m³)	D _v (%)	Q _{pico} obs. (m³/s)	Q _{pico} sim. (m³/s)	PEP (%)	T _{pico} obs.	T _{pico} sim.	PET (%)
1	8.063.803,7	7.667.992	4,91	27,7	27,4	0,84	3,001	3,167	5,53
3	22.641.402,9	23.048.249,7	1,80	72,9	71,6	1,89	4,001	3,667	8,35
4	12.938.485,9	13.316.163,0	2,92	41,6	41,5	0,25	4,001	4,000	0,02
7	20.444.878,5	22.748.240,8	11,27	44,8	67,8	33,97	6,001	4,667	28,6
12	61.986.334,6	60.623.692,0	2,20	138,7	142,8	3,00	6,001	5,167	13,90

Observa-se que de acordo com o encadeamento proposto e somando os hidrogramas de contribuições à montante, corresponde ao hidrograma do ponto exutório da bacia em estudo, sendo capaz assim, de estimar vazões diárias em qualquer ponto desejado.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O modelo simplificado proposto, possui limitações por trabalhar com as médias das características físicas, e a idealização dos planos laterais, não corresponde à situação real da área de estudo. Além disso, o método de Thiessen, para a estimativa da precipitação, resulta em chuvas homogêneas nas áreas de influências, e devido à quantidade de postos pluviométricos, não é possível determinar com exatidão a distribuição da chuva sobre a bacia.

Como foi adotada como área de estudo uma grande bacia hidrográfica, o nível de detalhamento sobre ela diminui, principalmente em termos de uso e ocupação do solo, ocasionando em estimativas dos valores de CN e rugosidades que podem não condizer com a realidade.

Para minimizar as discrepâncias dos resultados, foram efetuados testes na simulação com e sem variação da largura dos rios principais em cada sub-bacia, mostrando que ao variá-la obteve-se resultados mais satisfatórios quando comparados aos valores observados. Outro teste, foi realizado a partir da pré-determinação do parâmetro β , que tem influência direta à abstração inicial, porém, houve modificações nos valores devido os erros relativos terem aumentados.

Apesar das limitações citadas, a aplicação do modelo da onda cinemática, permite, o estudo do comportamento da bacia hidrográfica e a estimativa das vazões diárias em locais sem medições, apresentando resultados satisfatórios nos eventos 1, 4 e 5, tornando-se fundamental na gestão dos recursos hídricos, com vistas à de outorga de direito e uso do recurso, por exemplo.

Recomenda-se que sejam realizados novos estudos, com maior nível de detalhamento, e investigação dos dados físicos a campo, em busca de resultados mais condizentes com a realidade local.

Ainda sugere-se que novos postos pluviométricos sejam instalados em locais estratégicos, para que se obtenha informações de precipitação com maior exatidão, e aplicar metodologias para estimar as chuvas pontuais, que minimizem os erros na transformação de chuva em vazão.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, M. B.. *Computacional hydraulics - Elements of the theory of free surface flows*. Pitman Advanced Publishing Program, Londres, 326, 1979.

ASCE. *Task committee on Definition of Criteria for Evaluation of Watershed Models of the Watershed Management Committe, Irrigation and Drainage Division*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. vol. 119, nº3, p. 429-442. 1993.

ALMEIDA, I. K. *Otimização de Parâmetros no ajuste de modelos matemáticos em bacias hidrográficas de escassos registros hidrológicos*. Campo Grande, 2009. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

ALMEIDA, I. K., ALMEIDA, A. K., ANACHE, J. A. A., STEFFEN, J. L., ALVES SOBRINHOS, T. *Estimation on time of concentration of overland flow in watersheds: a review*. Revista Geociências, v. 33, n.4, p. 661-671, UNESP, São Paulo, 2014.

ALMEIDA, C. N. *Análise de dados pluviométricos*. (Material Didático). Disponível em:<<http://www.lrh.ct.ufpb.br/almeida/material/05%20%20Consistencia%20de%20da%20pluviom%C3%A9tricos.pdf>> 2006.

BERTONI, J. C. e TUCCI, C. E. M. *Capítulo 5 – Precipitação. Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Organizado por Carlos E. M. Tucci, Porto Alegre: Ed. Universidade: ABRH : EDUSP, Coleção ABRH de Recursos Hídricos; V.4, pag 943, 2002.

BARRELLA, W., PETRERE JR., M.; SMITH. W. S.; MONTAG, L. F. A. *As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes*. In: RODRIGUES, R. R. & LEITÃO FILHO, H.F. *Matas ciliares: conservação e recuperação*. EDUSP, 2ª ed., São Paulo, p. 187-207, 2011.

BEASLEY, D. B., HUGGINS, L. F. *Answers user's manual*. Chicago. United States Environmental Protection Agency. Region V. 51p. 1981)

BEVEN, K. *Changing ideas in hydrology: the caso of physically - based models*. Journal of Hydrology, 105, p. 157-172, 1989.

BOSSARD, M.; FERANEC, J.; OTAHEL, J. CORINE land cover technical guide – Addendum 2000. Technical Report, nº 40, European Environment Agency, 2000.

BURROUGH, P. A. *Principles of geographical information systems*. New York, Oxford University Press, 1998.

CHENG, D. K. 1959. *Analysis of linear systems*. Addison Wesley Publ. Co., Massashusetts.

CHERY, D. L.; CLYDE, C. G.; SMITH, R. E. *An application runoff model strategy for ungaged watersheds*. Water Resources Bulletin, v.15, n.4, ago.1979.

CHOW, V. T. *Open-channel hydraulics*. MacGraw-Hill Book Co., New York, 1959.

CHOW, V. T. *Handbook of applied hydrology*. MacGraw-Hill Book Co., New York, 1964.

COSTA NETO, J. F. *Distribuição espacial e temporal do Escoamento Superficial em Bacias hidrográficas*. Campo Grande, 2005. 117p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

COSTA NETO, J. F., STEFFEN, J. L., ALMEIDA, I. K., ALVES SOBRINHOS, T. *Simulação do escoamento superficial em bacia hidrográfica*. Revista Geociências, v. 33, n. 1, p. 147-156, UNESP, São Paulo, 2014.

CRUCIANI, D. E. *A drenagem na agricultura*. São Paulo. Ed. Nobel. 4ª, 1989.

CUNGE, J. A.; HOLLY, F. M.; VERWEY, A. *Practical aspects of computational river hydraulics*. Pitman Publishing. Boston (EUA), 420 p., 1980.

CUNHA, L. V. *Gestão das Águas: Principais Fundamentos e sua Aplicação em Portugal*. Fundação Calouste Gulbenkian, 1982

DESAI, C. S. *Elementary finite element method*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1979.

DISKIN, M. H., SIMPSON, E. S. A. *A quasi-linear spatially distributed cell model for the surface runoff system*. Water Resources Bulletin, v.14, n.4, 1978.

DOOGE, J. C. I. *Linear Theory of Hydrologic Systems*. Technical Bulletin n. 1948, ARS, US Department of Agriculture, 1973.

EMBRAPA. *Manual Brasileiro de Classificação de solos*. 2006.

FIRMINO, M. B. M.; PAULINO, W. D. ; MARTINS, E. S. P. R.; REIS JUNIOR, D. S. *Avaliação do monitoramento da qualidade das águas do reservatório Acarape do Meio integrado com o monitoramento meteorológico e hidrológico*. In: *XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Campo Grande. Redes de hidrologia e de qualidade da água, 2009.

FREAD, D. L. *Flow Routing*. In: Maidment, D. R. (ed.). *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill, 1992.

FOSTER, G.R. Modeling the erosion process. In: *Hydrologic modeling of small watersheds*. St. Joseph, 1982. p.297-380.

GREEN, I. R. A., STEPHENSON, D. (1986). *Criteria for comparison of single event models*. Journal of Hydrology Science, 31(3), 395-411.

INPE. 2013. Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais.

KITE, G. W., KOUWEN, N. *Watershed modeling using land classification*. Water Resources Research, v. 128, n.12, p.3193-3200, 1992.

LEGATES, D.R., MCCABE Jr., G.J. (1999) *Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation*. Water Resources Research, 35(1):233-241.

LIMA, W.P., ZAKIA, M.J.B. *Hidrologia de matas ciliares*. São Paulo: EDUSP, 2000. p.33-44.

MAIDMENT, D. R. *Gis and hydrologic modeling*. In: GOODCHILD, M. F.; PARKS, B. O.; STEYAERT, L. T. *Environmental Modeling with Gis*. New York, Oxford University Press, cap. 14, p. 147-167, 1993.

MARTINS, E. S. P. R.; BERTONI, J. C.; CLARKE, R. T. Análise de precipitações diárias utilizando modelos lineares generalizados. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1992, São Paulo. Anais do VII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1992.

MCCUEN, R.H. *Hydrologic analysis and design*. 2ª ed. New Jersey: Prentice Hall. 1998.

MOORE, B. C. J., SHAILER, M. J., HALL, J. W., SCHOONEVELDT, G. P. *Comodulation masking release in subjects with unilateral and bilateral cochlear hearing impairment*. Journal of the Acoustical Society of America, 93, 435-451, 1993.

PAZ, A. R. *Hidrologia Aplicada*. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Caxias do Sul - RS, 2004.

PONCE, V.M. *Engineering hydrology: principles and practices*. Englewood Cliffs (NJ): Prentice Hall; 1989.

PORTO, R.L.L. *Escoamento Superficial Direto*. In: TUCCI, C. E. M. et al. *Drenagem Urbana*. Porto Alegre, RS. Editora da UFRGS, 1995.

RENNÓ, C.D.; SOARES, J. V. *Conceitos básicos de modelagem hidrológica*. Cap. 2., 2004.

http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap2_modelos_hidrologicos.pdf

SHAMSI, S. U. *GIS application in floodplain management*. ESRI INTERNATIONAL USER CONFERENCE, Agosto 2002, San Diego - USA.

SILVA, E. M. da; CASTRO, M. A. H. de. Uma Análise Preliminar da Distribuição Espacial da Climatologia de Precipitação Pluviométrica Simulada em Bacias Hidrográficas no Estado do Ceará - Brasil. *Revista Tecnologia (UNIFOR)*, Fortaleza/CE, v. 27, n. 01, 2006.

SINGH, V. P. *Hybrid formulation on kinematic wave models of watershed runoff*. *Journal of Hydrology*, 27, p. 33-50, 1975.

STEFFEN, J. L. Simulação unidimensional do escoamento superficial em bacias hidrográficas descritas por modelo numérico de terreno. São Carlos, 1997. 185p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. *O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local*. *Revista Uniara*, v.20, p.137-157, 2007.

THIESSEN, A. H. Precipitation Averages for Large Areas. *Mon. Wea. Rev.* v. 39, p. 1082–1089. 1911.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS/ABRH, 1993.

TUCCI, C. E. M., 1998. *Modelos Hidrológicos*. Porto Alegre (RS): Ed. Universidade/UFRGS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS/ABRH, 2001.

TUCCI, C. E. M., 2005. *Modelos Hidrológicos*. 2. Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; Colaboração da Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

VIEIRA, C. P., PALMIER, L. R. *Medida e modelagem da interceptação da chuva em uma área florestada na região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais*. *Revsita brasileira de Recursos Hídricos*, v. 11, n.3, p. 101-112, 2006.

VILLELA, S. M. e MATTOS, A. *Hidrologia Aplicada*. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245p.

ANEXO A - Tabela para determinação do CN e rugosidade de Manning

Grupo de solo	Características do solo
A	Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1% (Porto, 1995). Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila (Tucci et al., 1993).
B	Solos arenosos menos profundo que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superficial (Porto, 1995). Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundo do que o tipo A e com permeabilidade superior à média (Tucci et al., 1993)
C	Solos barrentos com teor total de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidade de 1,2m. No caso de terras roxas, esse dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5m. Nota-se a cerca de 60cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade (Porto, 1995). Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo (Tucci et al., 1993).
D	Solos argilosos (30% a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50cm de profundidade. Ou solos arenosos com do Grupo B, mas com camada argilosas quase impermeável ou horizonte de seixos rolados (Porto, 1995). Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muita baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial (Tucci et al., 1993).

Tabela A.1 - Grupos de solos e características do solo. (Fonte: Porto, 1995 e Tucci et al., 1993)

Grupo de solo	Capacidade mínima de infiltração (mm/h)	Média
A	7,62 a 11,43	9,53
B	3,81 a 7,62	5,72
C	1,27 a 3,81	2,54
D	0 a 1,27	0,64

Tabela A.2 - Capacidade mínima de infiltração conforme o grupo de solo (Fonte: McCuen, 1998)

Uso do solo	Superfície do solo	Grupo do solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceamento em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceamento em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceamento em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens em curvas de nível	Pobres	47	67	81	88
	Normais	25	59	75	83
	Boas	6	35	70	79
Campos Permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras estradas de terra	Normais	56	75	86	91
	Ruim	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsa, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Tabela A.3 - Valores de CN para áreas agrícolas (Fonte: Tucci, 1998)

Tipo	Intervalo de n
CANAIS COM REVESTIMENTO	
Pouco lisas	0,017 - 0,019
Alisado	0,010 - 0,013
Paredes rugosas	0,019 - 0,021
Paredes de terra com vegetação	0,028 - 0,032
RIOS	
Limpos e retilíneos	0,025 - 0,033
Limpos e retilíneos com vegetação	0,030 - 0,040
Com meandros, vegetação e pedra	0,033 - 0,060
Com área de inundação vegetação	0,075 - 0,150

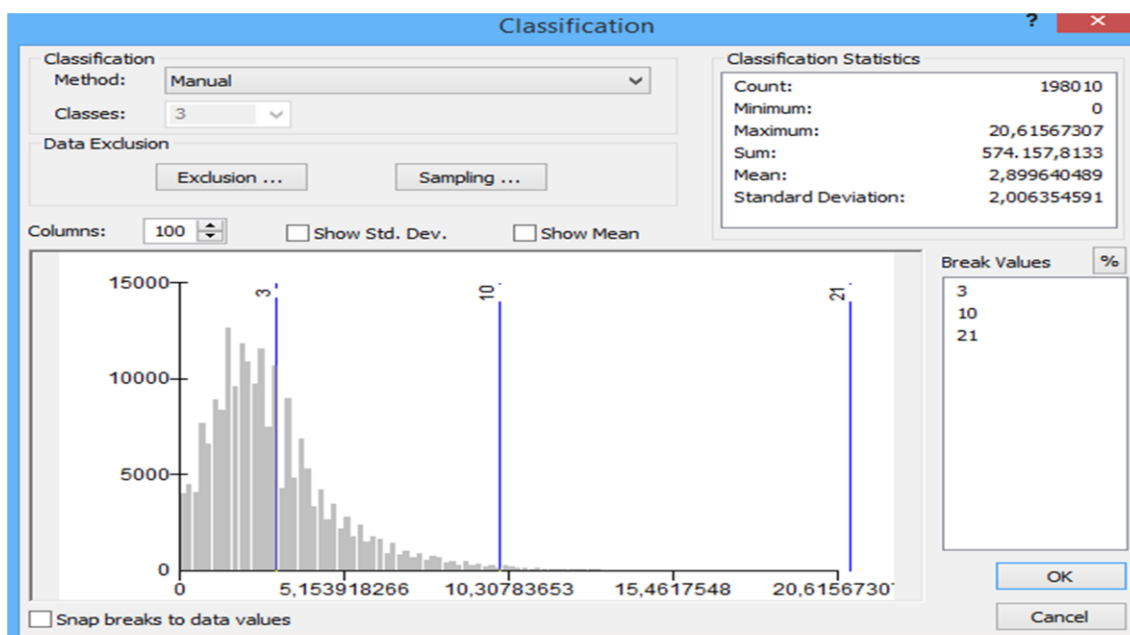
Tabela A.4 - Coeficiente de rugosidade de Manning, para canais e rios (Fonte: Tucci, 2001)

	Tipo de preparo	Tipo de superfície	Intervalo	Valor médio
Cultura em linha	Preparo Primário	Plana	0,070 - 0,100	0,085
		Cultivada	0,090 - 0,120	0,110
	Escarificador	Plana	0,080 - 0,120	0,100
		Cultivada	0,100 - 0,140	0,120
	Sem preparo	Resíduo normal	0,100 - 0,150	0,120
		Muito resíduo	0,130 - 0,170	0,150
Gramma ou pastagem		Pouca cobertura	0,065 - 0,100	0,080
		Cobertura média	0,090 - 0,120	0,100
		Boa cobertura	0,100 - 0,140	0,120
Pequenos grãos		Resíduos removidos	0,090 - 0,120	0,100
		Resíduos importados	0,110 - 0,140	0,120
Florestas ou áreas de reflorestamento		Árvores pequenas	0,120 - 0,180	0,150
		Árvores grandes	0,150 - 0,250	0,200
	Arado	Superfície plana	0,010 - 0,050	0,035
		Superfície rugosa	0,250 - 0,500	0,350
	Escarificador	Superfície plana	0,030 - 0,080	0,050
		Superfície rugosa	0,150 - 0,500	0,250
Terra arada	Arado de disco	Superfície plana	0,030 - 0,070	0,040
		Superfície rugosa	0,100 - 0,400	0,200

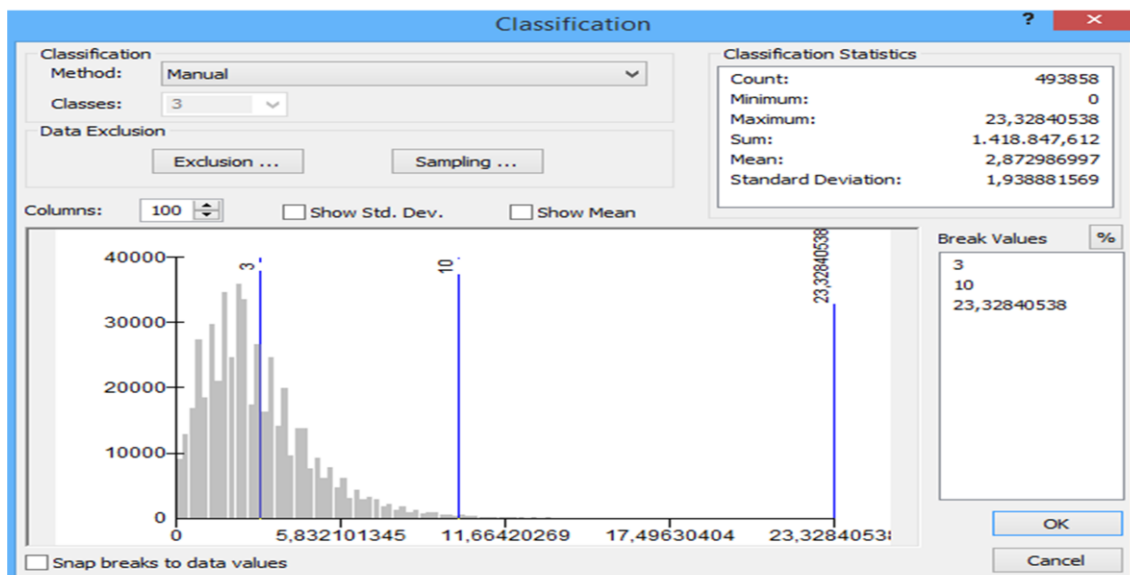
Tabela A.5 - Rugosidades de terrenos (Fonte: Cruciani e Beasley et al., 1981)

ANEXO B - Classificação da Declividade para os planos e o canal principal com
a utilização do Software SIG

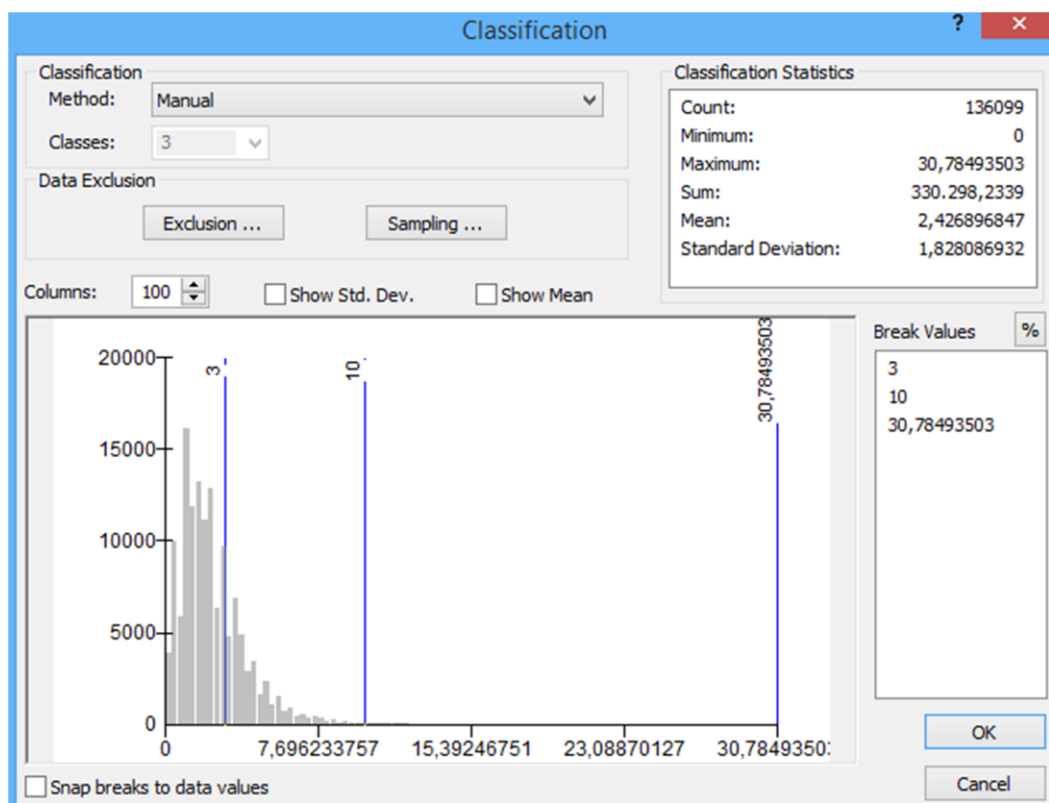
Classificação das declividades dos planos laterais



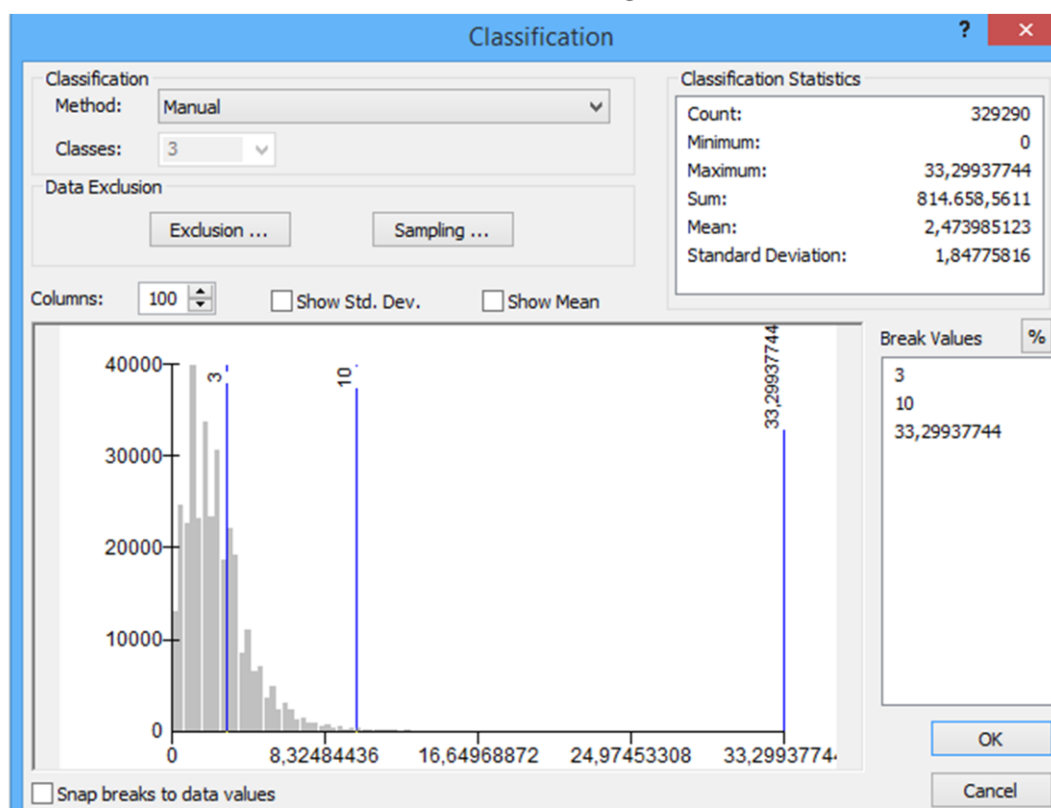
Sub-bacia 1 – Plano esquerdo



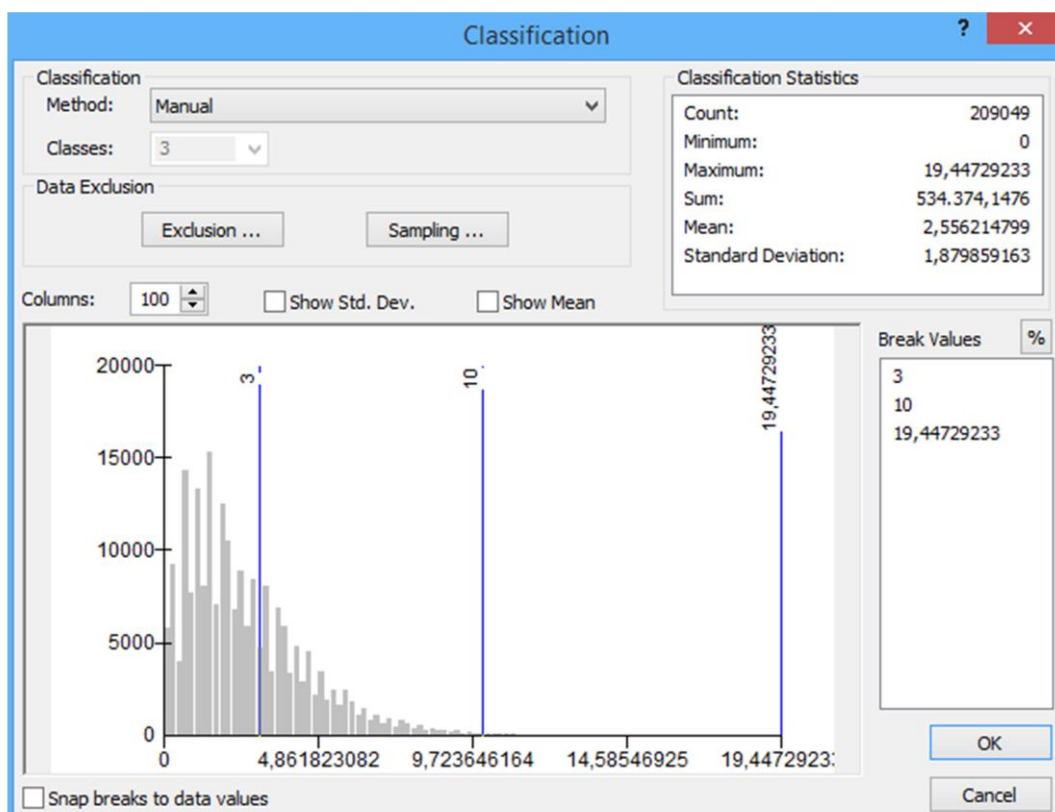
Sub-bacia 1 – Plano direito



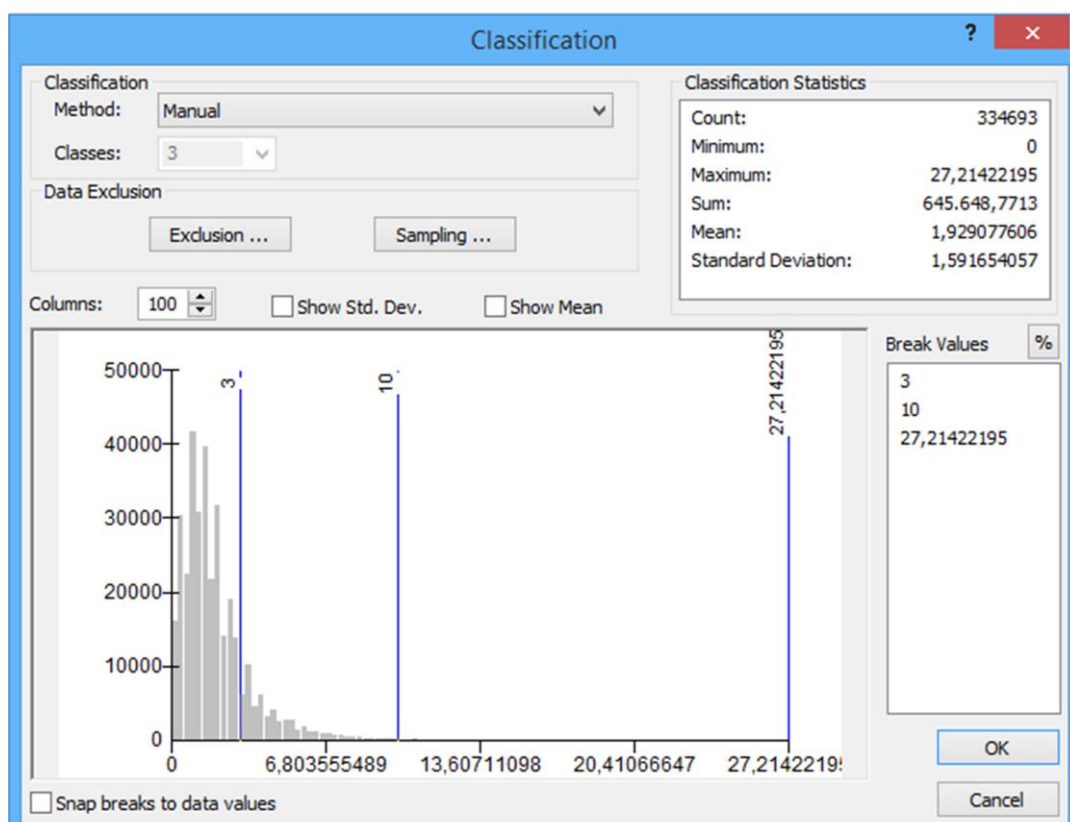
Sub-bacia 2 – Plano esquerdo



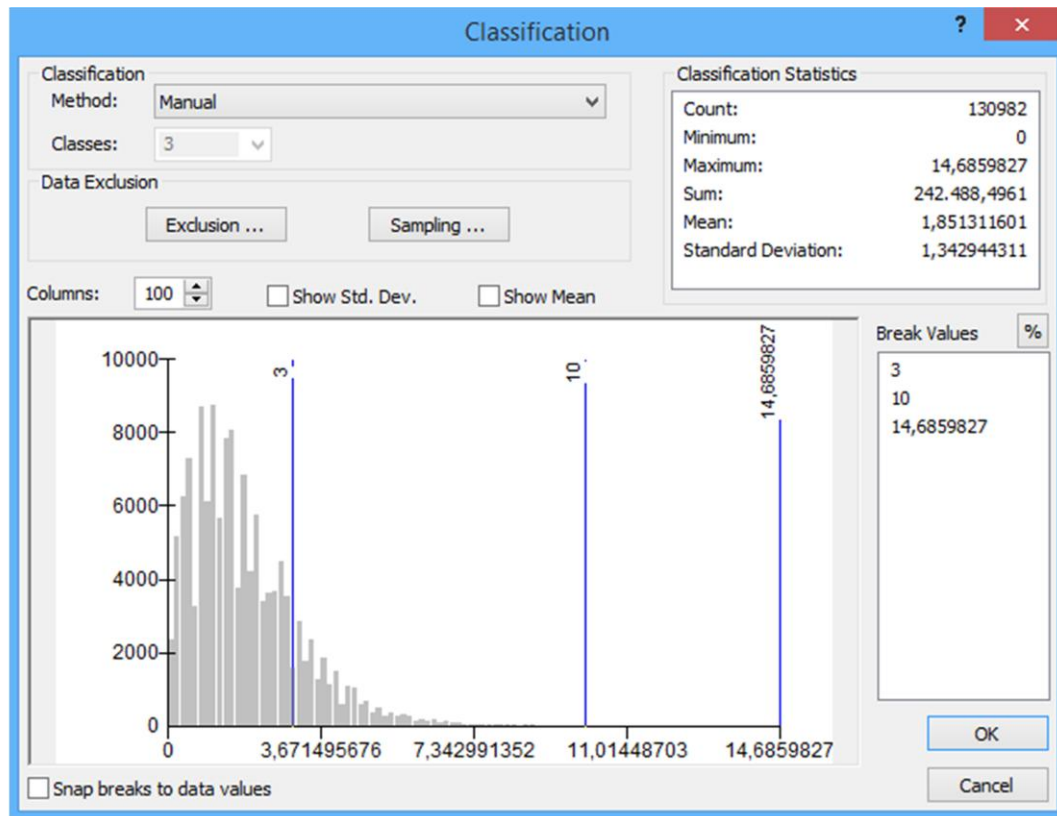
Sub-bacia 2 – Plano direito



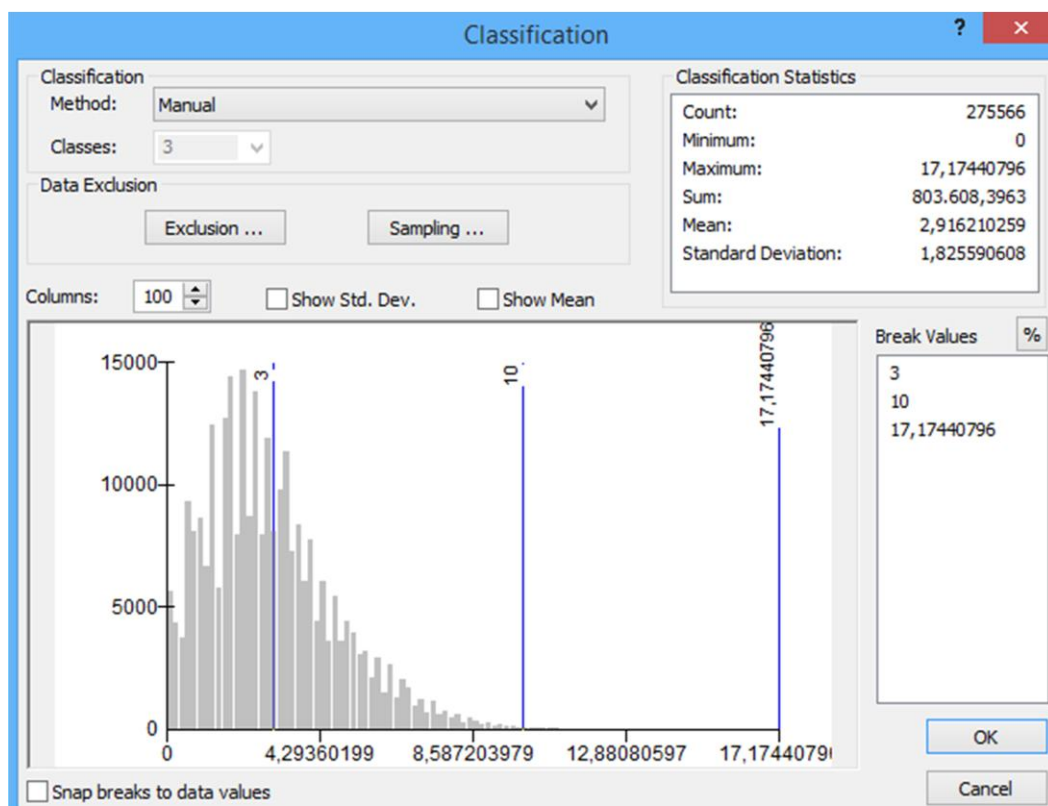
Sub-bacia 3 – Plano esquerdo



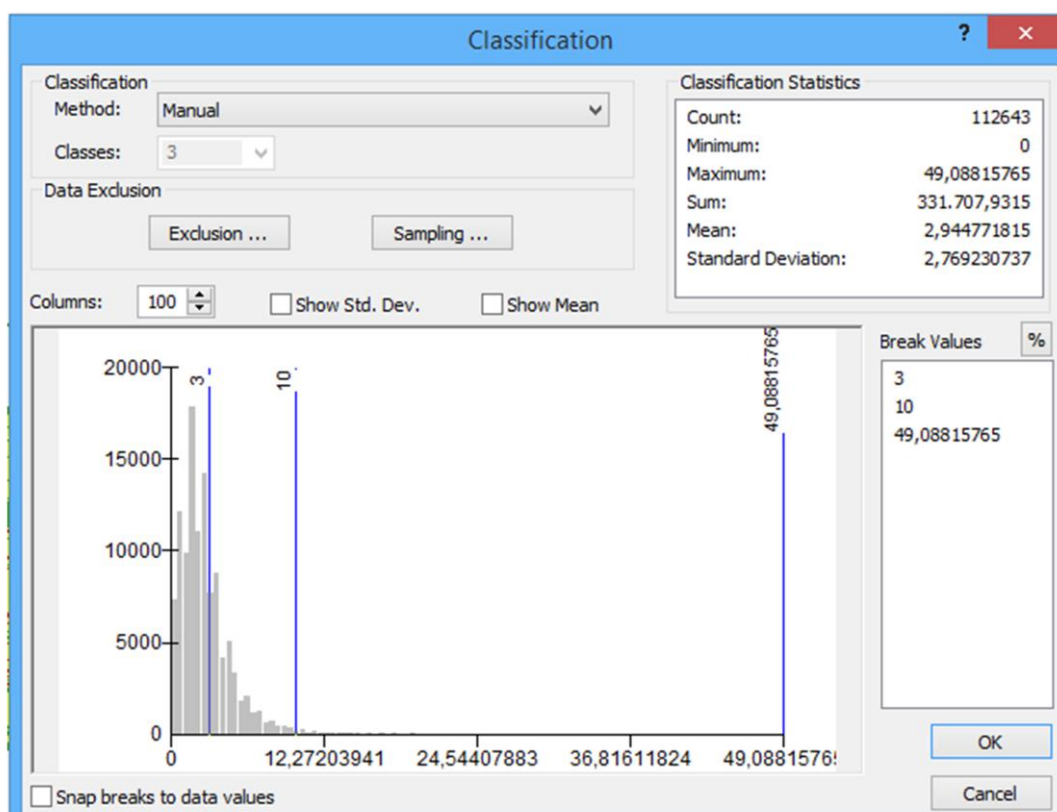
Sub-bacia 3 – Plano direito



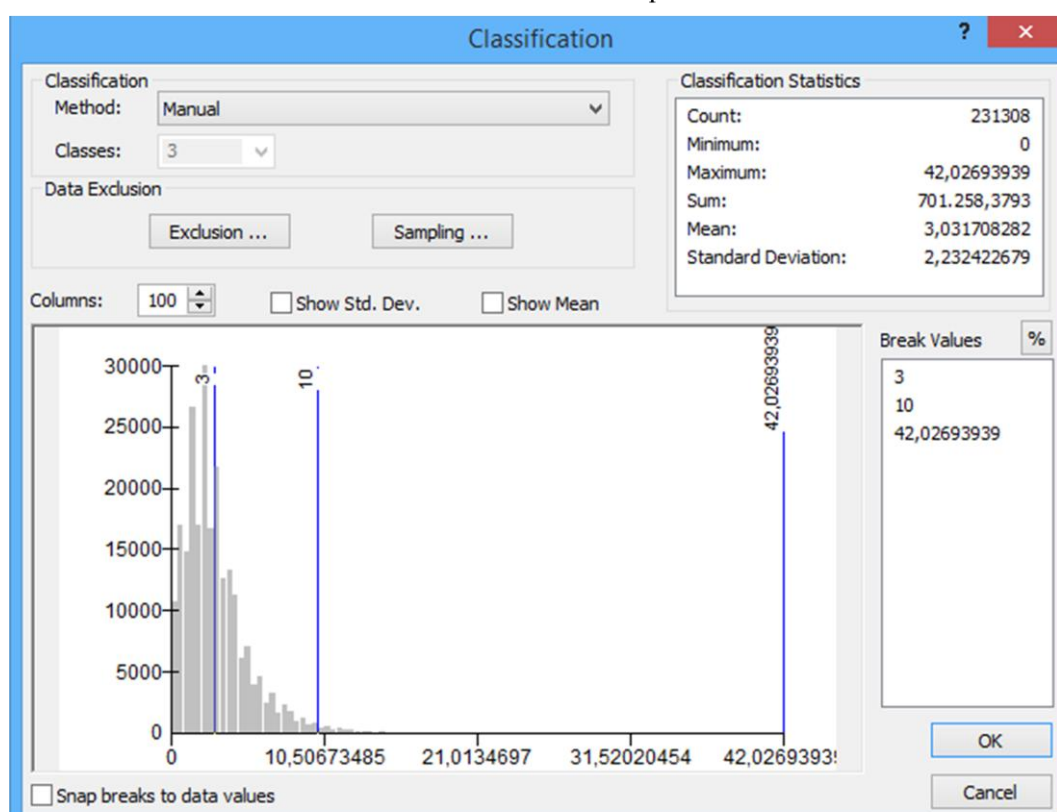
Sub-bacia 4 – Plano esquerdo



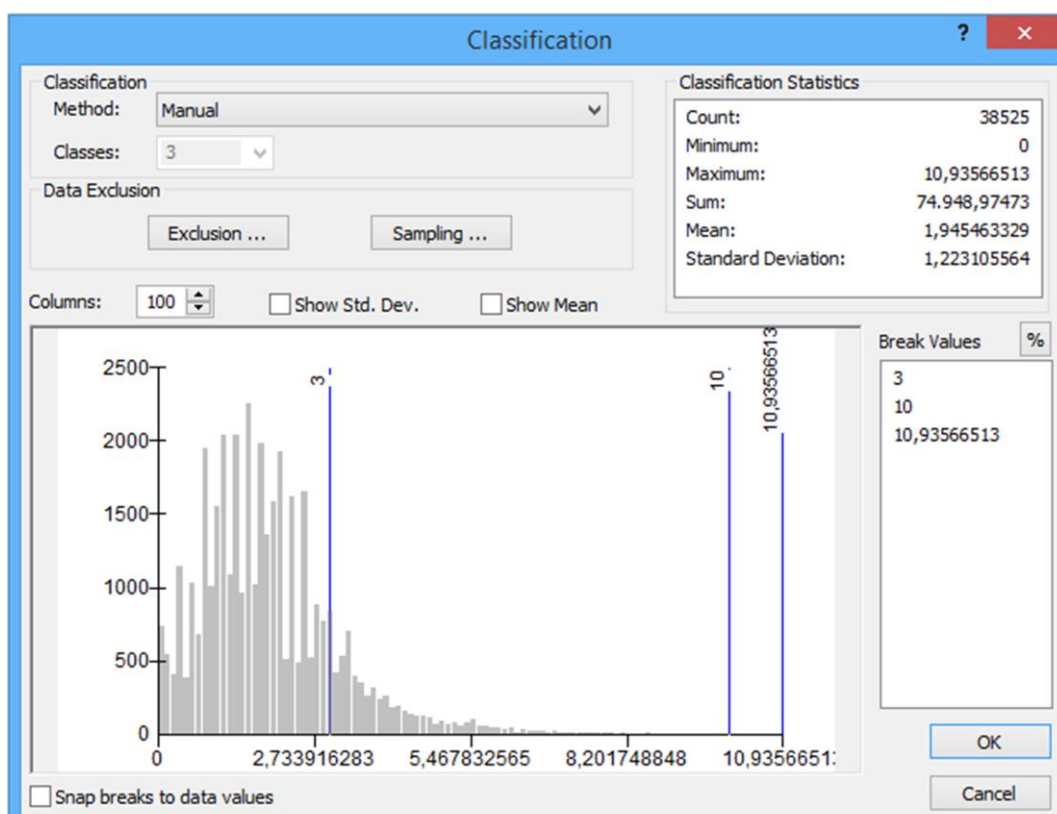
Sub-bacia 4 – Plano direito



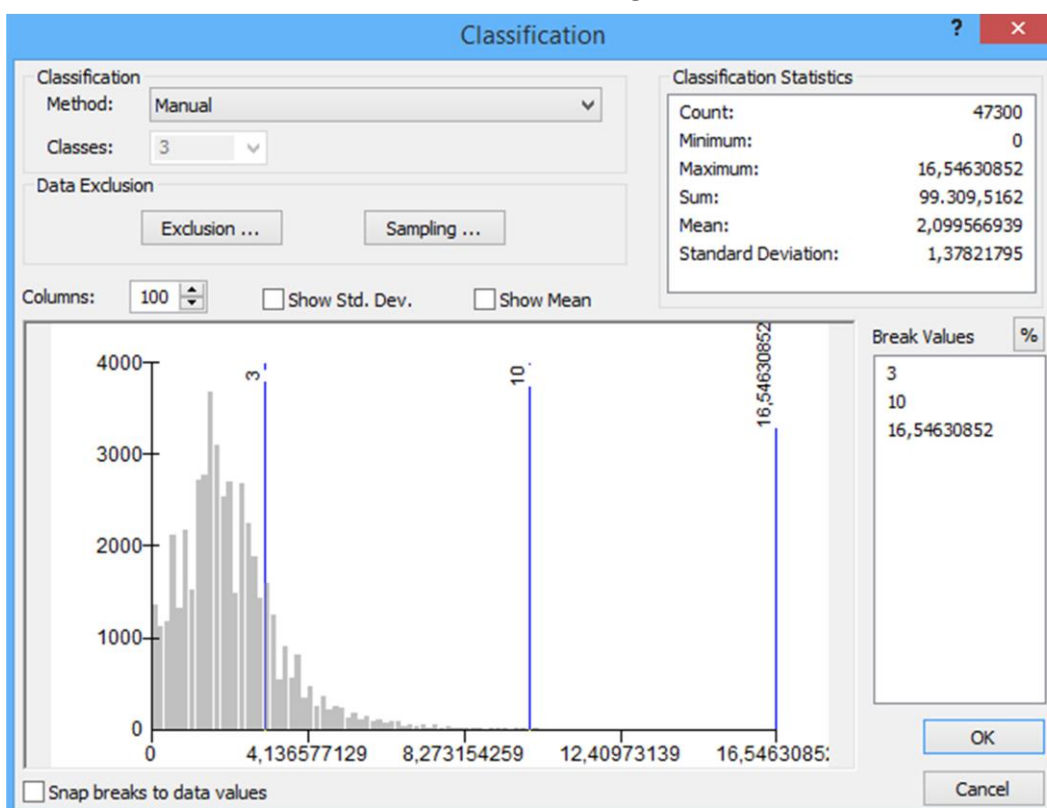
Sub-bacia 5 – Plano esquerdo



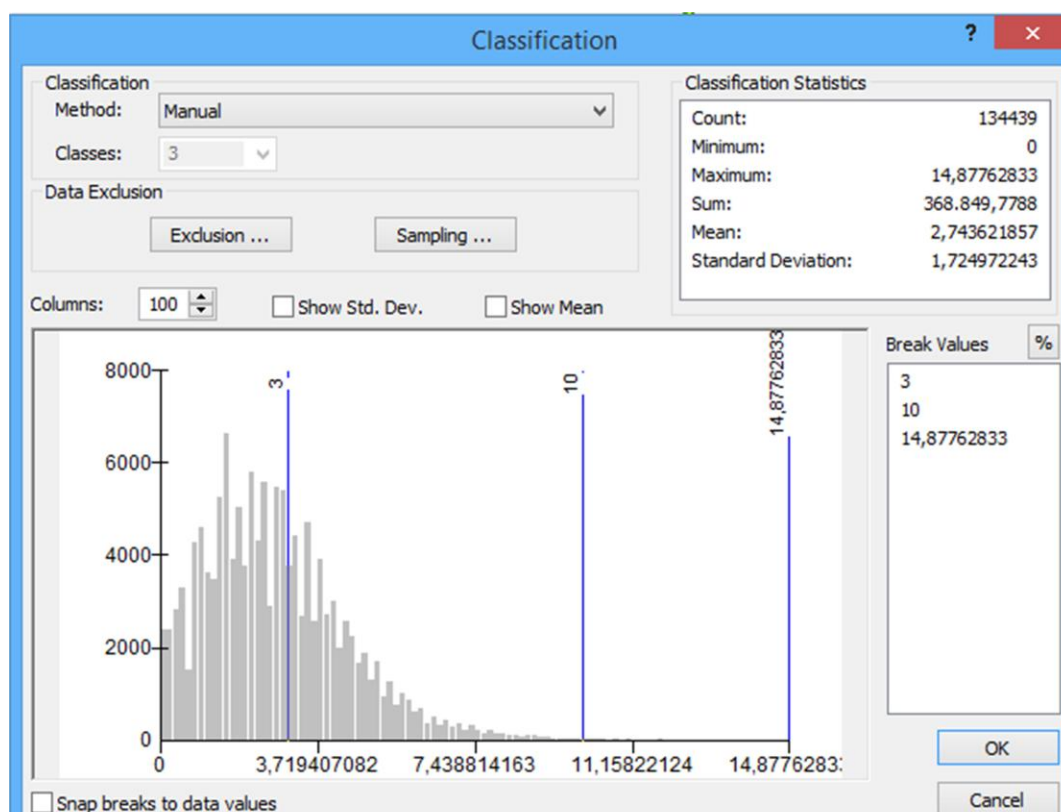
Sub-bacia 5 – Plano direito



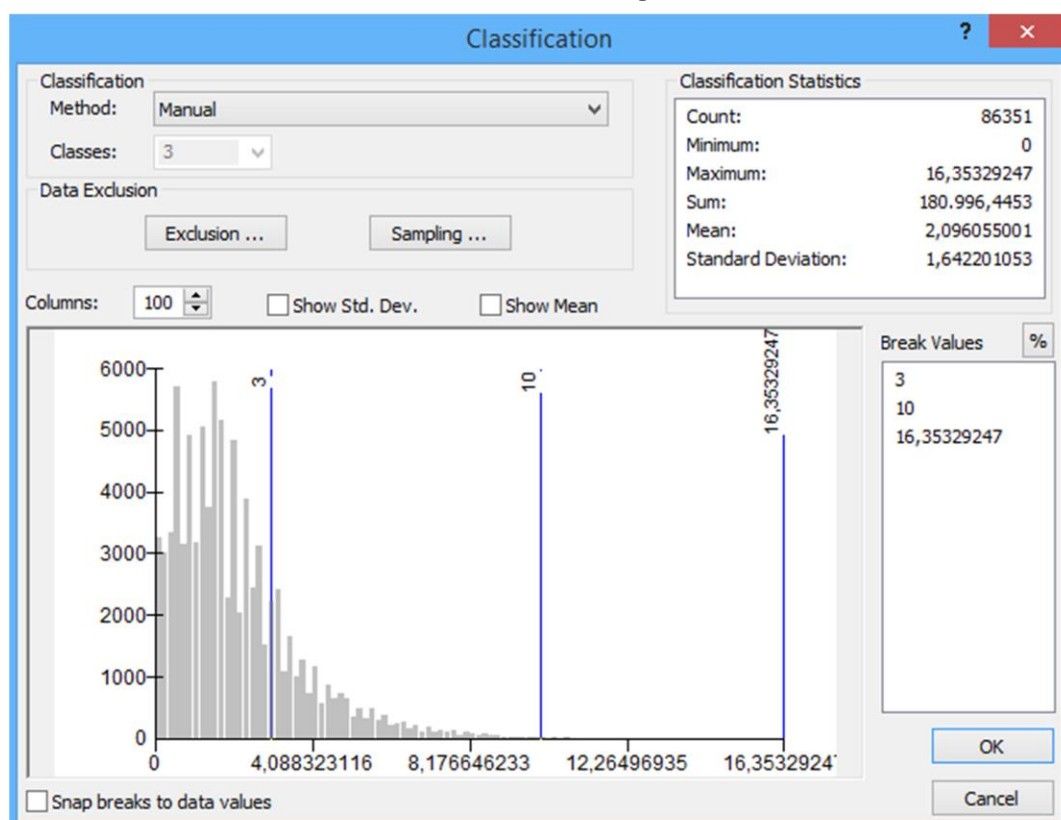
Sub-bacia 6 – Plano esquerdo



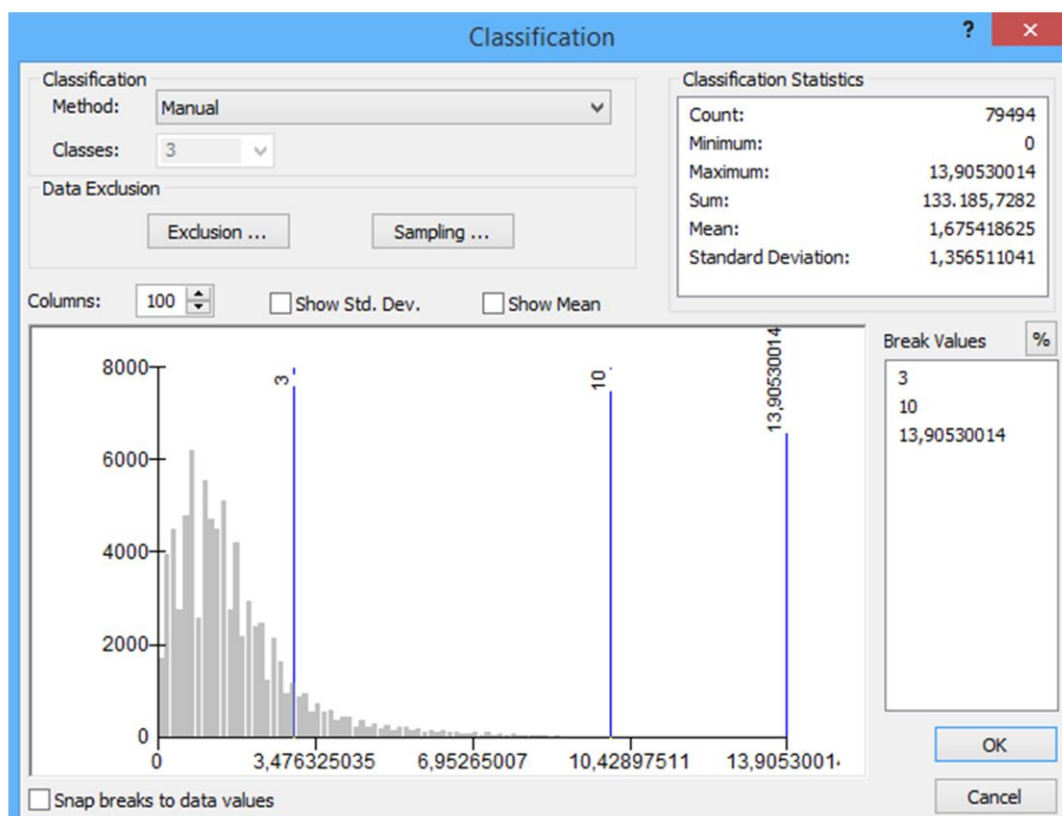
Sub-bacia 6 – Plano direito



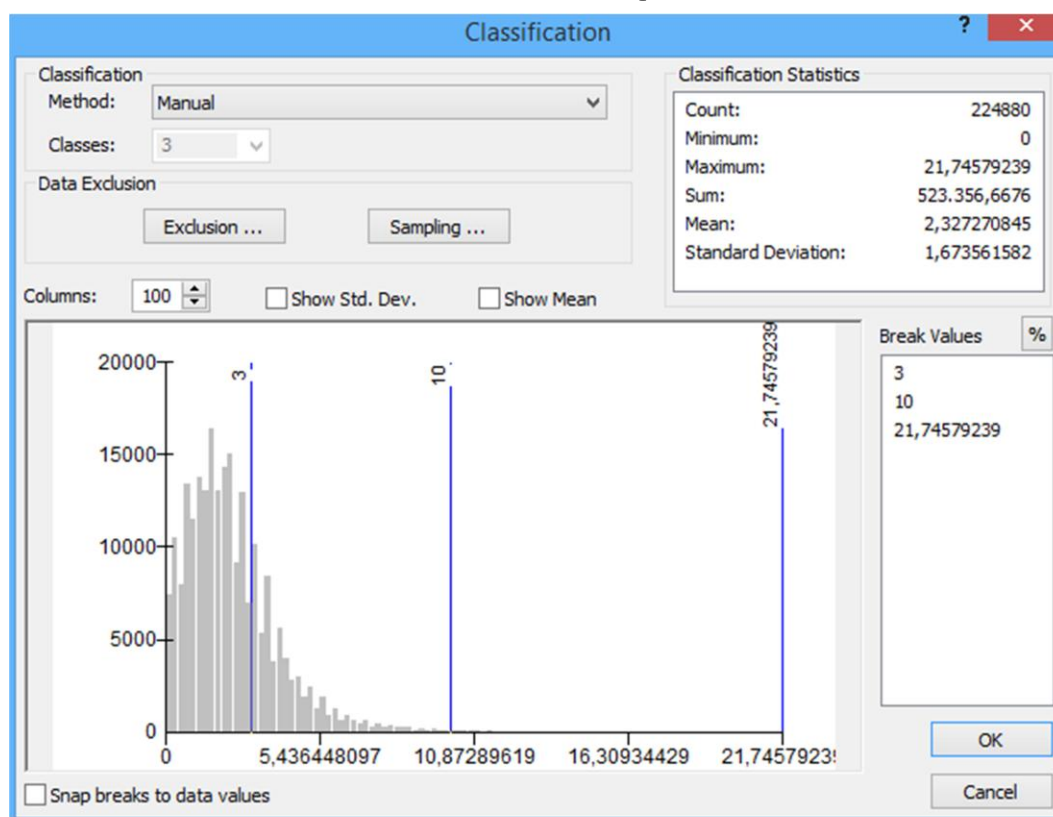
Sub-bacia 7 – Plano esquerdo



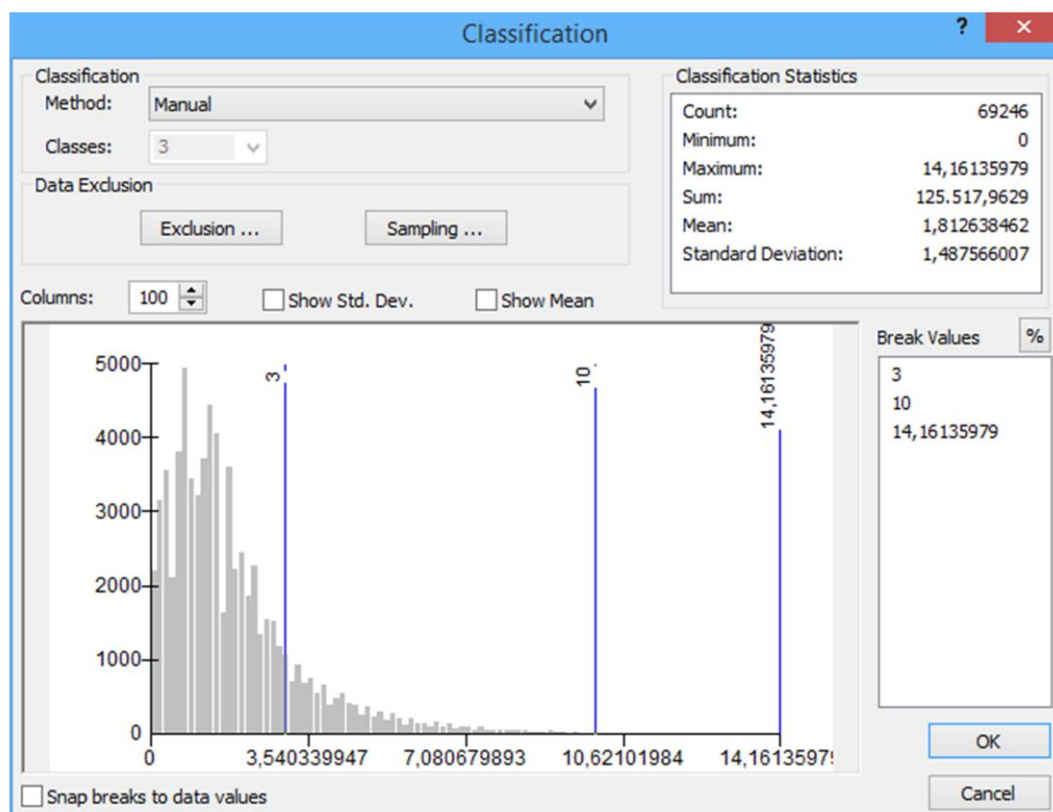
Sub-bacia 7 – Plano direito



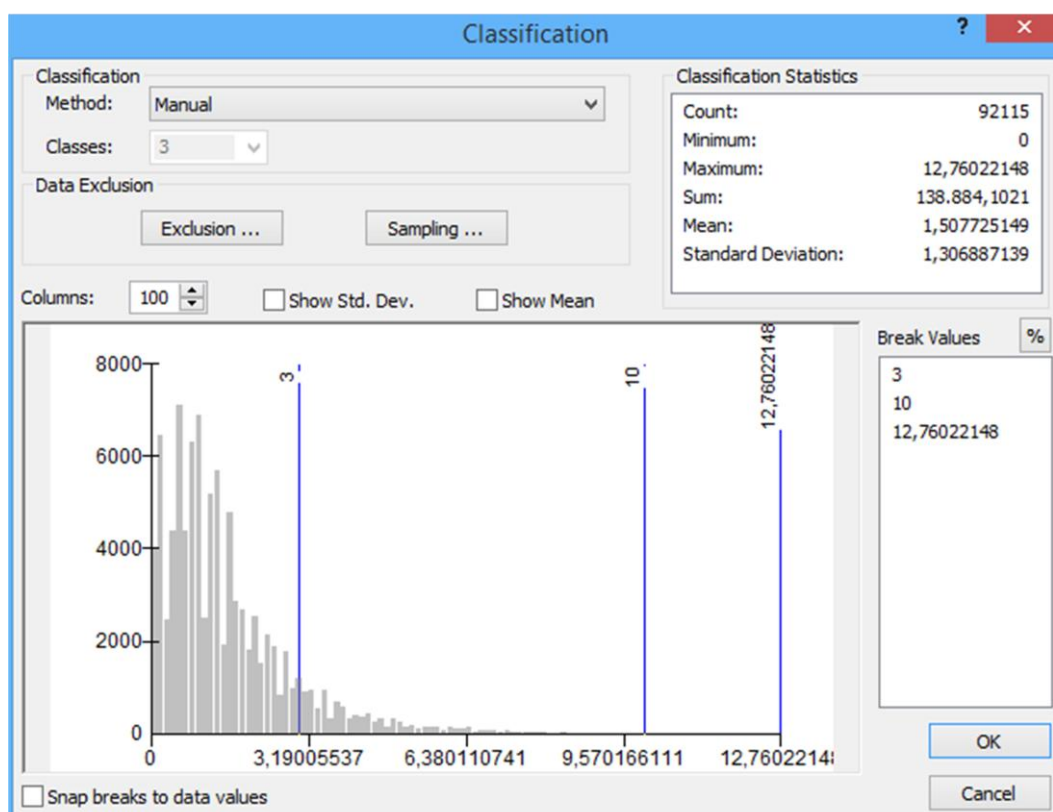
Sub-bacia 8 – Plano esquerdo



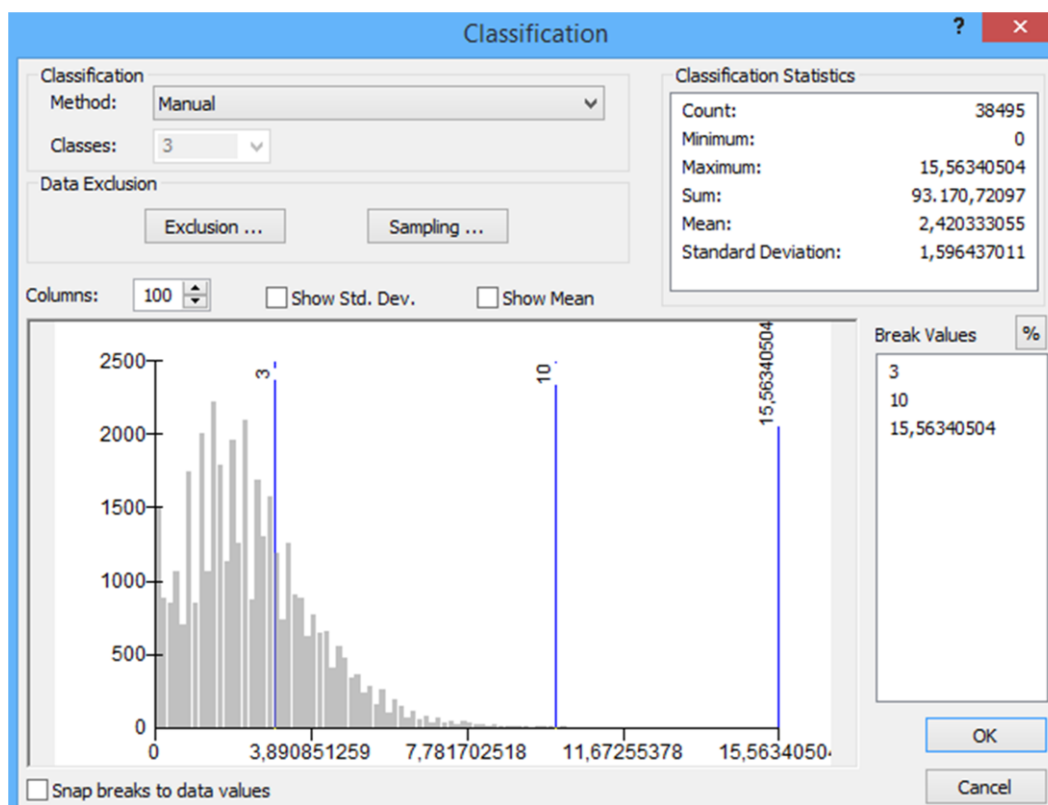
Sub-bacia 8 – Plano direito



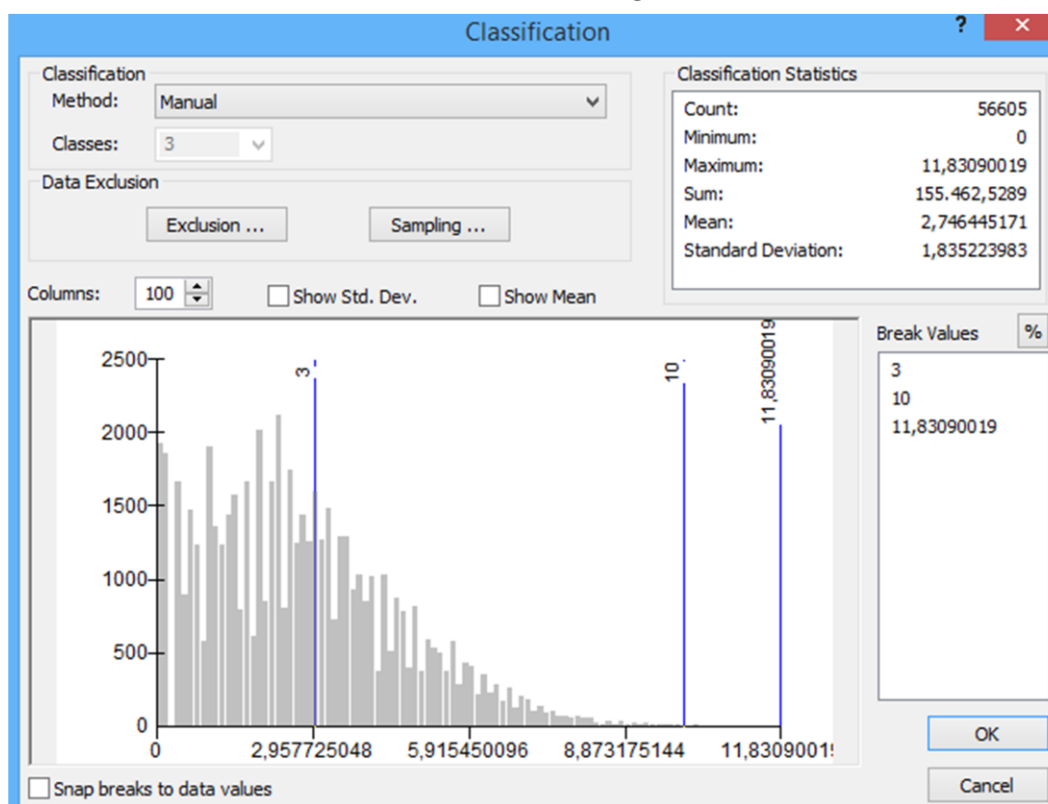
Sub-bacia 9 – Plano esquerdo



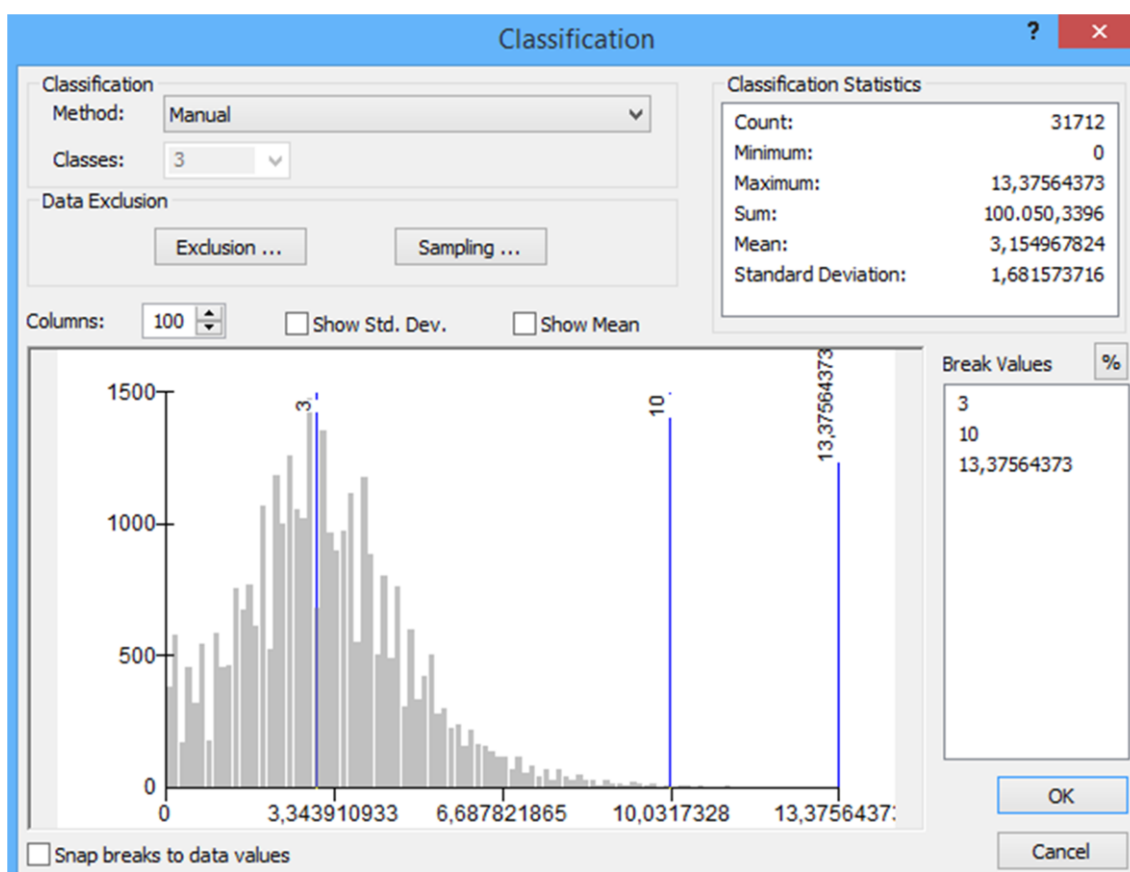
Sub-bacia 9 – Plano direito



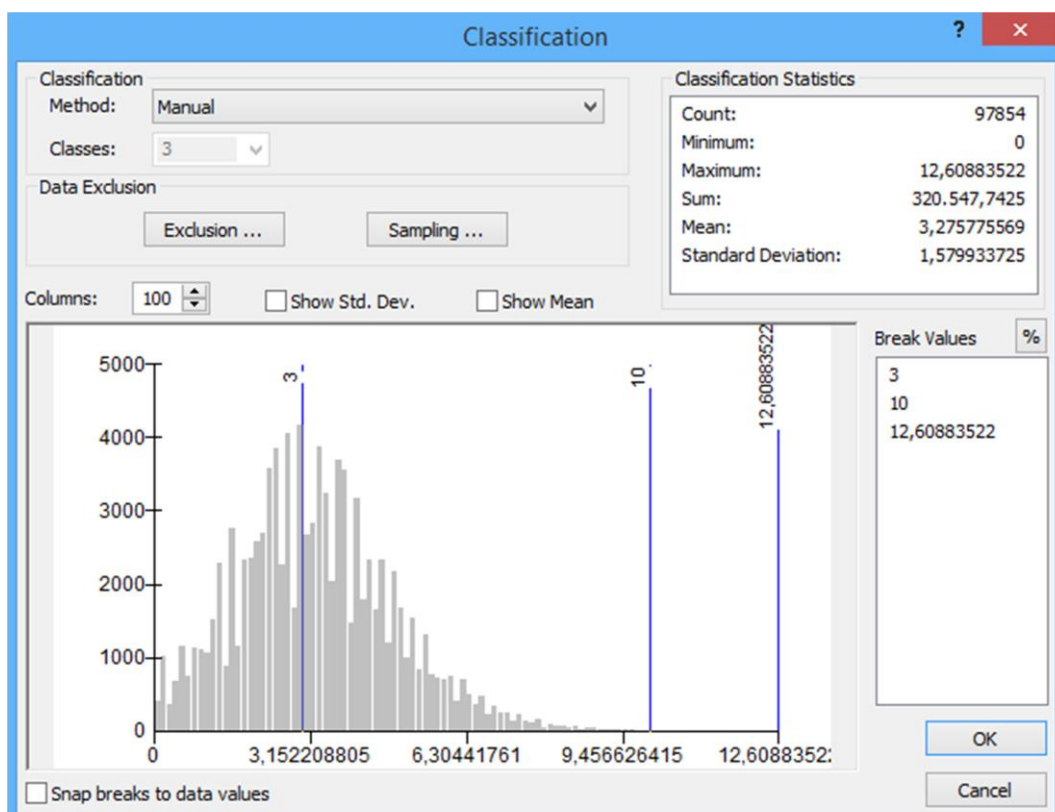
Sub-bacia 10 – Plano esquerdo



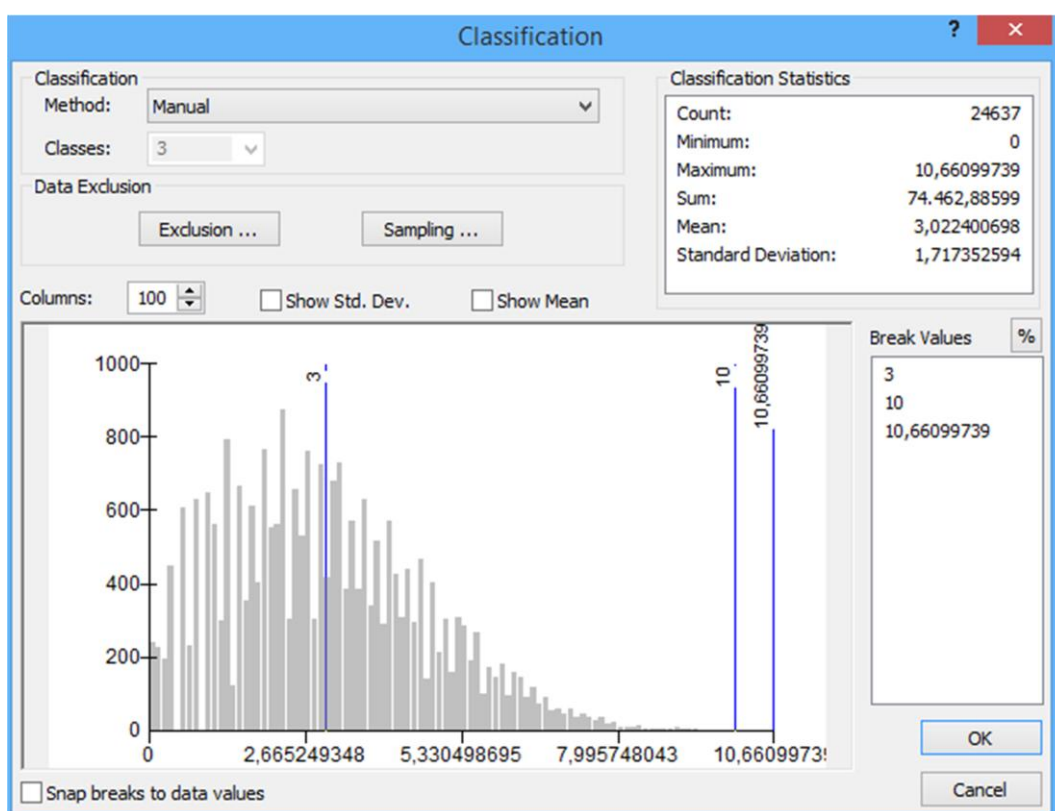
Sub-bacia 10 – Plano direito



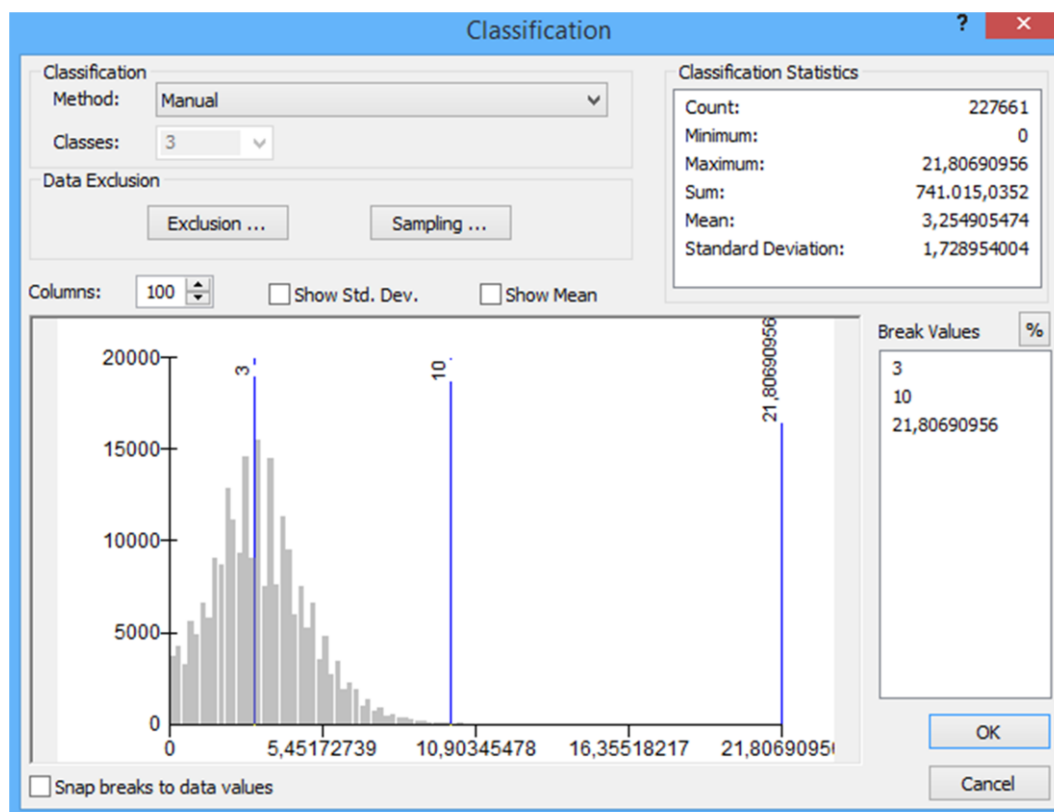
Sub-bacia 11 – Plano esquerdo



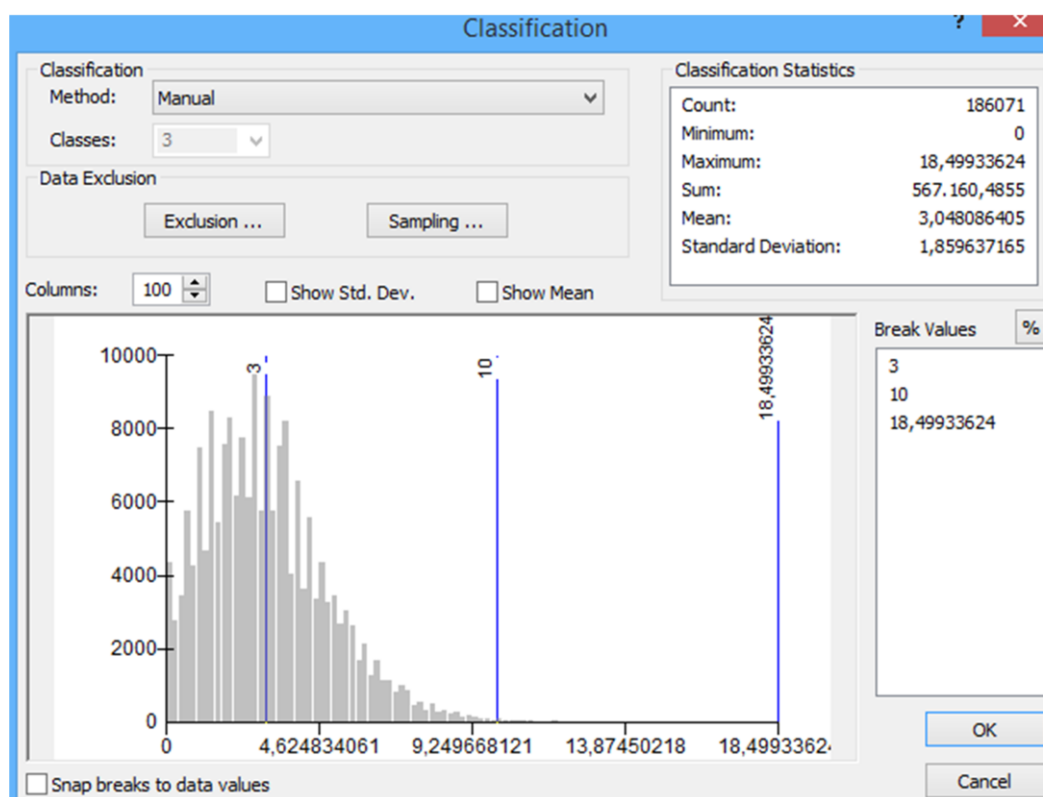
Sub-bacia 12 – Plano esquerdo



Sub-bacia 12 – Plano direito



Sub-bacia 13 – Plano esquerdo



Sub-bacia 13 – Plano direito

Declividade por trecho do curso principal da Sub-bacia 1

Declividade_trecho	Extensão_trecho	Declividade_trecho	Extensão_trecho
0,07177998661	1018,81670314000	1,43164237556	5780,67410712000
0,18757535069	2515,55937073000	1,47031214045	5212,06370358000
0,27969551246	584,72708955100	1,47214017395	1574,66642196000
0,29071396718	2208,53754293000	1,48727361857	1188,37213034000
0,35829091210	3822,65576755000	1,57258792723	3528,77039757000
0,43373384918	4104,06256238000	1,59133768089	1113,11546750000
0,43469628524	1642,33545033000	1,59928986226	2880,44841790000
0,56591528628	2769,51695241000	1,62403574193	802,12149601300
0,58341242588	2862,24698921000	1,63973099815	2586,33570838000
0,59005097811	1739,32973416000	1,64152581394	3089,81651024000
0,60118448861	5057,12620157000	1,67091171167	2948,43532846000
0,65210805846	2843,00573975000	1,70064051645	4849,07270474000
0,70222941529	1453,52865311000	1,75455568358	2585,81634934000
0,74144717147	4568,79005323000	1,75609626482	758,35762804600
0,75793868553	1530,03358923000	1,89546572504	4105,59754287000
0,78551897851	850,41224498100	1,98907671278	4631,35891825000
0,84489526033	2776,06154604000	2,10368768149	4605,39692387000
0,86703967249	3008,77073945000	2,11702656147	6569,69022171000
0,87081065202	5883,77993711000	2,14113091572	1223,33462000000
0,87917647365	1011,39853774000	2,16691105043	4479,99427093000
0,92061731474	5891,95825556000	2,16769315499	4793,07106782000
0,93290726954	5622,02600075000	2,19171760654	2366,29460543000
0,94485109144	9910,31096489000	2,20323293414	3310,90609174000
0,96598554942	2227,82500462000	2,23130249436	1093,99716272000
0,98094861772	5481,75145981000	2,27188807844	1742,31781152000
1,00377591026	632,56222604700	2,50576655734	3611,86237858000
1,00679238036	838,60499784700	2,54283646010	3414,54184407000
1,03693736762	2047,16014367000	2,70385133586	2182,87613943000
1,07768866634	7670,48034348000	3,02000850686	3410,95272681000
1,08031526890	3033,03681837000	3,04183631512	1809,15494641000
1,11516538165	3063,57271501000	3,32286024649	1824,05534552000
1,18301598472	564,84355975400	3,74259679211	7341,09312301000
1,30119921382	4657,90228934000	3,77152680899	5091,21723325000
1,31829469861	7393,30358620000	3,94727716873	10561,15924680000
1,36343745505	4346,30390819000	4,00175436415	951,70266125500

Declividade por trecho do curso principal da Sub-bacia 2

Declividade por trecho	Extensão por trecho
0,35163338722	4094,9423
0,50484824874	2482,0493
0,60275768058	767,8207

0,61989641098	4818,1967
0,66132377242	4064,2517
0,74073551373	6614,1095
0,80197869181	1840,1337
0,83703157491	1033,5018
0,85244339394	3382,5820
0,88465700805	4687,9326
0,90639352676	7789,6107
0,99278220600	4120,3616
0,99281752021	2163,3310
0,99637729867	1727,3616
1,01043877743	5119,2078
1,04570070753	5760,2724
1,04875418078	1635,9886
1,08042684322	2865,0843
1,09522529904	1330,7640
1,11354311925	3890,8481
1,14520751736	10537,7049
1,16594293921	11856,2106
1,17159478502	7334,2748
1,21671244229	1423,4067
1,38439622186	2672,7975
1,43605572288	3426,2336
1,45753511391	2863,6723
1,50833111477	6105,7340
1,51019479992	8370,0758
1,52903695084	3255,5409
1,72743871094	3684,5651
1,79009455032	976,1597
3,90570503779	1507,1332

Declividade por trecho do curso principal da Sub-bacia 4

Declividade por trecho	Extensão por trecho
0,00000000000	571,7302
0,02869452863	2626,1699
0,13857029818	1705,7364
0,28089110736	1689,3844
0,34825079650	3622,7489
0,48989579219	3018,3785
0,53434158356	1799,1730
0,64867206751	1513,1349
0,67110652276	3603,0836
0,67367694762	5619,2951
0,77514939601	1636,2020

0,83029478399	1309,9829
0,85153563234	4716,4203
0,89915968040	4839,2636
0,94318905403	1868,0005
0,97261877398	17963,5707
1,04126311705	2741,5430
1,04452954077	6904,5214
1,07538528313	4702,2821
1,13783893064	7365,7024
1,15042634058	7713,7191
1,26559528670	4349,0420
1,30717758732	2874,2323
1,34409260685	1504,8670
1,41916657381	5254,6550
1,57826394140	2203,5105
1,59787312431	3503,3089
1,66279068910	6667,7705
1,68156849150	3109,5338
1,71583949025	4910,5315
1,79700269668	2958,4072
1,93843317956	3813,8030

Declividade por trecho do curso principal da Sub-bacia 6

Declividade por trecho	Extensão por trecho
0,00000000000	204,7151
0,59322325201	8833,6959
0,63711196219	1692,5120
0,65152698741	4088,4757
1,27116809285	2957,0613
1,37411715168	14105,4778
1,37602369117	6352,0550
1,47977330613	2045,4861
1,53082367874	2646,8393
1,65163367505	1283,4315
2,32336389372	6591,1257

Declividade por trecho do curso principal da Sub-bacia 7

Declividade por trecho	Extensão por trecho
0,12038065862	593,8205
0,46363982647	216,7286
0,54850051880	1621,4144
0,58424489183	3824,7065
0,58490667659	1038,7328
0,61420191843	5803,6339
0,67515754312	1275,2874

0,69548302170	3959,5842
0,71864812288	2828,2937
0,77081366065	2263,4640
0,79991591723	9536,1603
0,80471322329	574,6881
0,83002732719	4703,4811
0,83062360404	2934,7130
0,87560441944	3346,0405
0,95001132565	3525,6259
0,97971982939	2522,0311
0,99041220129	2793,4031
1,01244937106	5325,9451
1,03333186422	6741,1401
1,08764101269	2928,3412
1,11181395254	4849,3630
1,12211502058	1024,4330
1,17521153744	207,8035
1,18332697213	1909,7705
1,20077095105	4144,1047
1,21073404834	323,6184
1,25776076420	3144,5696
1,29848721816	2894,4812
1,48647418636	6397,2838
1,53282403856	718,1072
1,72525463907	1341,1691
1,79936925496	311,3323
1,97334815754	1568,4220

Declividade por trecho do curso principal da Sub-bacia 8

Declividade por trecho	Extensão por trecho
0,43256257488	3138,5753
0,56348221772	883,1401
0,57195843209	878,7909
0,71298577153	6614,1099
0,72961151890	3764,2003
0,77483312996	8114,4248
0,84079745345	2413,8473
0,85493964545	3375,4020
0,88869198205	612,0233
0,88908751337	2937,0982
0,91371225005	1411,5110
0,93742204579	5452,1823
1,02771705865	3617,0226
1,03365750548	2126,9134

1,05047384605	3375,5061
1,08599721145	6697,7521
1,10875599524	723,3440
1,17691278406	199,9991
1,29508565104	1047,3510
1,31221071884	1892,2473
1,47100950683	7342,1443
1,47328796187	3875,6231
1,59777691876	257,6316
1,63889472027	6068,6210
4,76450195946	139,5777

Declividade por trecho do curso principal da Sub-bacia 9

Avg_Slope	Ave_SLengt
0,47313414247	240,8015
0,47468523662	7532,6396
0,65370001495	2715,6978
0,67803894339	3080,3215
0,68753793991	4254,4514
0,68815390562	5674,9878
0,74869725363	8514,7692
0,84222450004	14311,3450
0,87072061904	790,6091
0,88255773340	1820,1716
0,98922051647	1685,7002
1,43899499335	2509,4286
1,48641050998	3844,2455

Declividade por trecho do curso principal da Sub-bacia 10

Avg_Slope	Ave_Shape_
0,47054082147	511,1752
0,48668854559	802,4005
0,53491697515	1866,9856
0,63438595306	2217,9557
0,67565310130	246,3644
0,77562573173	787,5606
0,78558615439	2741,4275
0,95734689042	3287,9706
0,98020899145	3721,1644
1,08055527623	3397,5416
1,10842793774	4820,3716
1,12623591471	3457,8935
1,16354206420	10005,1900
1,21751300758	7584,9247
1,25434592038	3426,0711

1,39842301939	798,3435
1,39974918343	4667,4073
1,47945381296	4617,0369
1,53682405519	1168,2241
1,74255757310	1734,3316

Declividade por trecho do curso principal da Sub-bacia 12

Avg_Slope	Ave_Shape_
0,72861214682	2675,9475
0,94566160498	1180,4036
1,11423808857	3318,3861
1,15063132777	3424,9058
1,31260947293	3058,9087
1,34066253137	1726,1468

Declividade por trecho do curso principal da Sub-bacia 13

Avg_Slope	Ave_Shape_
0,00000000000	248,3755
0,19252329591	3607,0652
0,24337558368	2740,2362
0,54945643790	5913,9520
0,55878736224	8563,9575
0,63730957432	3141,3133
0,64305330896	3215,7180
0,69509990753	3199,8891
0,75991323051	1931,0606
0,78151856839	4227,4939
0,85808485626	3625,9225
0,86070767509	3379,0455
0,87251300020	2510,8352
0,89785770895	2003,3011
0,90542814431	4056,0685
0,97674711142	4158,9202
1,02006025199	3729,8432
1,24090997955	2707,8456
1,26885986853	1872,6781
1,50648712342	5048,1989
1,61179180101	1151,4143
1,88115715789	2057,4598
2,15045131364	426,9465
2,56254509085	443,8914

ANEXO C - Valores dos dados físicos ajustados e as vazões observadas e simuladas da
fase de simulação

NSB = 13

TSB	LS (m)	SS (m/m)	nS	LE (m)	SE (m/m)	nE	LD (m)	SD (m/m)	nD	b (m)	NCM	BCM	BCM	BCM	Número	Aesq	Adir	Abac
0	233650	0,0139	0,750	6965	0,0294	0,122	17371	0,0292	0,125	47,5					1	1627,28	4058,77	5686,05
0	132694	0,0099	0,750	8432	0,0249	0,123	20395	0,0254	0,110	40,4					2	1118,92	2706,35	3825,27
0	176876	0,0094	0,750	9710	0,0259	0,118	15550	0,0198	0,115	44,0					3	1717,47	2750,42	4467,89
1	128680	0,0080	0,750	8364	0,0188	0,137	17601	0,0295	0,116	60,9	1	1			4	1076,33	2264,83	3341,16
0	149367	0,0133	0,750	6199	0,0203	0,124	12728	0,0211	0,117	11,0					5	925,97	1901,10	2827,07
1	50800	0,0113	0,750	6231	0,0197	0,118	7651	0,0213	0,112	40,4	1	2			6	316,54	388,65	705,19
1	97178	0,0100	0,750	11382	0,0272	0,129	7301	0,0213	0,149	59,3	1	3			7	1106,12	709,46	1815,58
1	80825	0,0097	0,750	8081	0,0171	0,149	22867	0,0237	0,131	56,0	2	5	6		8	653,17	1848,19	2501,36
1	56969	0,0076	0,750	9989	0,0184	0,151	13293	0,0153	0,159	56,0	1	8			9	569,06	757,30	1326,36
1	61860	0,0102	0,750	5141	0,0245	0,156	7527	0,0277	0,154	102,0	2	4	9		10	318,05	465,65	783,70
1	19992	0,0100	0,750	12847	0,0318	0,147	0,00	0,0001	0,000	51,0	1	7			11	256,84	0,00	256,84
1	15385	0,0108	0,750	52272	0,0311	0,145	13169	0,0304	0,149	163,4	2	10	11		12	804,19	202,60	1006,78
1	74210	0,0072	0,750	25207	0,0218	0,138	20607	0,0208	0,138	181,4	1	12			13	1870,63	1529,24	3399,87
Soma =																12360,55	19582,55	31943,10

Teste 1 - Vazões observadas e simuladas

Evento 1

Tempo	Qobs(m3/s)	Qbas(m3/s)	Qcor(m3/s)	Qsim(m3/s)
0,000	221,0	221,0	0,0	0,0
0,167	220,8	220,9	0,0	0,0
0,333	220,7	220,7	0,0	0,0
0,500	220,5	220,6	0,0	0,0
0,667	220,3	220,5	0,0	0,0
0,833	220,2	220,3	0,0	0,0
1,000	220,0	220,2	0,0	0,0
1,167	220,5	220,1	0,4	0,0
1,333	221,0	219,9	1,1	0,1
1,500	221,5	219,8	1,7	0,2
1,667	222,0	219,6	2,4	0,5
1,833	222,5	219,5	3,0	1,1
2,000	223,0	219,4	3,6	2,1
2,167	229,0	219,2	9,8	3,7
2,333	235,0	219,1	15,9	5,7
2,500	241,0	219,0	22,0	8,0
2,667	247,0	218,8	28,2	10,6
2,833	253,0	218,7	34,3	13,6
3,000	259,0	218,6	40,4	17,0
3,167	267,5	218,4	49,1	21,3
3,333	276,0	218,3	57,7	27,6
3,500	284,5	218,2	66,3	37,5
3,667	293,0	218,0	75,0	50,9
3,833	301,5	217,9	83,6	66,0
4,000	310,0	217,8	92,3	80,6
4,167	314,7	217,6	97,1	93,1
4,333	319,3	217,5	101,9	103,2
4,500	324,0	217,3	106,7	110,7
4,667	328,7	217,2	111,5	116,1
4,833	333,3	217,1	116,3	119,9
5,000	338,0	216,9	121,1	122,8
5,167	341,7	216,8	124,9	125,4
5,333	345,3	216,7	128,7	128,2
5,500	349,0	216,5	132,5	131,4
5,667	352,7	216,4	136,3	135,2
5,833	356,3	216,3	140,1	139,2
6,000	360,0	216,1	143,9	142,9
6,167	362,2	216,0	146,2	145,8
6,333	364,3	215,9	148,5	147,5
6,500	366,5	215,7	150,8	147,7

Evento 2

Tempo	Qobs(m3/s)	Qbas(m3/s)	Qcor(m3/s)	Qsim(m3/s)
0,000	312,0	312,0	0,0	0,0
0,167	310,8	311,9	0,0	0,0
0,333	309,7	311,8	0,0	0,0
0,500	308,5	311,7	0,0	0,0
0,667	307,3	311,6	0,0	0,0
0,833	306,2	311,5	0,0	0,0
1,000	305,0	311,4	0,0	0,0
1,167	310,0	311,3	0,0	0,0
1,333	315,0	311,2	3,8	0,0
1,500	320,0	311,1	9,0	0,0
1,667	325,0	310,9	14,1	0,0
1,833	330,0	310,8	19,2	0,0
2,000	335,0	310,7	24,3	0,1
2,167	337,2	310,6	26,5	0,1
2,333	339,3	310,5	28,8	0,1
2,500	341,5	310,4	31,1	0,1
2,667	343,7	310,3	33,4	0,1
2,833	345,8	310,2	35,6	0,2
3,000	348,0	310,1	37,9	0,3
3,167	351,5	310,0	41,5	0,5
3,333	355,0	309,9	45,1	0,6
3,500	358,5	309,8	48,7	0,9
3,667	362,0	309,7	52,3	1,1
3,833	365,5	309,6	55,9	1,3
4,000	369,0	309,5	59,5	1,6
4,167	374,8	309,4	65,5	1,9
4,333	380,7	309,3	71,4	2,2
4,500	386,5	309,2	77,3	2,7
4,667	392,3	309,1	83,3	3,8
4,833	398,2	308,9	89,2	7,8
5,000	404,0	308,8	95,2	17,5
5,167	407,5	308,7	98,8	32,2
5,333	411,0	308,6	102,4	49,1
5,500	414,5	308,5	106,0	65,9
5,667	418,0	308,4	109,6	81,3
5,833	421,5	308,3	113,2	95,0
6,000	425,0	308,2	116,8	106,9
6,167	426,7	308,1	118,6	117,5
6,333	428,3	308,0	120,3	126,6
6,500	430,0	307,9	122,1	134,8

6,667	368,7	215,6	153,1	146,7
6,833	370,8	215,4	155,4	144,4
7,000	373,0	215,3	157,7	141,3
7,167	372,0	215,2	156,8	137,5
7,333	371,0	215,0	156,0	133,2
7,500	370,0	214,9	155,1	128,6
7,667	369,0	214,8	154,2	124,0
7,833	368,0	214,6	153,4	119,2
8,000	367,0	214,5	152,5	114,5
8,167	365,2	214,4	150,8	109,9
8,333	363,3	214,2	149,1	105,5
8,500	361,5	214,1	147,4	101,2
8,667	359,7	214,0	145,7	97,2
8,833	357,8	213,8	144,0	93,3
9,000	356,0	213,7	142,3	89,6
9,167	351,0	213,6	137,4	86,1
9,333	346,0	213,4	132,6	83,0
9,500	341,0	213,3	127,7	80,4
9,667	336,0	213,1	122,9	78,3
9,833	331,0	213,0	118,0	76,5
10,000	326,0	212,9	113,1	75,1
10,167	321,7	212,7	108,9	73,9
10,333	317,3	212,6	104,7	72,7
10,500	313,0	212,5	100,5	71,3
10,667	308,7	212,3	96,3	69,8
10,833	304,3	212,2	92,1	68,2
11,000	300,0	212,1	87,9	66,6
11,167	291,5	211,9	79,6	65,1
11,333	283,0	211,8	71,2	63,6
11,500	274,5	211,7	62,8	62,2
11,667	266,0	211,5	54,5	60,9
11,833	257,5	211,4	46,1	59,8
12,000	249,0	211,3	37,7	58,7
12,167	245,2	211,1	34,1	57,7
12,333	241,3	211,0	30,4	56,8
12,500	237,5	210,8	26,7	55,8
12,667	233,7	210,7	23,0	54,9
12,833	229,8	210,6	19,3	53,9
13,000	226,0	210,4	15,6	52,9
13,167	225,2	210,3	14,9	51,9
13,333	224,3	210,2	14,2	50,8
13,500	223,5	210,0	13,5	49,7
13,667	222,7	209,9	12,8	48,5
13,833	221,8	209,8	12,1	47,3

6,667	431,7	307,8	123,9	142,3
6,833	433,3	307,7	125,7	149,1
7,000	435,0	307,6	127,4	155,3
7,167	436,2	307,5	128,7	160,6
7,333	437,3	307,4	130,0	164,7
7,500	438,5	307,3	131,2	167,5
7,667	439,7	307,2	132,5	168,8
7,833	440,8	307,1	133,8	168,7
8,000	442,0	306,9	135,1	167,4
8,167	442,7	306,8	135,8	164,9
8,333	443,3	306,7	136,6	161,6
8,500	444,0	306,6	137,4	157,6
8,667	444,7	306,5	138,1	153,1
8,833	445,3	306,4	138,9	148,3
9,000	446,0	306,3	139,7	143,3
9,167	446,5	306,2	140,3	138,2
9,333	447,0	306,1	140,9	133,2
9,500	447,5	306,0	141,5	128,2
9,667	448,0	305,9	142,1	123,4
9,833	448,5	305,8	142,7	118,7
10,000	449,0	305,7	143,3	114,1
10,167	448,3	305,6	142,8	109,7
10,333	447,7	305,5	142,2	105,5
10,500	447,0	305,4	141,6	101,5
10,667	446,3	305,3	141,1	97,6
10,833	445,7	305,2	140,5	93,9
11,000	445,0	305,1	139,9	90,4
11,167	443,8	304,9	138,9	87,1
11,333	442,7	304,8	137,8	83,9
11,500	441,5	304,7	136,8	80,8
11,667	440,3	304,6	135,7	77,9
11,833	439,2	304,5	134,6	75,1
12,000	438,0	304,4	133,6	72,4
12,167	432,2	304,3	127,8	69,8
12,333	426,3	304,2	122,1	67,4
12,500	420,5	304,1	116,4	65,0
12,667	414,7	304,0	110,7	62,8
12,833	408,8	303,9	104,9	60,6
13,000	403,0	303,8	99,2	58,5
13,167	396,3	303,7	92,6	56,6
13,333	389,7	303,6	86,1	54,7
13,500	383,0	303,5	79,5	52,9
13,667	376,3	303,4	73,0	51,2
13,833	369,7	303,3	66,4	49,7

14,000	221,0	209,6	11,4	46,1
14,167	220,2	209,5	10,7	44,8
14,333	219,3	209,4	10,0	43,6
14,500	218,5	209,2	9,3	42,4
14,667	217,7	209,1	8,6	41,2
14,833	216,8	208,9	7,9	40,0
15,000	216,0	208,8	7,2	38,9
15,167	214,7	208,7	6,0	37,8
15,333	213,3	208,5	4,8	36,7
15,500	212,0	208,4	3,6	35,7
15,667	210,7	208,3	2,4	34,7
15,833	209,3	208,1	1,2	33,7
16,000	208,0	208,0	0,0	32,7

14,000	363,0	303,2	59,8	48,3
14,167	358,2	303,1	55,1	47,0
14,333	353,3	302,9	50,4	45,9
14,500	348,5	302,8	45,7	45,0
14,667	343,7	302,7	40,9	44,2
14,833	338,8	302,6	36,2	43,6
15,000	334,0	302,5	31,5	43,2
15,167	331,0	302,4	28,6	42,7
15,333	328,0	302,3	25,7	42,2
15,500	325,0	302,2	22,8	41,7
15,667	322,0	302,1	19,9	41,1
15,833	319,0	302,0	17,0	40,3
16,000	316,0	301,9	14,1	39,5
16,167	315,2	301,8	13,4	38,6
16,333	314,3	301,7	12,6	37,6
16,500	313,5	301,6	11,9	36,5
16,667	312,7	301,5	11,2	35,4
16,8333 3	311,8325	301,3684	10,46409	34,28642
17	310,999	301,2632	9,735847	33,17093
17,1666 7	310,1665	301,1579	9,008602	32,06035
17,3333 3	309,333	301,0526	8,280357	30,97278
17,5	308,4995	300,9474	7,552143	29,92828
17,6666 7	307,666	300,8421	6,823898	28,94314
17,8333 3	306,8325	300,7368	6,095653	28,02595
18	305,999	300,6316	5,367408	27,17704
18,1666 7	304,9998	300,5263	4,473494	26,39063
18,3333 3	303,9996	300,4211	3,578549	25,65792
18,5	302,9994	300,3158	2,683604	24,96978
18,6666 7	301,9992	300,2105	1,788659	24,31835
18,8333 3	300,999	300,1053	0,893745	23,6977
19	299,9988	300	0	23,10368

Evento 3

Tempo	Qobs(m3/s)	Qbas (m3/s)	Qcor (m3/s)	Qsim (m3/s)
0,000	215,0	215,0	0,0	0,0
0,167	215,5	215,6	0,0	0,0
0,333	216,0	216,1	0,0	0,0
0,500	216,5	216,7	0,0	0,0
0,667	217,0	217,3	0,0	0,0
0,833	217,5	217,9	0,0	0,0
1,000	218,0	218,4	0,0	0,0
1,167	218,3	219,0	0,0	0,0
1,333	218,7	219,6	0,0	0,0

Evento 4

Tempo	Qobs(m3/s)	Qbas (m3/s)	Qcor (m3/s)	Qsim (m3/s)
0,000	256,0	256,0	0,0	0,0
0,167	257,2	256,1	1,0	0,0
0,333	258,3	256,3	2,1	0,0
0,500	259,5	256,4	3,1	0,0
0,667	260,7	256,5	4,1	0,0
0,833	261,8	256,7	5,2	0,0
1,000	263,0	256,8	6,2	0,0
1,167	268,0	256,9	11,1	0,0
1,333	273,0	257,1	15,9	0,0

1,500	219,0	220,2	0,0	0,0
1,667	219,3	220,7	0,0	0,0
1,833	219,7	221,3	0,0	0,0
2,000	220,0	221,9	0,0	0,0
2,167	219,3	222,4	0,0	0,0
2,333	218,7	223,0	0,0	0,0
2,500	218,0	223,6	0,0	0,0
2,667	217,3	224,2	0,0	0,0
2,833	216,7	224,7	0,0	0,0
3,000	216,0	225,3	0,0	0,0
3,167	216,8	225,9	0,0	0,0
3,333	217,7	226,5	0,0	0,0
3,500	218,5	227,0	0,0	0,0
3,667	219,3	227,6	0,0	0,1
3,833	220,2	228,2	0,0	0,1
4,000	221,0	228,8	0,0	0,1
4,167	230,5	229,3	1,2	0,1
4,333	240,0	229,9	10,1	0,5
4,500	249,5	230,5	19,0	0,5
4,667	259,0	231,0	28,0	0,5
4,833	268,5	231,6	36,9	0,5
5,000	278,0	232,2	45,8	0,5
5,167	288,7	232,8	55,9	0,5
5,333	299,3	233,3	66,0	0,5
5,500	310,0	233,9	76,1	0,5
5,667	320,7	234,5	86,2	0,5
5,833	331,3	235,1	96,3	0,6
6,000	342,0	235,6	106,4	0,6
6,167	351,7	236,2	115,5	0,7
6,333	361,3	236,8	124,6	0,8
6,500	371,0	237,3	133,7	0,9
6,667	380,7	237,9	142,8	3,6
6,833	390,3	238,5	151,9	16,9
7,000	400,0	239,1	160,9	41,5
7,167	398,8	239,6	159,2	71,0
7,333	397,7	240,2	157,5	99,3
7,500	396,5	240,8	155,7	124,0
7,667	395,3	241,4	154,0	144,1
7,833	394,2	241,9	152,2	159,7
8,000	393,0	242,5	150,5	171,0
8,167	395,2	243,1	152,1	178,3
8,333	397,3	243,6	153,7	182,0
8,500	399,5	244,2	155,3	182,8
8,667	401,7	244,8	156,9	181,1

1,500	278,0	257,2	20,8	0,0
1,667	283,0	257,4	25,6	0,0
1,833	288,0	257,5	30,5	0,1
2,000	293,0	257,6	35,4	0,8
2,167	320,7	257,8	62,9	0,8
2,333	348,3	257,9	90,4	0,8
2,500	376,0	258,0	118,0	0,8
2,667	403,7	258,2	145,5	0,8
2,833	431,4	258,3	173,1	0,8
3,000	459,0	258,4	200,6	0,9
3,167	478,7	258,6	220,1	5,7
3,333	498,3	258,7	239,6	33,9
3,500	518,0	258,8	259,2	88,6
3,667	537,7	259,0	278,7	154,2
3,833	557,4	259,1	298,2	214,2
4,000	577,0	259,3	317,8	259,7
4,167	569,2	259,4	309,8	288,6
4,333	561,3	259,5	301,8	303,1
4,500	553,5	259,7	293,8	306,3
4,667	545,7	259,8	285,9	301,6
4,833	537,8	259,9	277,9	291,7
5,000	530,0	260,1	269,9	278,6
5,167	513,3	260,2	253,1	263,8
5,333	496,7	260,3	236,3	248,4
5,500	480,0	260,5	219,5	233,0
5,667	463,3	260,6	202,7	218,0
5,833	446,7	260,7	185,9	203,7
6,000	430,0	260,9	169,1	190,2
6,167	416,3	261,0	155,3	177,6
6,333	402,7	261,1	141,5	165,8
6,500	389,0	261,3	127,7	154,9
6,667	375,3	261,4	113,9	144,9
6,833	361,7	261,6	100,1	135,6
7,000	348,0	261,7	86,3	127,1
7,167	346,3	261,8	84,5	119,2
7,333	344,7	262,0	82,7	111,9
7,500	343,0	262,1	80,9	105,2
7,667	341,3	262,2	79,1	99,0
7,833	339,7	262,4	77,3	93,3
8,000	338,0	262,5	75,5	88,0
8,167	336,8	262,6	74,2	83,2
8,333	335,7	262,8	72,9	78,6
8,500	334,5	262,9	71,6	74,4
8,667	333,3	263,0	70,3	70,5

8,833	403,8	245,4	158,5	177,6
9,000	406,0	245,9	160,1	172,7
9,167	407,2	246,5	160,7	166,9
9,333	408,3	247,1	161,3	160,6
9,500	409,5	247,7	161,8	153,9
9,667	410,7	248,2	162,4	147,2
9,833	411,8	248,8	163,0	140,5
10,000	413,0	249,4	163,6	133,9
10,167	413,7	249,9	163,7	127,5
10,333	414,3	250,5	163,8	121,4
10,500	415,0	251,1	163,9	115,6
10,667	415,7	251,7	164,0	110,1
10,833	416,3	252,2	164,1	104,9
11,000	417,0	252,8	164,2	100,0
11,167	411,8	253,4	158,4	95,3
11,333	406,7	254,0	152,7	91,0
11,500	401,5	254,5	147,0	86,9
11,667	396,3	255,1	141,2	83,0
11,833	391,2	255,7	135,5	79,4
12,000	386,0	256,3	129,7	76,0
12,167	367,0	256,8	110,2	72,7
12,333	348,0	257,4	90,6	69,7
12,500	329,0	258,0	71,0	66,8
12,667	310,0	258,5	51,4	64,0
12,833	291,0	259,1	31,9	61,5
13,000	272,0	259,7	12,3	59,0
13,167	277,7	260,3	17,4	56,7
13,333	283,3	260,8	22,5	54,6
13,500	289,0	261,4	27,6	52,6
13,667	294,7	262,0	32,7	50,6
13,833	300,3	262,6	37,8	48,8
14,000	306,0	263,1	42,9	47,1
14,167	299,2	263,7	35,5	45,5
14,333	292,3	264,3	28,1	43,9
14,500	285,5	264,8	20,7	42,5
14,667	278,7	265,4	13,2	41,1
14,833	271,8	266,0	5,8	39,8
15,000	265,0	266,6	0,0	38,6
15,167	265,8	267,1	0,0	37,5
15,333	266,7	267,7	0,0	36,3
15,500	267,5	268,3	0,0	35,3
15,667	268,3	268,9	0,0	34,2
15,833	269,2	269,4	0,0	33,2
16,000	270,0	270,0	0,0	32,3

8,833	332,2	263,2	69,0	66,9
9,000	331,0	263,3	67,7	63,5
9,167	326,3	263,4	62,9	60,3
9,333	321,7	263,6	58,1	57,4
9,500	317,0	263,7	53,3	54,7
9,667	312,3	263,9	48,5	52,1
9,833	307,7	264,0	43,7	49,7
10,000	303,0	264,1	38,9	47,5
10,167	302,0	264,3	37,7	45,4
10,333	301,0	264,4	36,6	43,4
10,500	300,0	264,5	35,5	41,6
10,667	299,0	264,7	34,3	39,8
10,833	298,0	264,8	33,2	38,2
11,000	297,0	264,9	32,1	36,7
11,167	296,7	265,1	31,6	35,2
11,333	296,3	265,2	31,1	33,9
11,500	296,0	265,3	30,7	32,6
11,667	295,7	265,5	30,2	31,4
11,833	295,3	265,6	29,7	30,2
12,000	295,0	265,8	29,2	29,1
12,167	295,0	265,9	29,1	28,1
12,333	295,0	266,0	29,0	27,1
12,500	295,0	266,2	28,8	26,2
12,667	295,0	266,3	28,7	25,3
12,833	295,0	266,4	28,6	24,5
13,000	295,0	266,6	28,4	23,7
13,167	292,8	266,7	26,1	22,9
13,333	290,7	266,8	23,8	22,2
13,500	288,5	267,0	21,5	21,5
13,667	286,3	267,1	19,2	20,9
13,833	284,2	267,2	16,9	20,3
14,000	282,0	267,4	14,6	19,7
14,167	281,5	267,5	14,0	19,1
14,333	281,0	267,6	13,4	18,5
14,500	280,5	267,8	12,7	18,0
14,667	280,0	267,9	12,1	17,5
14,833	279,5	268,1	11,4	17,0
15,000	279,0	268,2	10,8	16,6
15,167	277,3	268,3	9,0	16,2
15,333	275,7	268,5	7,2	15,7
15,500	274,0	268,6	5,4	15,3
15,667	272,3	268,7	3,6	14,9
15,833	270,7	268,9	1,8	14,6
16,000	269,0	269,0	0,0	14,2

Evento 5

Tempo	Qobs(m3/s)	Qbas (m3/s)	Qcor (m3/s)	Qsim (m3/s)
0,000	214,0	214,0	0,0	0,0
0,167	214,2	214,2	0,1	0,0
0,333	214,4	214,4	0,3	0,0
0,500	214,6	214,6	0,4	0,0
0,667	214,8	214,8	0,5	0,0
0,833	215,0	215,0	0,6	0,0
1,000	215,2	215,2	0,8	0,0
1,167	215,4	215,4	4,1	0,0
1,333	215,6	215,6	7,4	0,0
1,500	215,8	215,8	10,7	0,0
1,667	216,0	216,0	14,0	0,0
1,833	216,2	216,2	17,3	0,0
2,000	216,4	216,4	20,6	0,0
2,167	216,6	216,6	27,0	0,0
2,333	216,9	216,9	33,5	0,0
2,500	217,1	217,1	39,9	0,1
2,667	217,3	217,3	46,4	0,3
2,833	217,5	217,5	52,9	0,6
3,000	217,7	217,7	59,3	1,4
3,167	217,9	217,9	66,6	2,9
3,333	218,1	218,1	73,9	7,4
3,500	218,3	218,3	81,2	18,3
3,667	218,5	218,5	88,5	35,4
3,833	218,7	218,7	95,8	54,8
4,000	218,9	218,9	103,1	72,8
4,167	219,1	219,1	109,1	88,2
4,333	219,3	219,3	115,0	100,7
4,500	219,5	219,5	121,0	111,2
4,667	219,7	219,7	127,0	120,4
4,833	219,9	219,9	132,9	129,1
5,000	220,1	220,1	138,9	137,8
5,167	220,3	220,3	140,4	146,2
5,333	220,5	220,5	141,8	153,9
5,500	220,7	220,7	143,3	160,2
5,667	220,9	220,9	144,7	164,3
5,833	221,1	221,1	146,2	166,0
6,000	221,3	221,3	147,7	165,3

6,167	221,5	221,5	146,5	162,8
6,333	221,7	221,7	145,3	159,0
6,500	221,9	221,9	144,1	154,4
6,667	222,1	222,1	142,9	149,2
6,833	222,4	222,4	141,6	143,8
7,000	222,6	222,6	140,4	138,2
7,167	222,8	222,8	139,2	132,5
7,333	223,0	223,0	138,0	127,0
7,500	223,2	223,2	136,8	121,7
7,667	223,4	223,4	135,6	116,6
7,833	223,6	223,6	134,4	111,9
8,000	223,8	223,8	133,2	107,5
8,167	224,0	224,0	128,4	103,5
8,333	224,2	224,2	123,5	99,8
8,500	224,4	224,4	118,6	96,3
8,667	224,6	224,6	113,7	93,0
8,833	224,8	224,8	108,9	90,0
9,000	225,0	225,0	104,0	87,1
9,167	225,2	225,2	101,8	84,5
9,333	225,4	225,4	99,6	82,0
9,500	225,6	225,6	97,4	79,7
9,667	225,8	225,8	95,2	77,5
9,833	226,0	226,0	93,0	75,3
10,000	226,2	226,2	90,8	73,2
10,167	226,4	226,4	85,1	71,0
10,333	226,6	226,6	79,4	68,8
10,500	226,8	226,8	73,7	66,5
10,667	227,0	227,0	68,0	64,3
10,833	227,2	227,2	62,3	62,2
11,000	227,4	227,4	56,5	60,1
11,167	227,6	227,6	53,4	58,0
11,333	227,9	227,9	50,1	56,0
11,500	228,1	228,1	46,9	54,1
11,667	228,3	228,3	43,7	52,3
11,833	228,5	228,5	40,5	50,5
12,000	228,7	228,7	37,3	48,8
12,167	228,9	228,9	35,3	47,2
12,333	229,1	229,1	33,3	45,7
12,500	229,3	229,3	31,2	44,4
12,667	229,5	229,5	29,2	43,4
12,833	229,7	229,7	27,1	42,5
13,000	229,9	229,9	25,1	41,9
13,167	230,1	230,1	23,6	41,4
13,333	230,3	230,3	22,0	41,1

13,500	230,5	230,5	20,5	40,9
13,667	230,7	230,7	19,0	40,7
13,833	230,9	230,9	17,4	40,5
14,000	231,1	231,1	15,9	40,3
14,167	231,3	231,3	15,4	40,1
14,333	231,5	231,5	14,8	39,9
14,500	231,7	231,7	14,3	39,6
14,667	231,9	231,9	13,7	39,2
14,833	232,1	232,1	13,2	38,8
15,000	232,3	232,3	12,7	38,3
15,167	232,5	232,5	12,5	37,8
15,333	232,7	232,7	12,3	37,3
15,500	232,9	232,9	12,1	36,7
15,667	233,1	233,1	11,9	36,1
15,833	233,4	233,4	11,6	35,5
16,000	233,6	233,6	11,4	34,8
16,167	233,8	233,8	10,4	34,1
16,333	234,0	234,0	9,4	33,3
16,500	234,2	234,2	8,3	32,4
16,667	234,4	234,4	7,3	31,5
16,83333	234,5741	234,5741	6,258419	30,60405737
17	234,7778	234,7778	5,221229	29,66024952
17,16667	234,9815	234,9815	4,351724	28,6711609
17,33333	235,1852	235,1852	3,481219	27,64680009
17,5	235,3889	235,3889	2,610715	26,6134114
17,66667	235,5926	235,5926	1,74021	25,60617856
17,83333	235,7963	235,7963	0,869705	24,65892032
18	236	236	0	23,79584393

Teste 2 - Vazões observadas e simuladas

Evento 1

Tempo	Qobs(m3/s)	Qbas (m3/s)	Qcor (m3/s)	Qsim (m3/s)
0,000	221,0	221,0	0,0	0,0
0,167	220,8	220,9	0,0	0,0
0,333	220,7	220,7	0,0	0,0
0,500	220,5	220,6	0,0	0,0
0,667	220,3	220,5	0,0	0,0
0,833	220,2	220,3	0,0	0,0
1,000	220,0	220,2	0,0	0,0
1,167	220,5	220,1	0,4	0,0
1,333	221,0	219,9	1,1	0,0
1,500	221,5	219,8	1,7	0,1
1,667	222,0	219,6	2,4	0,5
1,833	222,5	219,5	3,0	1,2
2,000	223,0	219,4	3,6	2,7
2,167	229,0	219,2	9,8	5,4
2,333	235,0	219,1	15,9	9,2
2,500	241,0	219,0	22,0	14,8
2,667	247,0	218,8	28,2	22,1
2,833	253,0	218,7	34,3	30,2
3,000	259,0	218,6	40,4	38,4
3,167	267,5	218,4	49,1	46,3
3,333	276,0	218,3	57,7	54,8
3,500	284,5	218,2	66,3	64,7
3,667	293,0	218,0	75,0	76,4
3,833	301,5	217,9	83,6	88,9
4,000	310,0	217,8	92,3	100,9
4,167	314,7	217,6	97,1	111,2
4,333	319,3	217,5	101,9	119,5
4,500	324,0	217,3	106,7	125,6
4,667	328,7	217,2	111,5	129,7
4,833	333,3	217,1	116,3	132,2
5,000	338,0	216,9	121,1	133,7
5,167	341,7	216,8	124,9	134,9

Evento 2

Tempo	Qobs(m3/s)	Qbas (m3/s)	Qcor (m3/s)	Qsim (m3/s)
0,000	312,0	312,0	0,0	0,0
0,167	310,8	311,9	0,0	0,0
0,333	309,7	311,8	0,0	0,0
0,500	308,5	311,7	0,0	0,0
0,667	307,3	311,6	0,0	0,0
0,833	306,2	311,5	0,0	0,0
1,000	305,0	311,4	0,0	0,0
1,167	310,0	311,3	0,0	0,0
1,333	315,0	311,2	3,8	0,0
1,500	320,0	311,1	9,0	0,0
1,667	325,0	310,9	14,1	0,0
1,833	330,0	310,8	19,2	0,0
2,000	335,0	310,7	24,3	0,0
2,167	337,2	310,6	26,5	0,0
2,333	339,3	310,5	28,8	0,0
2,500	341,5	310,4	31,1	0,0
2,667	343,7	310,3	33,4	0,1
2,833	345,8	310,2	35,6	0,1
3,000	348,0	310,1	37,9	0,1
3,167	351,5	310,0	41,5	0,2
3,333	355,0	309,9	45,1	0,3
3,500	358,5	309,8	48,7	0,4
3,667	362,0	309,7	52,3	0,6
3,833	365,5	309,6	55,9	0,7
4,000	369,0	309,5	59,5	0,9
4,167	374,8	309,4	65,5	1,1
4,333	380,7	309,3	71,4	1,2
4,500	386,5	309,2	77,3	1,5
4,667	392,3	309,1	83,3	2,1
4,833	398,2	308,9	89,2	4,5
5,000	404,0	308,8	95,2	11,6
5,167	407,5	308,7	98,8	24,3

5,333	345,3	216,7	128,7	136,2
5,500	349,0	216,5	132,5	137,9
5,667	352,7	216,4	136,3	140,1
5,833	356,3	216,3	140,1	142,8
6,000	360,0	216,1	143,9	145,4
6,167	362,2	216,0	146,2	147,6
6,333	364,3	215,9	148,5	148,8
6,500	366,5	215,7	150,8	148,8
6,667	368,7	215,6	153,1	147,6
6,833	370,8	215,4	155,4	145,4
7,000	373,0	215,3	157,7	142,2
7,167	372,0	215,2	156,8	138,4
7,333	371,0	215,0	156,0	134,0
7,500	370,0	214,9	155,1	129,4
7,667	369,0	214,8	154,2	124,7
7,833	368,0	214,6	153,4	119,9
8,000	367,0	214,5	152,5	115,1
8,167	365,2	214,4	150,8	110,4
8,333	363,3	214,2	149,1	105,9
8,500	361,5	214,1	147,4	101,5
8,667	359,7	214,0	145,7	97,3
8,833	357,8	213,8	144,0	93,3
9,000	356,0	213,7	142,3	89,6
9,167	351,0	213,6	137,4	86,0
9,333	346,0	213,4	132,6	82,8
9,500	341,0	213,3	127,7	80,1
9,667	336,0	213,1	122,9	77,9
9,833	331,0	213,0	118,0	76,1
10,000	326,0	212,9	113,1	74,7
10,167	321,7	212,7	108,9	73,8
10,333	317,3	212,6	104,7	72,9
10,500	313,0	212,5	100,5	71,9
10,667	308,7	212,3	96,3	70,8
10,833	304,3	212,2	92,1	69,6
11,000	300,0	212,1	87,9	68,2
11,167	291,5	211,9	79,6	66,8
11,333	283,0	211,8	71,2	65,3
11,500	274,5	211,7	62,8	63,9
11,667	266,0	211,5	54,5	62,5
11,833	257,5	211,4	46,1	61,3
12,000	249,0	211,3	37,7	60,1
12,167	245,2	211,1	34,1	59,0
12,333	241,3	211,0	30,4	58,0
12,500	237,5	210,8	26,7	57,0

5,333	411,0	308,6	102,4	40,4
5,500	414,5	308,5	106,0	57,5
5,667	418,0	308,4	109,6	73,8
5,833	421,5	308,3	113,2	88,5
6,000	425,0	308,2	116,8	101,4
6,167	426,7	308,1	118,6	112,7
6,333	428,3	308,0	120,3	122,5
6,500	430,0	307,9	122,1	131,2
6,667	431,7	307,8	123,9	139,1
6,833	433,3	307,7	125,7	146,3
7,000	435,0	307,6	127,4	152,8
7,167	436,2	307,5	128,7	158,6
7,333	437,3	307,4	130,0	163,2
7,500	438,5	307,3	131,2	166,6
7,667	439,7	307,2	132,5	168,7
7,833	440,8	307,1	133,8	169,3
8,000	442,0	306,9	135,1	168,6
8,167	442,7	306,8	135,8	166,7
8,333	443,3	306,7	136,6	163,9
8,500	444,0	306,6	137,4	160,3
8,667	444,7	306,5	138,1	156,2
8,833	445,3	306,4	138,9	151,7
9,000	446,0	306,3	139,7	147,0
9,167	446,5	306,2	140,3	142,1
9,333	447,0	306,1	140,9	137,2
9,500	447,5	306,0	141,5	132,3
9,667	448,0	305,9	142,1	127,5
9,833	448,5	305,8	142,7	122,9
10,000	449,0	305,7	143,3	118,3
10,167	448,3	305,6	142,8	114,0
10,333	447,7	305,5	142,2	109,8
10,500	447,0	305,4	141,6	105,7
10,667	446,3	305,3	141,1	101,8
10,833	445,7	305,2	140,5	98,1
11,000	445,0	305,1	139,9	94,6
11,167	443,8	304,9	138,9	91,2
11,333	442,7	304,8	137,8	87,9
11,500	441,5	304,7	136,8	84,8
11,667	440,3	304,6	135,7	81,8
11,833	439,2	304,5	134,6	79,0
12,000	438,0	304,4	133,6	76,2
12,167	432,2	304,3	127,8	73,6
12,333	426,3	304,2	122,1	71,1
12,500	420,5	304,1	116,4	68,7

12,667	233,7	210,7	23,0	56,1
12,833	229,8	210,6	19,3	55,1
13,000	226,0	210,4	15,6	54,2
13,167	225,2	210,3	14,9	53,2
13,333	224,3	210,2	14,2	52,1
13,500	223,5	210,0	13,5	51,0
13,667	222,7	209,9	12,8	49,9
13,833	221,8	209,8	12,1	48,7
14,000	221,0	209,6	11,4	47,5
14,167	220,2	209,5	10,7	46,2
14,333	219,3	209,4	10,0	44,9
14,500	218,5	209,2	9,3	43,6
14,667	217,7	209,1	8,6	42,3
14,833	216,8	208,9	7,9	41,0
15,000	216,0	208,8	7,2	39,8
15,167	214,7	208,7	6,0	38,6
15,333	213,3	208,5	4,8	37,4
15,500	212,0	208,4	3,6	36,2
15,667	210,7	208,3	2,4	35,1
15,833	209,3	208,1	1,2	34,0
16,000	208,0	208,0	0,0	33,0

12,667	414,7	304,0	110,7	66,4
12,833	408,8	303,9	104,9	64,2
13,000	403,0	303,8	99,2	62,1
13,167	396,3	303,7	92,6	60,1
13,333	389,7	303,6	86,1	58,1
13,500	383,0	303,5	79,5	56,3
13,667	376,3	303,4	73,0	54,5
13,833	369,7	303,3	66,4	52,9
14,000	363,0	303,2	59,8	51,4
14,167	358,2	303,1	55,1	50,0
14,333	353,3	302,9	50,4	48,8
14,500	348,5	302,8	45,7	47,7
14,667	343,7	302,7	40,9	46,9
14,833	338,8	302,6	36,2	46,2
15,000	334,0	302,5	31,5	45,6
15,167	331,0	302,4	28,6	45,1
15,333	328,0	302,3	25,7	44,6
15,500	325,0	302,2	22,8	44,1
15,667	322,0	302,1	19,9	43,5
15,833	319,0	302,0	17,0	42,8
16,000	316,0	301,9	14,1	42,0
16,167	315,2	301,8	13,4	41,1
16,333	314,3	301,7	12,6	40,1
16,500	313,5	301,6	11,9	39,0
16,667	312,7	301,5	11,2	37,9
16,8333	311,8325	301,3684	10,46409	36,8141831
17	310,999	301,2632	9,735847	35,6741077
17,1666	310,1665	301,1579	9,008602	34,5288492
17,3333	309,333	301,0526	8,280357	33,3949456
17,5	308,4995	300,9474	7,552143	32,2923591
17,6666	307,666	300,8421	6,823898	31,2398443
17,8333	306,8325	300,7368	6,095653	30,2504177
18	305,999	300,6316	5,367408	29,3292732
18,1666	304,9998	300,5263	4,473494	28,4744949
18,33333	303,9996	300,4211	3,578549	27,6794814
18,5	302,9994	300,3158	2,683604	26,9356795
18,6666	301,9992	300,2105	1,788659	26,2346912
18,8333	300,999	300,1053	0,893745	25,5694469
19	299,9988	300	0	24,934578

Evento 3

Tempo	Qobs(m3/s)	Qbas (m3/s)	Qcor (m3/s)	Qsim (m3/s)
0,000	215,0	215,0	0,0	0,0
0,167	215,5	215,6	0,0	0,0

Evento 4

Tempo	Qobs(m3/s)	Qbas (m3/s)	Qcor (m3/s)	Qsim (m3/s)
0,000	256,0	256,0	0,0	0,0
0,167	257,2	256,1	1,0	0,0

0,333	216,0	216,1	0,0	0,0
0,500	216,5	216,7	0,0	0,0
0,667	217,0	217,3	0,0	0,0
0,833	217,5	217,9	0,0	0,0
1,000	218,0	218,4	0,0	0,0
1,167	218,3	219,0	0,0	0,0
1,333	218,7	219,6	0,0	0,0
1,500	219,0	220,2	0,0	0,0
1,667	219,3	220,7	0,0	0,0
1,833	219,7	221,3	0,0	0,0
2,000	220,0	221,9	0,0	0,0
2,167	219,3	222,4	0,0	0,0
2,333	218,7	223,0	0,0	0,0
2,500	218,0	223,6	0,0	0,0
2,667	217,3	224,2	0,0	0,0
2,833	216,7	224,7	0,0	0,0
3,000	216,0	225,3	0,0	0,0
3,167	216,8	225,9	0,0	0,0
3,333	217,7	226,5	0,0	0,0
3,500	218,5	227,0	0,0	0,0
3,667	219,3	227,6	0,0	0,0
3,833	220,2	228,2	0,0	0,0
4,000	221,0	228,8	0,0	0,0
4,167	230,5	229,3	1,2	0,0
4,333	240,0	229,9	10,1	0,0
4,500	249,5	230,5	19,0	0,3
4,667	259,0	231,0	28,0	0,3
4,833	268,5	231,6	36,9	0,3
5,000	278,0	232,2	45,8	0,3
5,167	288,7	232,8	55,9	0,4
5,333	299,3	233,3	66,0	0,4
5,500	310,0	233,9	76,1	0,4
5,667	320,7	234,5	86,2	0,4
5,833	331,3	235,1	96,3	0,5
6,000	342,0	235,6	106,4	0,6
6,167	351,7	236,2	115,5	0,8
6,333	361,3	236,8	124,6	0,9
6,500	371,0	237,3	133,7	0,9
6,667	380,7	237,9	142,8	2,2
6,833	390,3	238,5	151,9	12,1
7,000	400,0	239,1	160,9	33,7
7,167	398,8	239,6	159,2	62,6
7,333	397,7	240,2	157,5	92,4
7,500	396,5	240,8	155,7	119,4

0,333	258,3	256,3	2,1	0,0
0,500	259,5	256,4	3,1	0,0
0,667	260,7	256,5	4,1	0,0
0,833	261,8	256,7	5,2	0,0
1,000	263,0	256,8	6,2	0,0
1,167	268,0	256,9	11,1	0,0
1,333	273,0	257,1	15,9	0,0
1,500	278,0	257,2	20,8	0,0
1,667	283,0	257,4	25,6	0,0
1,833	288,0	257,5	30,5	0,1
2,000	293,0	257,6	35,4	0,3
2,167	320,7	257,8	62,9	0,5
2,333	348,3	257,9	90,4	0,9
2,500	376,0	258,0	118,0	1,8
2,667	403,7	258,2	145,5	4,6
2,833	431,4	258,3	173,1	15,3
3,000	459,0	258,4	200,6	41,3
3,167	478,7	258,6	220,1	85,8
3,333	498,3	258,7	239,6	144,1
3,500	518,0	258,8	259,2	205,2
3,667	537,7	259,0	278,7	257,9
3,833	557,4	259,1	298,2	295,7
4,000	577,0	259,3	317,8	317,7
4,167	569,2	259,4	309,8	326,5
4,333	561,3	259,5	301,8	325,3
4,500	553,5	259,7	293,8	317,1
4,667	545,7	259,8	285,9	304,5
4,833	537,8	259,9	277,9	289,4
5,000	530,0	260,1	269,9	273,1
5,167	513,3	260,2	253,1	256,6
5,333	496,7	260,3	236,3	240,4
5,500	480,0	260,5	219,5	224,9
5,667	463,3	260,6	202,7	210,2
5,833	446,7	260,7	185,9	196,5
6,000	430,0	260,9	169,1	183,8
6,167	416,3	261,0	155,3	172,0
6,333	402,7	261,1	141,5	161,2
6,500	389,0	261,3	127,7	151,2
6,667	375,3	261,4	113,9	142,1
6,833	361,7	261,6	100,1	133,6
7,000	348,0	261,7	86,3	125,9
7,167	346,3	261,8	84,5	118,7
7,333	344,7	262,0	82,7	112,1
7,500	343,0	262,1	80,9	106,0

7,667	395,3	241,4	154,0	142,0
7,833	394,2	241,9	152,2	159,8
8,000	393,0	242,5	150,5	173,0
8,167	395,2	243,1	152,1	181,9
8,333	397,3	243,6	153,7	187,1
8,500	399,5	244,2	155,3	189,0
8,667	401,7	244,8	156,9	188,3
8,833	403,8	245,4	158,5	185,5
9,000	406,0	245,9	160,1	181,2
9,167	407,2	246,5	160,7	175,8
9,333	408,3	247,1	161,3	169,7
9,500	409,5	247,7	161,8	163,2
9,667	410,7	248,2	162,4	156,5
9,833	411,8	248,8	163,0	149,8
10,000	413,0	249,4	163,6	143,2
10,167	413,7	249,9	163,7	136,7
10,333	414,3	250,5	163,8	130,4
10,500	415,0	251,1	163,9	124,5
10,667	415,7	251,7	164,0	118,8
10,833	416,3	252,2	164,1	113,5
11,000	417,0	252,8	164,2	108,4
11,167	411,8	253,4	158,4	103,7
11,333	406,7	254,0	152,7	99,2
11,500	401,5	254,5	147,0	94,9
11,667	396,3	255,1	141,2	90,9
11,833	391,2	255,7	135,5	87,1
12,000	386,0	256,3	129,7	83,5
12,167	367,0	256,8	110,2	80,1
12,333	348,0	257,4	90,6	76,8
12,500	329,0	258,0	71,0	73,8
12,667	310,0	258,5	51,4	70,9
12,833	291,0	259,1	31,9	68,1
13,000	272,0	259,7	12,3	65,5
13,167	277,7	260,3	17,4	63,0
13,333	283,3	260,8	22,5	60,7
13,500	289,0	261,4	27,6	58,5
13,667	294,7	262,0	32,7	56,5
13,833	300,3	262,6	37,8	54,5
14,000	306,0	263,1	42,9	52,6
14,167	299,2	263,7	35,5	50,9
14,333	292,3	264,3	28,1	49,2
14,500	285,5	264,8	20,7	47,6
14,667	278,7	265,4	13,2	46,1
14,833	271,8	266,0	5,8	44,7

7,667	341,3	262,2	79,1	100,4
7,833	339,7	262,4	77,3	95,2
8,000	338,0	262,5	75,5	90,3
8,167	336,8	262,6	74,2	85,8
8,333	335,7	262,8	72,9	81,5
8,500	334,5	262,9	71,6	77,6
8,667	333,3	263,0	70,3	73,9
8,833	332,2	263,2	69,0	70,5
9,000	331,0	263,3	67,7	67,3
9,167	326,3	263,4	62,9	64,3
9,333	321,7	263,6	58,1	61,4
9,500	317,0	263,7	53,3	58,8
9,667	312,3	263,9	48,5	56,3
9,833	307,7	264,0	43,7	54,0
10,000	303,0	264,1	38,9	51,7
10,167	302,0	264,3	37,7	49,7
10,333	301,0	264,4	36,6	47,7
10,500	300,0	264,5	35,5	45,8
10,667	299,0	264,7	34,3	44,1
10,833	298,0	264,8	33,2	42,4
11,000	297,0	264,9	32,1	40,9
11,167	296,7	265,1	31,6	39,4
11,333	296,3	265,2	31,1	38,0
11,500	296,0	265,3	30,7	36,6
11,667	295,7	265,5	30,2	35,3
11,833	295,3	265,6	29,7	34,1
12,000	295,0	265,8	29,2	33,0
12,167	295,0	265,9	29,1	31,9
12,333	295,0	266,0	29,0	30,9
12,500	295,0	266,2	28,8	29,9
12,667	295,0	266,3	28,7	28,9
12,833	295,0	266,4	28,6	28,0
13,000	295,0	266,6	28,4	27,2
13,167	292,8	266,7	26,1	26,3
13,333	290,7	266,8	23,8	25,5
13,500	288,5	267,0	21,5	24,8
13,667	286,3	267,1	19,2	24,1
13,833	284,2	267,2	16,9	23,4
14,000	282,0	267,4	14,6	22,7
14,167	281,5	267,5	14,0	22,1
14,333	281,0	267,6	13,4	21,5
14,500	280,5	267,8	12,7	20,9
14,667	280,0	267,9	12,1	20,4
14,833	279,5	268,1	11,4	19,8

15,000	265,0	266,6	0,0	43,4
15,167	265,8	267,1	0,0	42,2
15,333	266,7	267,7	0,0	41,0
15,500	267,5	268,3	0,0	39,8
15,667	268,3	268,9	0,0	38,8
15,833	269,2	269,4	0,0	37,7
16,000	270,0	270,0	0,0	36,7

15,000	279,0	268,2	10,8	19,3
15,167	277,3	268,3	9,0	18,8
15,333	275,7	268,5	7,2	18,3
15,500	274,0	268,6	5,4	17,9
15,667	272,3	268,7	3,6	17,4
15,833	270,7	268,9	1,8	17,0
16,000	269,0	269,0	0,0	16,6

Evento 5

Tempo	Qobs(m3/s)	Qbas (m3/s)	Qcor (m3/s)	Qsim (m3/s)
0,000	214,0	214,0	0,0	0,0
0,167	214,3	214,2	0,1	0,0
0,333	214,7	214,4	0,3	0,0
0,500	215,0	214,6	0,4	0,0
0,667	215,3	214,8	0,5	0,0
0,833	215,7	215,0	0,6	0,0
1,000	216,0	215,2	0,8	0,0
1,167	219,5	215,4	4,1	0,0
1,333	223,0	215,6	7,4	0,0
1,500	226,5	215,8	10,7	0,0
1,667	230,0	216,0	14,0	0,0
1,833	233,5	216,2	17,3	0,0
2,000	237,0	216,4	20,6	0,0
2,167	243,7	216,6	27,0	0,0
2,333	250,3	216,9	33,5	0,0
2,500	257,0	217,1	39,9	0,1
2,667	263,7	217,3	46,4	0,2
2,833	270,3	217,5	52,9	0,6
3,000	277,0	217,7	59,3	1,4
3,167	284,5	217,9	66,6	3,8
3,333	292,0	218,1	73,9	11,6
3,500	299,5	218,3	81,2	27,0
3,667	307,0	218,5	88,5	46,4
3,833	314,5	218,7	95,8	65,5
4,000	322,0	218,9	103,1	82,1
4,167	328,2	219,1	109,1	95,6
4,333	334,3	219,3	115,0	106,6
4,500	340,5	219,5	121,0	116,0
4,667	346,7	219,7	127,0	124,6
4,833	352,8	219,9	132,9	133,1
5,000	359,0	220,1	138,9	141,6
5,167	360,7	220,3	140,4	149,8
5,333	362,3	220,5	141,8	157,1

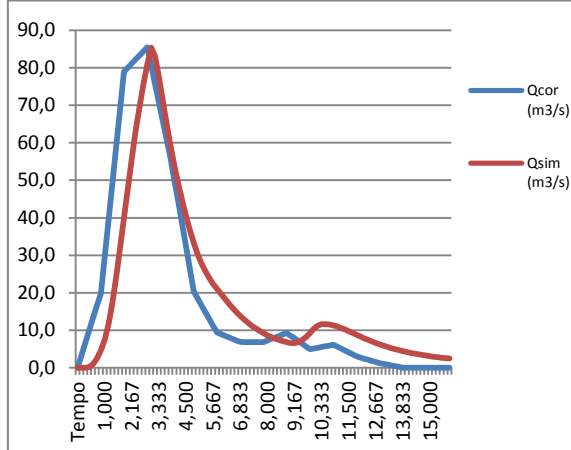
5,500	364,0	220,7	143,3	162,7
5,667	365,7	220,9	144,7	165,8
5,833	367,3	221,1	146,2	166,4
6,000	369,0	221,3	147,7	164,8
6,167	368,0	221,5	146,5	161,6
6,333	367,0	221,7	145,3	157,3
6,500	366,0	221,9	144,1	152,3
6,667	365,0	222,1	142,9	147,0
6,833	364,0	222,4	141,6	141,4
7,000	363,0	222,6	140,4	135,7
7,167	362,0	222,8	139,2	130,1
7,333	361,0	223,0	138,0	124,5
7,500	360,0	223,2	136,8	119,3
7,667	359,0	223,4	135,6	114,3
7,833	358,0	223,6	134,4	109,7
8,000	357,0	223,8	133,2	105,5
8,167	352,3	224,0	128,4	101,6
8,333	347,7	224,2	123,5	98,0
8,500	343,0	224,4	118,6	94,7
8,667	338,3	224,6	113,7	91,5
8,833	333,7	224,8	108,9	88,5
9,000	329,0	225,0	104,0	85,8
9,167	327,0	225,2	101,8	83,2
9,333	325,0	225,4	99,6	80,9
9,500	323,0	225,6	97,4	78,7
9,667	321,0	225,8	95,2	76,5
9,833	319,0	226,0	93,0	74,4
10,000	317,0	226,2	90,8	72,2
10,167	311,5	226,4	85,1	69,9
10,333	306,0	226,6	79,4	67,7
10,500	300,5	226,8	73,7	65,4
10,667	295,0	227,0	68,0	63,2
10,833	289,5	227,2	62,3	61,1
11,000	284,0	227,4	56,5	59,0
11,167	281,0	227,6	53,4	57,0
11,333	278,0	227,9	50,1	55,0
11,500	275,0	228,1	46,9	53,1
11,667	272,0	228,3	43,7	51,3
11,833	269,0	228,5	40,5	49,5
12,000	266,0	228,7	37,3	47,8
12,167	264,2	228,9	35,3	46,2
12,333	262,3	229,1	33,3	44,8
12,500	260,5	229,3	31,2	43,5
12,667	258,7	229,5	29,2	42,5

12,833	256,8	229,7	27,1	41,7
13,000	255,0	229,9	25,1	41,1
13,167	253,7	230,1	23,6	40,8
13,333	252,3	230,3	22,0	40,6
13,500	251,0	230,5	20,5	40,4
13,667	249,7	230,7	19,0	40,3
13,833	248,3	230,9	17,4	40,2
14,000	247,0	231,1	15,9	40,0
14,167	246,7	231,3	15,4	39,8
14,333	246,3	231,5	14,8	39,6
14,500	246,0	231,7	14,3	39,3
14,667	245,7	231,9	13,7	38,9
14,833	245,3	232,1	13,2	38,5
15,000	245,0	232,3	12,7	38,0
15,167	245,0	232,5	12,5	37,5
15,333	245,0	232,7	12,3	37,0
15,500	245,0	232,9	12,1	36,4
15,667	245,0	233,1	11,9	35,7
15,833	245,0	233,4	11,6	35,1
16,000	245,0	233,6	11,4	34,4
16,167	244,2	233,8	10,4	33,7
16,333	243,3	234,0	9,4	32,8
16,500	242,5	234,2	8,3	32,0
16,667	241,7	234,4	7,3	31,1
16,8333	240,8325	234,5740814	6,258418579	30,09731761
17	239,999	234,777771	5,221229004	29,0735077
17,16667	239,3332	234,9814758	4,35172417	27,99426776
17,33333	238,6664	235,1851807	3,481219336	26,89388748
17,5	237,9996	235,3888855	2,610714502	25,81954352
17,66667	237,3328	235,5925903	1,740209668	24,81567885
17,83333	236,666	235,7962952	0,869704834	23,91237911
18	235,9992	236	0	23,12118107

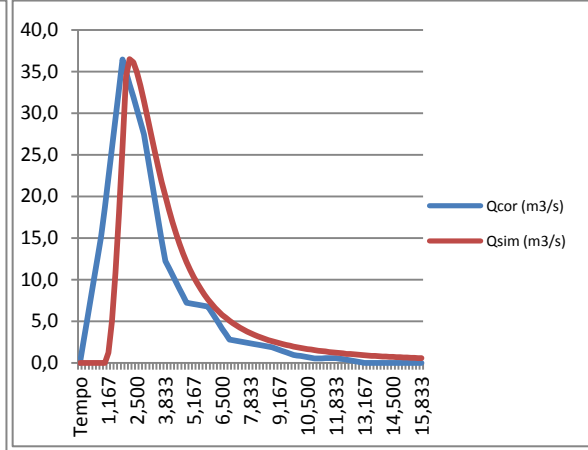
ANEXO D - Hidrogramas de todos os eventos nos diversos níveis de discretização

Evento 1

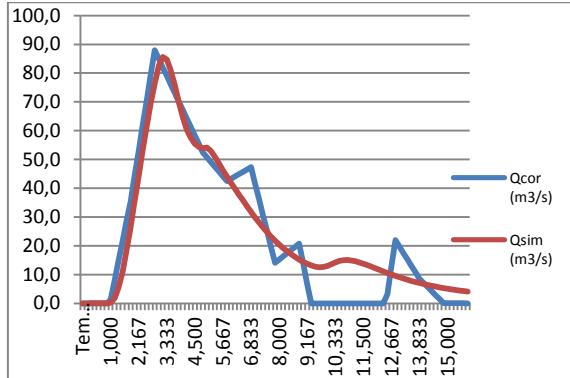
Sub-bacia 1



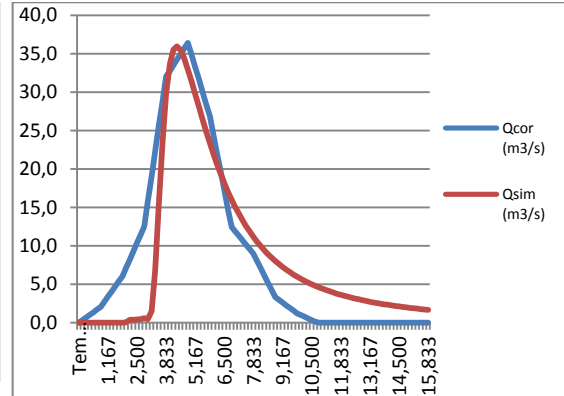
Sub-bacia 3



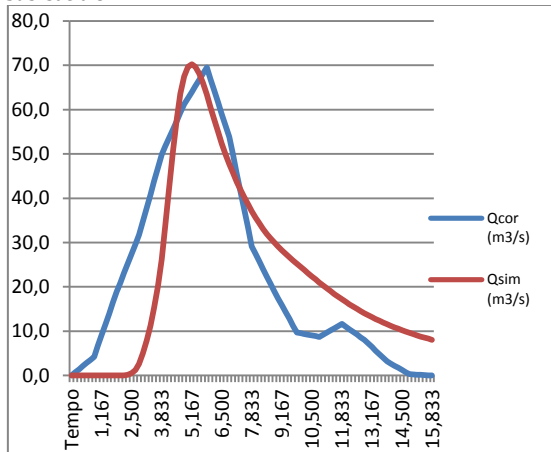
Sub-bacia 4



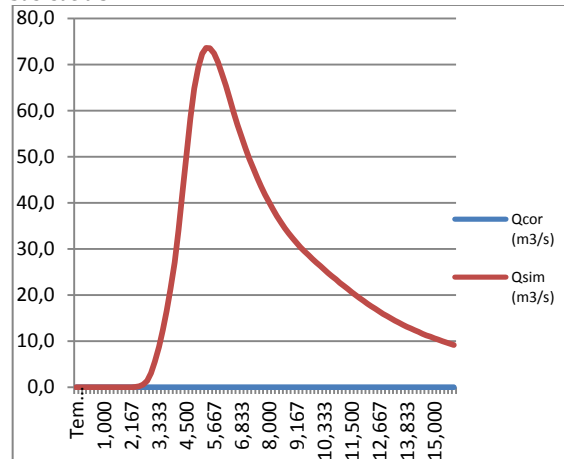
Sub-bacia 7



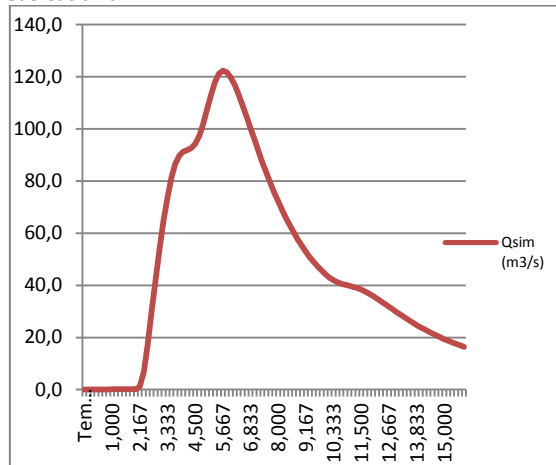
Sub-bacia 8



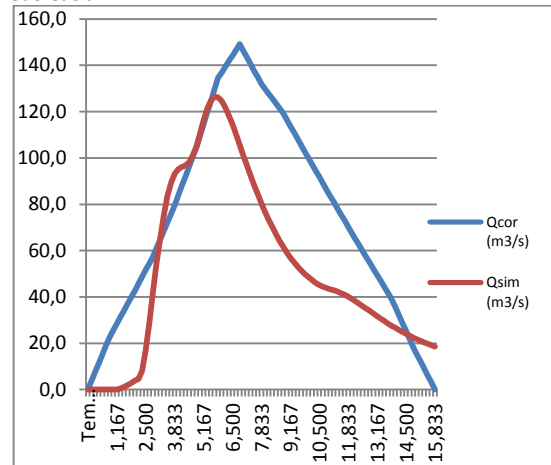
Sub-bacia 9



Sub-bacia 10

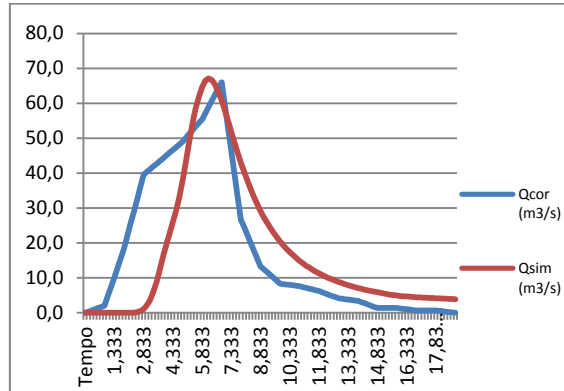


Sub-bacia 12

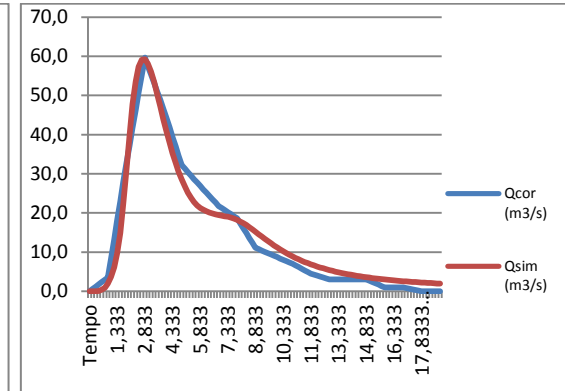


Evento 2

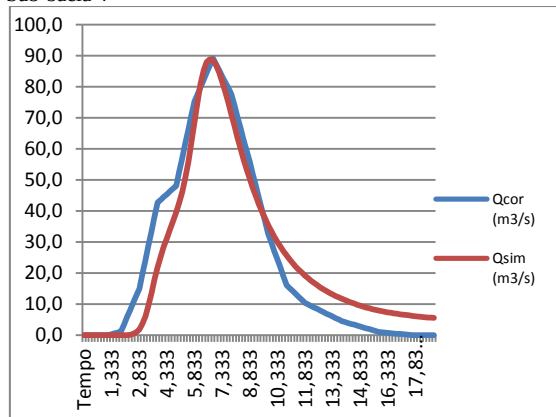
Sub-bacia 1



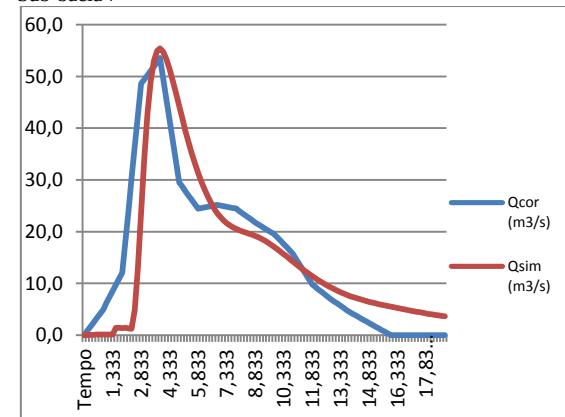
Sub-bacia 3



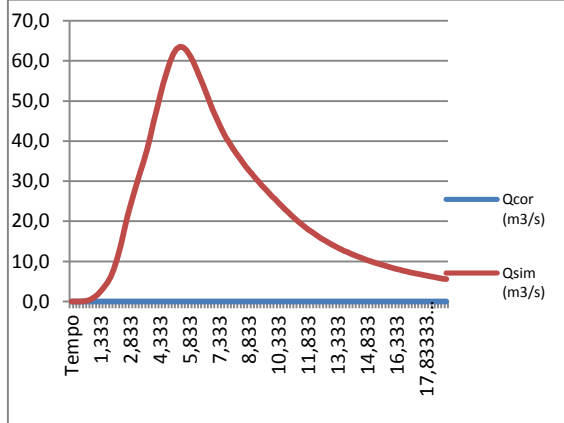
Sub-bacia 4



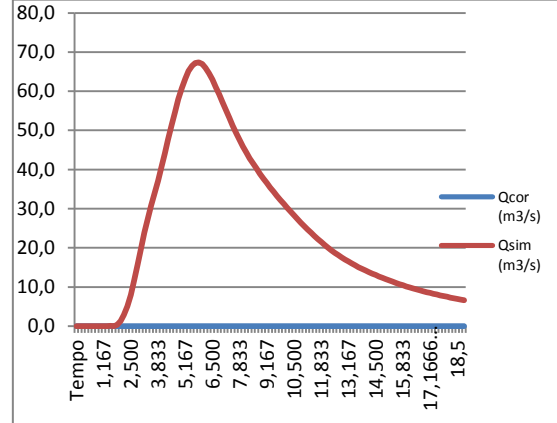
Sub-bacia 7



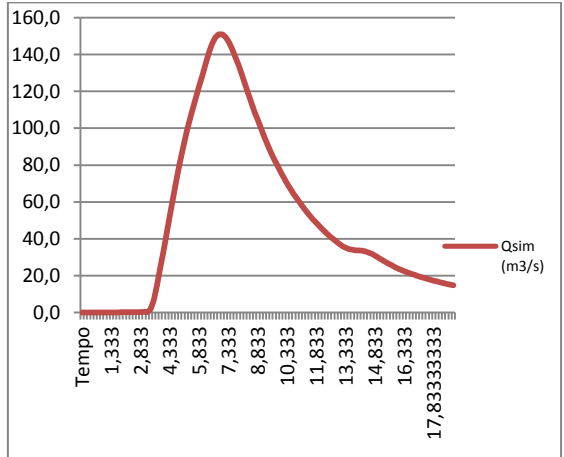
Sub-bacia 8



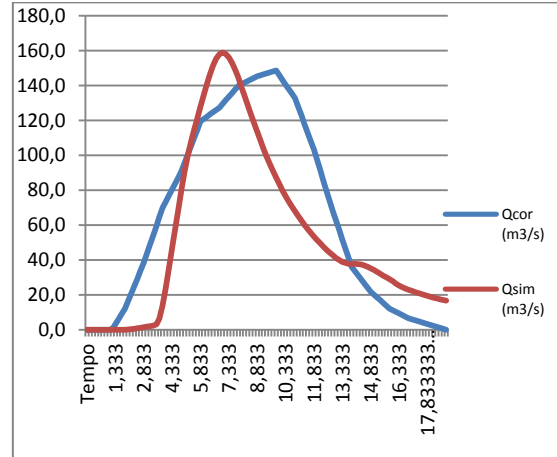
Sub-bacia 9



Sub-bacia 10

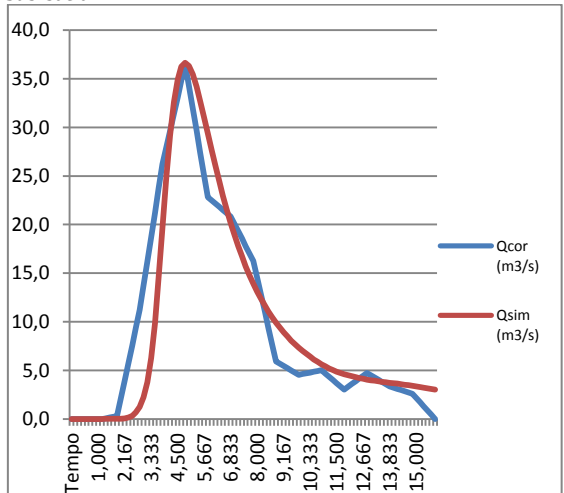


Sub-bacia 12

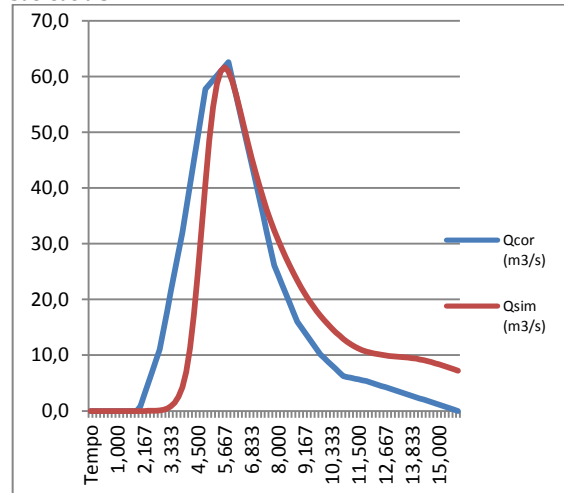


Evento 3

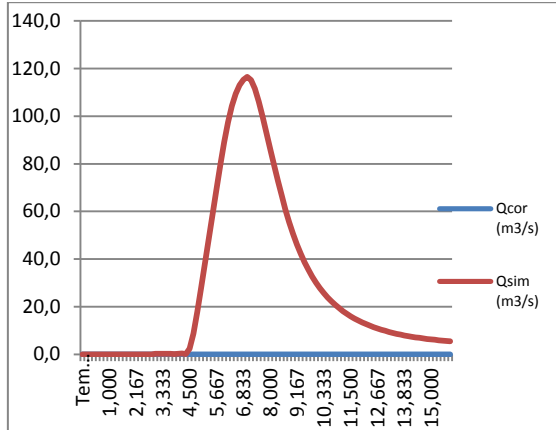
Sub-bacia 1



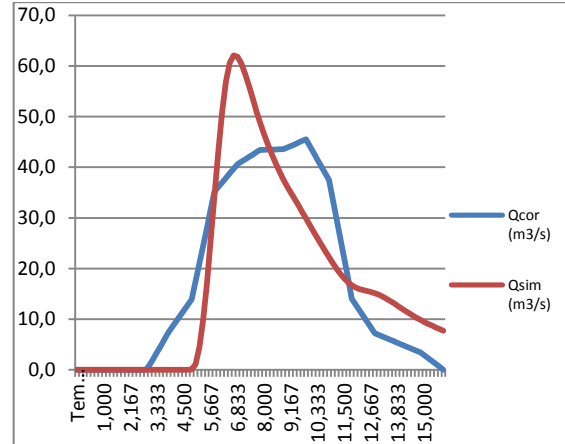
Sub-bacia 3



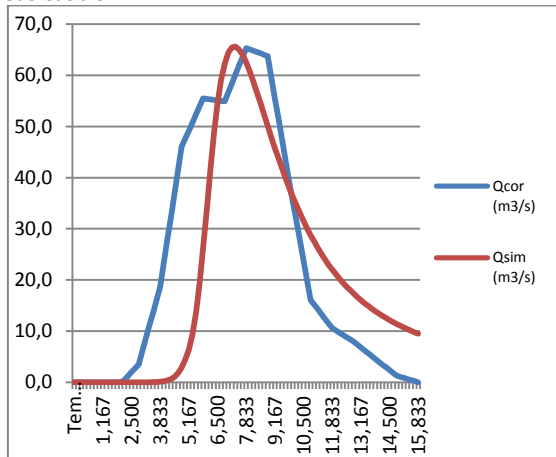
Sub-bacia 4



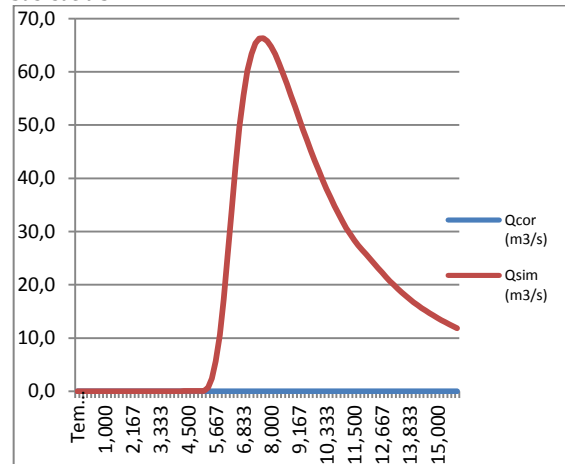
Sub-bacia 7



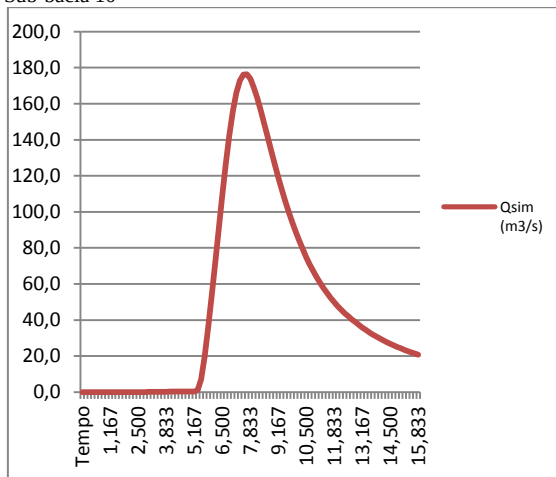
Sub-bacia 8



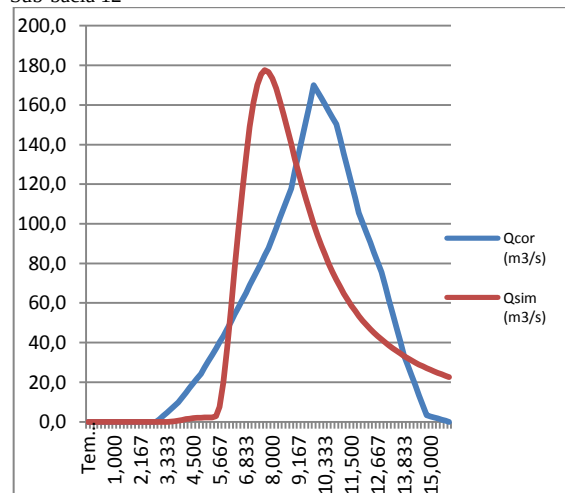
Sub-bacia 9



Sub-bacia 10

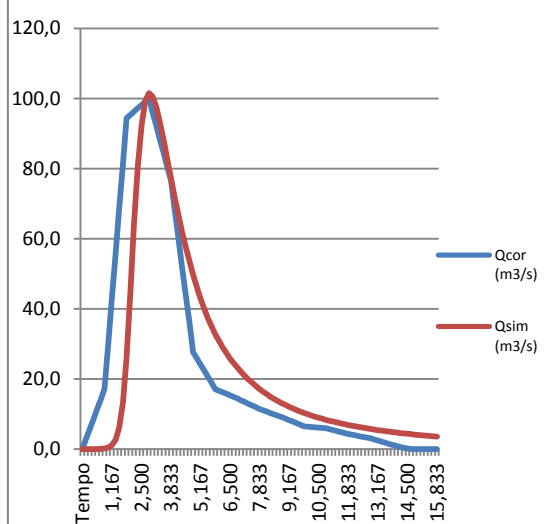


Sub-bacia 12

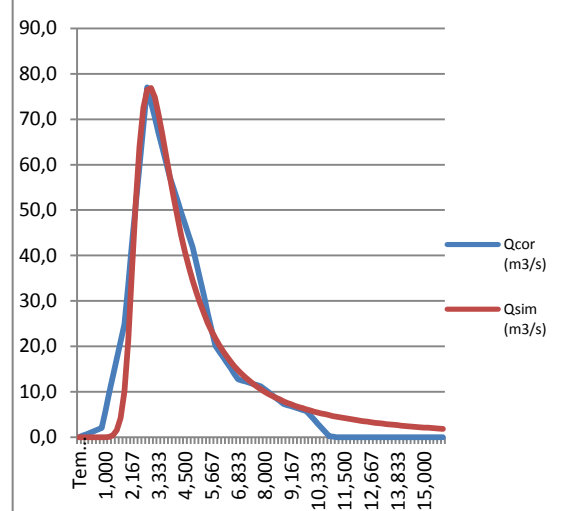


Evento 4

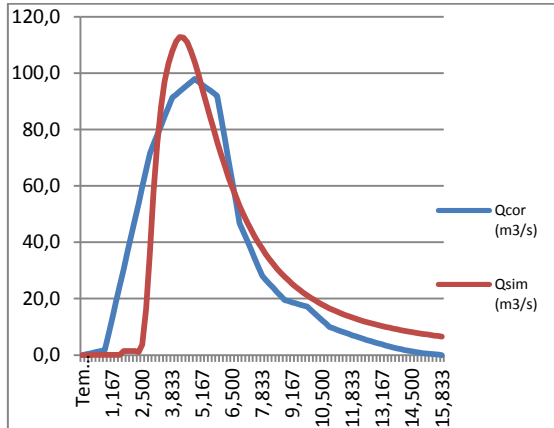
Sub-bacia 1



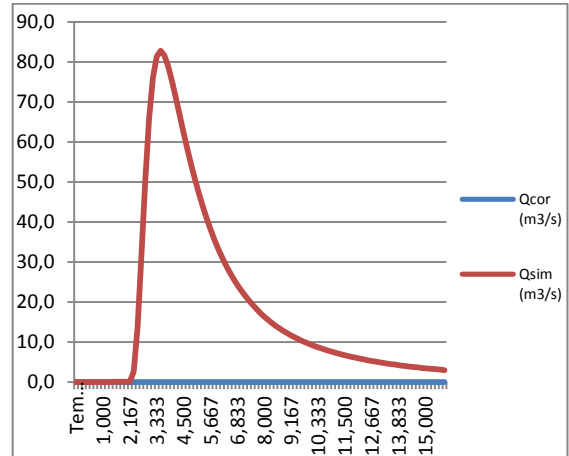
Sub-bacia 3



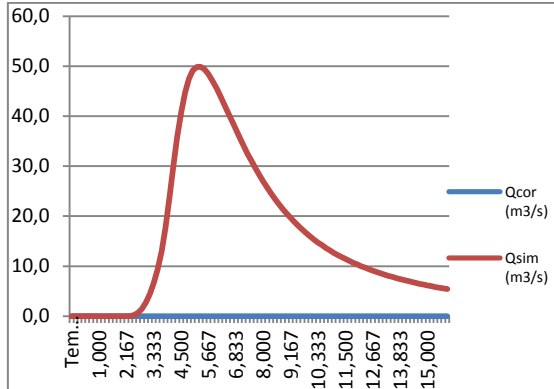
Sub-bacia 4



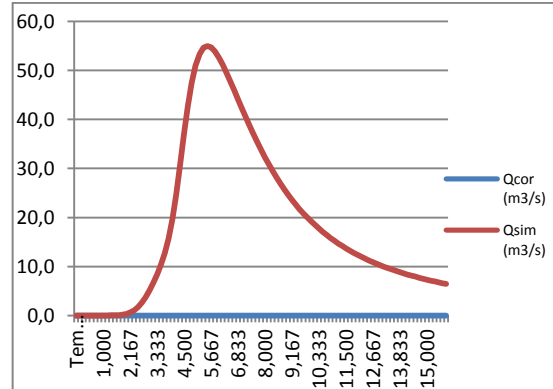
Sub-bacia 7



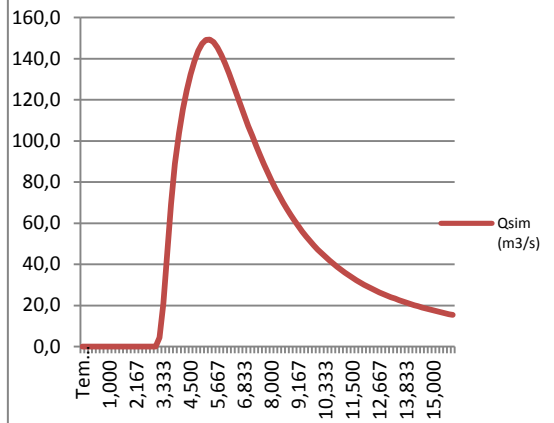
Sub-bacia 8



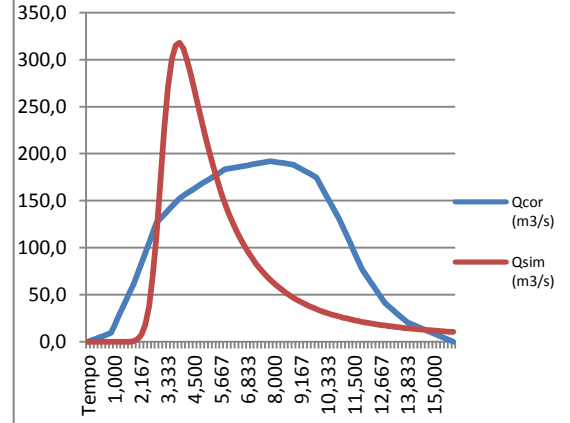
Sub-bacia 9



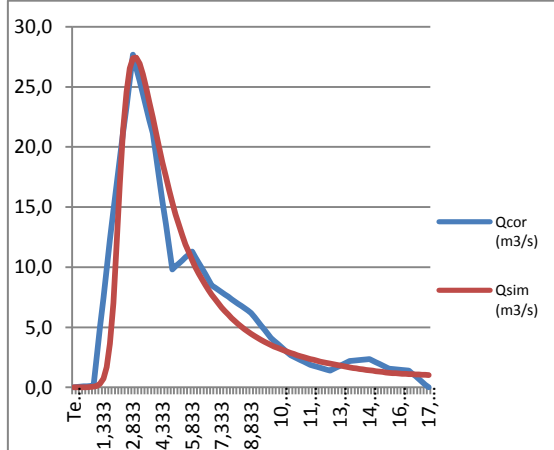
Sub-bacia 10



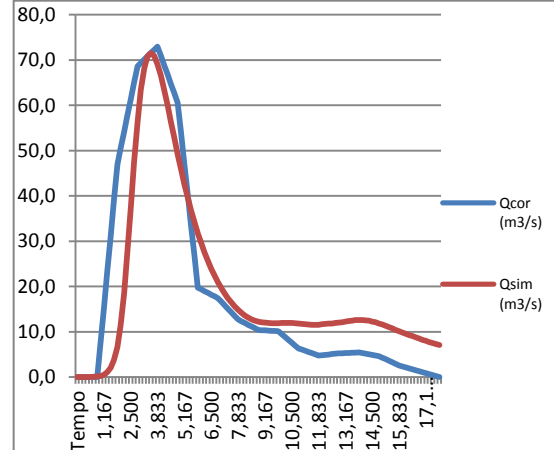
Sub-bacia 12

**Evento 5**

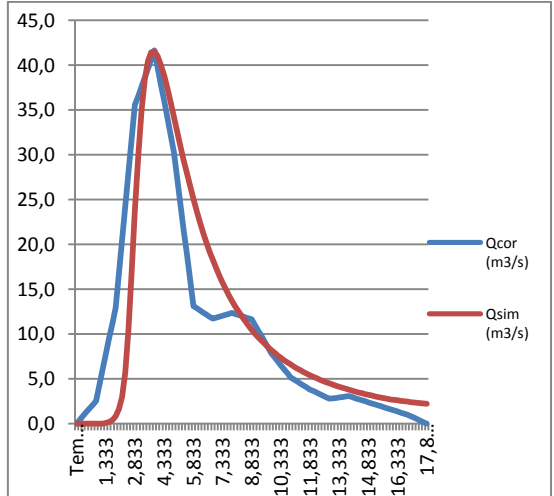
Sub-bacia 1



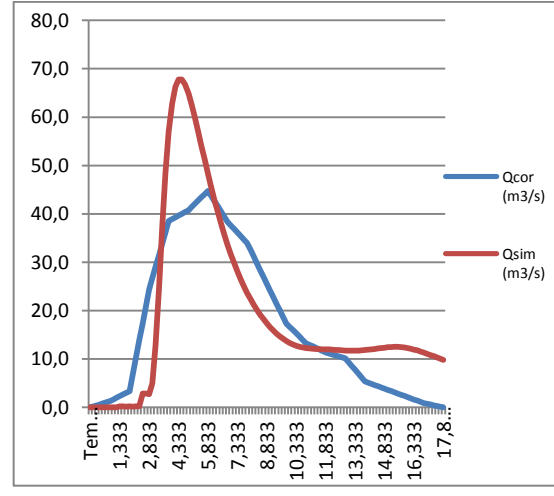
Sub-bacia 3



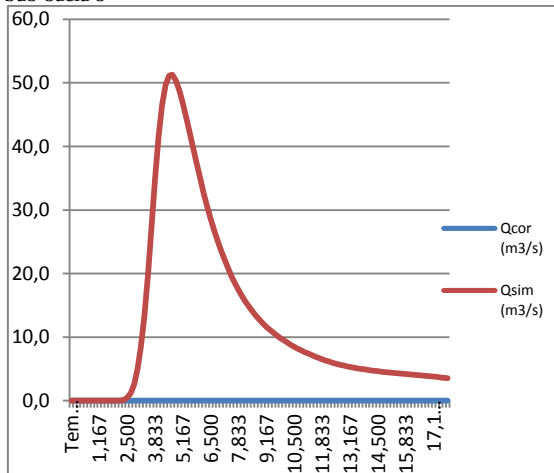
Sub-bacia 4



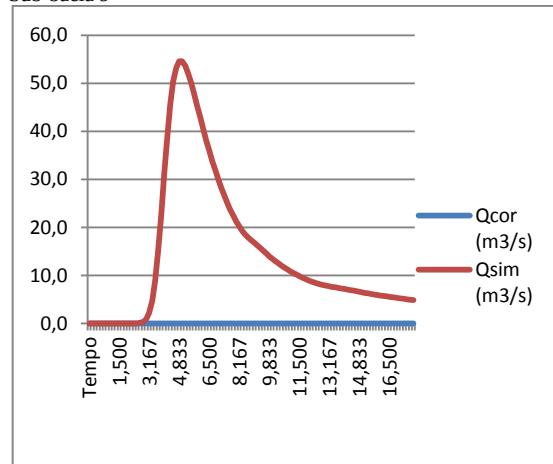
Sub-bacia 7



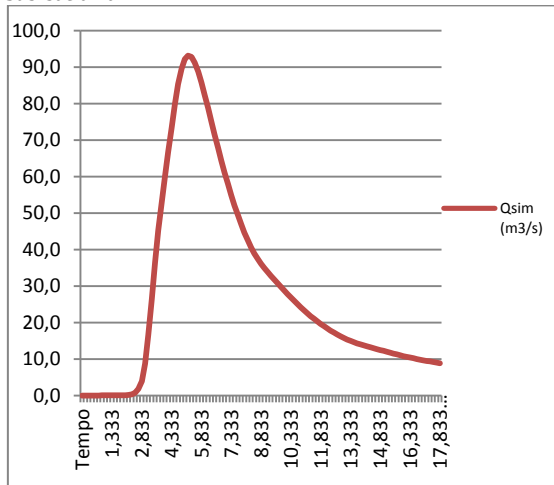
Sub-bacia 8



Sub-bacia 9



Sub-bacia 10



Sub-bacia 12

