



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS II - CAMPINA GRANDE

ESTUDO DOS IMPACTOS DO USO DO SOLO ATRAVÉS DA
MODELAGEM DA GERAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E
EROSÃO DO SOLO NA REGIÃO DO CARIRI PARAIBANO

ELTON SILVA CRUZ

CAMPINA GRANDE

JULHO - 2004

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – CAMPUS I
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL
ÁREA DE ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

ESTUDO DOS IMPACTOS DO USO DO SOLO ATRAVÉS DA
MODELAGEM DA GERAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E
EROSÃO DO SOLO NA REGIÃO DO CARIRI PARAIBANO

MESTRANDO: ELTON SILVA CRUZ
(Bolsista do Programa do CNPq/CT-Hidro)
ORIENTADOR: VAJAPEYAM S. SRINIVASAN

CAMPINA GRANDE – PB

2004

ELTON SILVA CRUZ

**ESTUDO DOS IMPACTOS DO USO DO SOLO ATRAVÉS DA
MODELAGEM DA GERAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E
EROSÃO DO SOLO NA REGIÃO DO CARIRI PARAIBANO**

**Dissertação apresentada ao curso de
Pós-Graduação em Engenharia Civil e
Ambiental, na área de Engenharia
Hidráulica, em cumprimento às
exigências para obtenção do Grau de
Mestre.**

Área de Concentração: ENGENHARIA HIDRÁULICA

Orientador: VAJAPEYAM SRIRANGACHAR SRINIVASAN

CAMPINA GRANDE – PB

JULHO – 2004



C957e Cruz, Elton Silva

2004 Estudo dos Impactos do uso do solo através da modelagem da geração do Escoamento Superficial e Erosão do solo na região do Cariri Paraibano / Elton Silva Cruz. – Campina Grande: UFCEG, 2004.

177p.: il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) /UFCEG/CCT/DEC.

Inclui bibliografia.

1. Erosão 2. Escoamento Superficial 3. Modelagem hidrossedimentológica I. Título

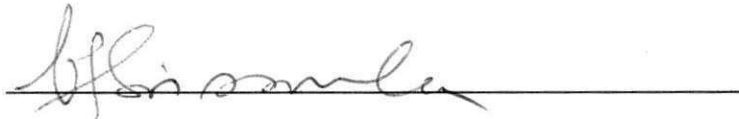
CDU:566.028

ELTON SILVA CRUZ

**ESTUDO DOS IMPACTOS DO USO DO SOLO ATRAVÉS DA
MODELAGEM DA GERAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E EROSÃO
DO SOLO NA REGIÃO DO CARIRI PARAIBANO**

Aprovado em 29 de julho de 2004.

COMISSÃO EXAMINADORA



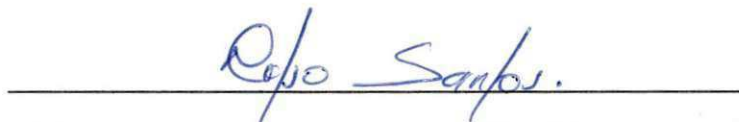
Prof. Dr. Vajapeyam Srirangachar Srinivasan (DEC/CCT/UFCG -Campus I)

Presidente - Orientador



Prof. Dr. Eduardo Eneas de Figueiredo (DEC/CCT/UFCG -Campus I)

Examinador interno



Prof. Dr. Celso Augusto Guimarães Santos (DEC/CT/UFPB -Campus I)

Examinador externo

Campina Grande, 29 de julho de 2004

DEDICATÓRIA

A DEUS, a meus pais Socorro e Maurício Cruz, à minha esposa Melissa Cruz e a meus avós Sebastião e Senhorinha pelo estímulo a continuar sempre buscando mais vitórias nessa difícil caminhada pela vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter permitido mais uma realização em minha vida.

Aos meus pais, Maria do Socorro Silva Cruz e José Maurício Severino da Cruz, por entre várias coisas, terem me estimulado ao estudo desde os meus primeiros anos de vida.

As minhas irmãs, Patrícia, Monalisa, pelo companheirismo e compartilhamento de tristezas e alegrias.

À minha esposa, Melissa Figueiredo da Silveira Cruz, pelo amor, carinho, dedicação e apoio incondicionais, durante os dois anos de curso.

Aos meus grandes parentes e amigos, Sebastião Pereira da Silva, Senhorinha Pereira da Silva Luiz Carlo da Silveira, Maria das Graças F. da Silveira, Michel F. da Silveira, Glayrston F. da Silveira, Ricardo Medeiros Tavares, Fernando Ramos Aragão, Euller Pachú Braz dos Santos, Caio Bruno Silva Tavares, pela paciência, apoio, incentivo e companhia, durante esses mais de sete anos.

Ao professor orientador Vajapeyam S. Srinivasan, por usufruir de sua vasta experiência e sabedoria, numa orientação segura e precisa, em todos os momentos.

Aos professores da Área de Recursos Hídricos: Carlos de Oliveira Galvão, Gledsneli Maria de Lima Lins, Janiro Costa Rêgo, Márcia Maria Rios Ribeiro, Raimundo Sérgio Santos Góis, Rosires Catão Curi e Sarma Kameswara Venkata Seemanapalli, pelos conhecimentos adquiridos e dedicação durante o curso.

Aos funcionários da AERH, Ismael, Haroldo, Ronaldo, Raul, Vera, Aurezinha, Valdomiro, Lindimar.

A secretária do curso de pós-graduação de Eng. Civil e Ambiental, Josete, essa pessoa sincera, especial e muita amiga em todos os momentos.

Aos alunos de iniciação científica, Ivonaldo Lacerda, Fabiano M. da Costa, Laércio Leal, Euriclides G. Torres e Mário Menezes pela ajuda durante a pesquisa.

Aos colegas de curso, Ana Cristina, Aldo S. O. Albuquerque, Carlos A. B. Silva, Djalena M. de Melo, Hérbete H. R. C. Davi, Kennedy Flávio Meira de Lucena, Leonardo A. Neves, Osvalcêlio M. Furtunato, Rosinete Batista, Sérgio R. A. Farias Vieira, Walszon Terllizzie Araújo Lopes, pelo companheirismo e união durante o curso.

Ao CNPq por ter financiado minha pesquisa com a concessão de uma bolsa de mestrado, através do Fundo Setorial do programa CT-HIDRO, ao qual possibilitou a conclusão desta dissertação.

Aos avaliadores, Vajapeyam S. Srinivasan, Eduardo E. de Figueiredo e Celso A. G. Santos, pelas contribuições para a melhoria deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos aqueles, que de alguma forma, contribuíram para a conclusão desta pesquisa.

RESUMO

A necessidade de quantificar o escoamento superficial e a erosão do solo nas sub-bacias hidrográficas é evidente nos processos de planejamento e aproveitamento de recursos naturais. As bacias representativas e experimentais formam um papel fundamental na compreensão do comportamento das bacias típicas de uma região. Pesquisas com modelos de simulação desenvolvidas em bacias representativas são meios para que os seus resultados possam, a priori, ser estendidos para as regiões das quais estas bacias são representativas. No entanto, sabe-se que a escala da bacia hidrográfica pode afetar os resultados e que os parâmetros de um modelo calibrado numa bacia não podendo ser aplicados em bacias de tamanho bem maior ou menor sem antes avaliar o efeito de escala sobre estes parâmetros. Para este fim, utilizou-se um modelo hidrossedimentológico, distribuído e orientado a evento, chamado WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) para aplicação nas bacias experimentais de Sumé e de São João do Cariri. A aplicação do modelo foi feita em quatro parcelas de erosão de 100 m², sendo duas em São João do Cariri e duas em Sumé, e três microbacias de São João do Cariri e duas microbacias de Sumé de área variando de 0,16 a 1,63 ha, sendo todas desmatadas, equipadas para medir o escoamento superficial e a erosão do solo nos eventos naturais de chuva. Os resultados mostram que os principais parâmetros do modelo WEPP, parâmetro de condutividade efetiva (K_e) da equação de infiltração de Green e Ampt, parâmetro relativo à erosão por impacto das gotas de chuva, (K_i) e o parâmetro de erodibilidade nos canais (K_r) sofrem efeito de escala. Uma verificação deste foi feito em nível das sub-bacias da BRS, e houve a confirmação da natureza do efeito de escala. A dissertação apresenta os detalhes das unidades experimentais, do modelo WEPP e a discussão dos resultados obtidos.

ABSTRACT

The need to quantify the superficial drainage and the erosion of the soil in the water sub-basins is evident in the planning processes and use of natural resources. The representative basins and you try they form a fundamental paper in the understanding of the behavior of the typical basins of an area. Researches with simulation models developed in representative basins they are means so that your results can, a priori, to be extended for the areas of the which these basins are representative. However, it is known that the scale of the water basin can affect the results and the parameters of a model gauged in a basin it cannot be applied in basins of very larger or smaller size without before evaluating the scale effect on these parameters. For this end, a runoff-erosion model was used, distributed and guided to event, called WEPP (Water Erosion Prediction Project) for application in the experimental basins of Sumé and of São João of Cariri. The application of the model was made in four portions of erosion of 100 m², being two in São João of Cariri and two in Sumé, and São João of Cariri three microbasins and two microbasins of area Sumé varying from 0,16 to 1,63 there is, being all, equipped to measure the superficial drainage and the erosion of the soil in the natural events of the rain. The microbasin and the portions were deforested. The results show that the main parameters of the model WEPP, parameter conductivity executes (Ke) of the equation of infiltration of Green and Ampt, relative parameter to the erosion for impact of the rain drops, parameter (Ki) and the erosion parameter in the channels (Kr) they suffer scale effect. A verification of this was made in level of the sub-basins of BRS, and there was the confirmation of the nature of the scale effect. The dissertation presents the details of the experimental units, of the model WEPP and the discussion of results.

ÍNDICE

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
INDICE	vi
1.0. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos.....	4
1.2. Organização da Dissertação.....	4
2.0 MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA, USO DO SOLO E EFEITO DE ESCALA.....	6
2.1. Modelo hidrológico.....	6
2.2. Modelos Hidrológicos de Escoamento e Erosão	7
2.2.1. Classificação dos Modelos.....	7
2.2.2. Modelos Chuva-Vazão.....	8
2.2.2.1. Modelos Empíricos.....	8
2.2.2.2. Modelos Conceituais Concentrados	8
2.2.2.3. Modelos Fundamentais	9
2.2.3. Modelos de Produção de Sedimentos	10
2.2.4. Modelos Empíricos.....	11
2.2.5. Modelos Conceituais.....	12
2.2.6. Modelos Fundamentais.....	14
2.3. Efeito do Uso do Solo.....	17
2.4. Efeito de Escala.....	20

2.4.1. Efeito de Escala sobre Parâmetros Relacionados ao Escoamento Superficial	20
2.4.2. Efeito de Escala sobre Parâmetros Relacionados à Produção de Sedimentos	21
2.5. Considerações finais.....	24
3.0. O MODELO APLICADO.....	25
3.1. O Modelo WEPP.....	25
3.2. Cálculo de Infiltração do Modelo.....	29
3.3. Escoamento sobre os Planos.....	32
3.3.1. Fluxo nos Canais.....	33
3.3.2 Erosão nos Planos e Canais.....	33
3.4. Parâmetros de Entrada do Modelo WEPP.....	36
3.4.1. Parâmetros Globais	36
3.4.2. Parâmetros dos Planos	36
3.4.3. Parâmetros dos Canais	37
4.0. INSTALAÇÕES EXPERIMENTAIS E COLETAS DE DADOS.....	39
4.1. Considerações Gerais.....	39
4.2. A Bacia Representativa de Sumé.....	41
4.3. A bacia experimental de Sumé e suas instalações.....	47
4.3.1. Microbacias	48
4.3.2. Parcelas de Erosão	50
4.4. A bacia experimental de São João do Cariri e suas instalações.....	51
4.4.1 Microbacias	52
4.4.1Parcelas de Erosão	55

4.5. Coletas de Dados.....	56
4.5.1. Bacia Experimental de Sumé.....	57
4.5.2. Bacia Experimental de São João do Cariri.....	58
5.0 APLICAÇÃO DO MODELO.....	59
5.1. Modelagem do Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas Parcelas.....	59
5.1.1. Determinação dos Parâmetros do Modelo WEPP.....	59
5.2. Modelagem do Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas Microbacias..	68
5.3. Modelagem do Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas sub-bacias da BRS.....	93
5.3.1. Determinação dos Parâmetros do Modelo.....	95
6.0 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	124
6.1. Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas Parcelas	125
6.1.1. Escoamento Superficial.....	126
6.1.2. Produção de Sedimentos	127
6.2. Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas Microbacias	128
6.2.1. Escoamento Superficial.....	129
6.2.2. Produção de Sedimentos	130
6.3. Simulação do Escoamento Superficial e Erosão nas Sub-bacias de BRS.	130
6.3.1. Escoamento Superficial.....	130
6.3.2. Produção de Sedimentos	132
6.4. Efeito de Escala sobre os parâmetros do Modelo WEPP.....	132
7.0. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	122

7.1. Conclusões.....	122
7.2. Recomendações.....	123
8.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124
ANEXO 1 - Valores dos Parâmetros S_i , K_e e K_i para todos os eventos utilizados para as parcelas e microbacias da BESJC e BES.....	136
ANEXO 2 - Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos das sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé.....	164
ANEXO 3 - Relação do tipo de solo para cada elemento das sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé.....	177

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>A</i>	Perda do solo por unidade de área (M/L)
<i>A</i>	Perda média de solo (M)
<i>A</i>	Área de seção transversal do fluxo (L ²)
<i>a</i>	Coefficiente na relação entre vazão e profundidade do fluxo ou entre vazão e área da seção transversal do canal
<i>a</i>	Fator de erodibilidade do solo nos canais (MLM ^{-3/2} L ^{-3/2} T ⁻³ T ⁻¹)
<i>B</i>	combinado dos efeitos do potencial efetivo de capilaridade, profundidade do fluxo e armazenamento de água do solo
<i>C</i>	Fator de erodibilidade do solo (L)
<i>C</i>	Fator cobertura ou controle
<i>C̄</i>	Fator de uso e manejo do solo
<i>C_D</i>	Coefficiente de arrasto
<i>c_f</i>	Coefficiente na equação de erosão devido ao impacto das gotas de chuva
<i>c_g</i>	Coefficiente da taxa de transferência na erosão/deposição hidráulica (T ⁻¹)
<i>c_h</i>	Coefficiente de amortecimento devido à lâmina d'água na equação de erosão por impacto das gotas de chuva
<i>C_i</i>	Parâmetro que considera o efeito da cobertura vegetal na erosão dos canais
<i>C_m</i>	Concentração de equilíbrio na capacidade de transporte de sedimentos (L ³ L ⁻³)
<i>c_o</i>	Coefficiente relacionado à coesão do solo
<i>C_p</i>	Indicador do fim do alagamento (L)
<i>C_r</i>	fator que considera a cobertura existente no plano
<i>C_S</i>	Concentração de sedimentos
<i>C_s</i>	Concentração de sedimentos no fluxo (L ³ L ⁻³)
<i>C_u</i>	Indicador do ponto de empocamento (L)
<i>C_v</i>	Coefficiente de variação da condutividade hidráulica efetiva do solo
<i>d</i>	Tamanho característico dos sedimentos (L)

d_i	diâmetro efetivo da gota (L)
D_i	Taxa de erosão de sedimentos nas áreas planas ($M T^{-1} L^{-2}$)
D_r	Taxa de erosão de sedimentos nos canais ($M T^{-1} L^{-2}$)
d_{50}	Diâmetro médio dos sedimentos
\bar{D}_{50}	diâmetro volumétrico médio de gotas
e	Erosão calculada ($L^2 T^{-1}$)
e_h	Erosão devido ao arrasto pelo fluxo superficial ($L^2 T^{-1}$)
e_o	Erosão observada ($L^2 T^{-1}$)
e_s	Erosão devido ao impacto das gotas de chuva ($L^2 T^{-1}$)
EC	Energia Cinética ($MJha^{-1}mm^{-1}$)
E_c	Erosão aalculada (ML^{-1})
$E_{c/a}$	Energia cinética por unidade de área (MT^{-2})
$E_{c/v}$	Energia cinética por unidade de volume ($ML^{-1} T^{-2}$)
F	Profundidade acumulada de infiltração (L)
f_c	Taxa de infiltração (LT^{-1})
f_i	índice médio de infiltração (LT^{-1})
G	Valor efetivo do potencial de capilaridade (L)
G	Carga de Sedimento ($M T^{-1} L^{-2}$)
G_c	Parâmetro que considera o efeito da cobertura do solo para erosão
g	Aceleração da gravidade (LT^{-2})
H	Profundidade do fluxo (L)
h	Profundidade do fluxo (L)
h	Volume de água armazenado por unidade de área (L)
I	Infiltração acumulada (L)
I	Intensidade média de precipitação dos bocais ($L T^{-1}$)
i	Intensidade de precipitação (LT^{-1})
i	Intervalo corrente de tempo

I_p	intensidade de precipitação ($L T^{-1}$)
$i-l$	Intervalo prévio de tempo
K	Condutividade hidráulica do solo (LT^{-1})
K_e	Condutividade hidráulica efetiva saturada (LT^{-1})
K_i	Parâmetro de erodibilidade do solo pelo impacto das gotas de chuva (MTL^{-4})
K_r	Parâmetro que caracteriza a erodibilidade do solo nos canais ($T L^{-1}$)
K_s	Condutividade hidráulica saturada efetiva (LT^{-1})
L	Comprimento do plano (L)
L	Lâmina média de água aplicada pelos bocais (L)
L_c	Lâmina calculada (L)
L_o	Lâmina observada (L)
m	Expoente na relação entre vazão e profundidade do fluxo ou entre vazão e área da secção transversal do canal
n	Número de intervalos de diâmetro de gota
n	Coefficiente de rugosidade de Manning
N_i	número de gotas ou fração de chuva no intervalo de diâmetro de gotas d_i e caracterizada por um diâmetro efetivo d_i (L)
N_s	Parâmetro de sucção/umidade do solo (L)
ϕ	Porosidade
P	Precipitação (L)
P	Pluviômetro
P	Fator efetivo de profundidade
PE	Fator de práticas conservacionista
PE	Pluviógrafo
q	Fluxo de entrada lateral por unidade de comprimento do canal ou excesso de precipitação nos planos (LT^{-1})
q	Descarga por unidade de largura (L^2T^{-1})
q	Vazão no canal (L^3T^{-1})

Q	Descarga por unidade de largura (L^2T^{-1})
Q	Vazão (L^3T^{-1})
Q	Fluxo lateral por unidade de comprimento do canal (LT^{-1})
Q_p	Vazão de Pico (L^3T^{-1})
q_p	taxa de escoamento de pico em (L^3T^{-1})
q_s	Entrada lateral de sedimentos no canal ($L^3T^{-1}L^{-1}$)
R	Altura de chuva acumulada (L)
R	Fator de Cobertura do Solo
R	Fator de erosividade da chuva (L)
R	Raio hidráulico (L)
r	Taxa de entrada de água na superfície do solo durante a redistribuição de água (LT^{-1})
r_b	Taxa de chuva média (LT^{-1})
r_e	Excesso de precipitação (LT^{-1})
R_n	Número de Reynolds da partícula
S	Declividade
Sat	Saturação
S_f	Declividade da linha de energia
S_i	Saturação inicial relativa do solo
S_o	Declividade do plano ou do fundo do canal
S_s	Densidade relativa do sedimento
T_c	Capacidade de transporte de sedimentos pelo escoamento ($ML^{-1}T^{-1}$)
t	tempo de precipitação (T)
t	Tempo (T)
t_p	Tempo de empoçamento (T)
T_w	Largura de topo do fluxo (L)
u	Velocidade média do fluxo (LT^{-1})

V	Volume de escoamento (L^3)
V	Volume de escoamento de superfície (L^3)
v	Velocidade média de impacto da gota de chuva ($L T^{-1}$)
V_f	Velocidade de queda
v_i	Velocidade de impacto da gota de chuva ($L T^{-1}$)
V_i	Excesso de chuva acumulado (L)
v_s	Velocidade de queda das partículas (LT^{-1})
W	Largura do plano (L)
x	Distância na direção do fluxo (L)
x	Comprimento da encosta (L)
y	profundidade do fluxo (L)
Y	Produção de Sedimento (M)
Z	Profundidade da frente de molhamento a partir da superfície (L)
α	Coefficiente da equação de Smith e Parlange (1978)
α	Tipo do solo da Eq. 2.7
β	fator de forma
δ	Coefficiente para a tensão de cisalhamento crítico (Pa)
$\Delta\theta$	armazenamento de água no solo
$\Delta\theta_{10}$	diferença de umidade do solo acima e abaixo da frente de molhamento
Δs	umidade de saturação do solo (L^3/L^3)
γ	Peso específico da água ($MLT^{-2}L^{-3}$)
λ	Índice de distribuição dos tamanhos dos poros
η_e	Porosidade efetiva (L/L)
τ	Tensão de cisalhamento média ($MLT^{-2}L^{-3}$)
ν	Viscosidade cinemática da água (L^2T^{-1})
Ω	Potência unitária do fluxo (LT^{-1})
δ	Coefficiente para cálculo da tensão de cisalhamento crítica

ϕ	Porosidade efetiva
ψ	Potencial mátrico do solo (L)
Ψ	Potencial capilar médio (L)
τ	Tensão cisalhante atuando nas partículas de solo em decorrência do escoamento ($ML^{-2} T^{-1}$)
τ_c	Tensão de cisalhamento crítica ($MLT^{-2}L^{-3}$)
τ_c	Tensão de cisalhamento crítica média ($MLT^{-2}L^{-3}$)
ϵ_c	Coefficiente de deposição nos canais
θ_i	Umidade inicial do solo
ϵ_p	Coefficiente de deposição nos planos
γ_s	Peso específico dos sedimentos ($MLT^{-2}L^{-3}$)
θ	Umidade do solo no período de redistribuição de água
θ_d	Déficit de umidade do solo na mistura do solo (L/L)
θ_t	Umidade do solo abaixo da frente de molhamento
θ_o	Umidade do solo acima da frente de molhamento
θ_r	Umidade residual do solo
θ_s	Umidade do solo na saturação
θ_v	Conteúdo volumétrico inicial da água por unidade de área (L/L)
θ_s	Umidade de saturação do solo
θ_s	Umidade na saturação do solo
ρ_w	Massa específica da água, ML^{-3}

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

A intensificação das atividades humanas está acelerando a modificação dos ecossistemas naturais e, conseqüentemente, a perda da biodiversidade no planeta. As intervenções do homem na natureza podem implicar na interrupção da integridade de ciclos biológicos como também colocar em risco a própria sobrevivência.

O crescimento populacional e a ocupação de novas áreas fazem com que áreas antes cobertas com vegetação sejam desmatadas gerando um desequilíbrio de grandes proporções. Uma outra conseqüência é o uso crescente dos recursos naturais, principalmente o uso da água.

Na procura por uma produção de alimentos cada vez maior, a terra tem sido bastante exigida. Portanto, não há tempo suficiente para que a terra reponha os seus nutrientes pelos processos naturais. O uso de equipamentos modernos que permitem uma alta produtividade, também pode implicar numa perda alta de nutrientes. Sem um procedimento adequado estas perdas poderão levar aos processos de desertificação e, finalmente, à infertilidade do solo.

No Nordeste semi-árido, a camada produtiva do solo possui pequena espessura vindo logo abaixo a camada rochosa. A vegetação, em boa parte da região, é rasteira e do tipo caatinga. As culturas empregadas nem sempre são adequadas para o tipo de solo e para a quantidade de água disponível. As chuvas são escassas, mas medianamente intensas (Leprun, 1983). Nestas condições, a eliminação da vegetação, associada com o tipo de cultura empregada e à erosividade da chuva são fatores que contribuem, de forma expressiva, para a erosão do solo.

A retirada da vegetação nativa para a plantação de insumos a serem usados na pecuária ou para a plantação de cultura de subsistência é um dos fatores contribuintes para a aceleração do processo erosivo na região Nordeste. Estudos têm mostrado a influência positiva, no combate a erosão, da vegetação nativa (Gomes et al., 1987; Srinivasan et al. 1988; Molinier et al., 1987; Figueiredo, 1998b; Tucci et al. 1998). No tocante à conservação do solo, a influência da vegetação pode ser sentida de três modos: o primeiro está relacionado com a proteção da superfície contra o impacto das gotas de chuva; o segundo está nos maiores índices de infiltração e, por consequência, à diminuição do volume do escoamento superficial responsável pela erosão e transporte do material erodido para o sistema de drenagem; o terceiro se vincula ao fato de a flora se constituir num obstáculo ao processo de arraste dos sedimentos pela enxurrada (Reis, 1988). A açudagem no Nordeste, principalmente em regiões semelhantes ao Cariri paraibano, é um outro fator que pode favorecer os efeitos da erosão. Para a construção dos açudes a vegetação nativa é retirada deixando o solo ao seu redor desprovido de proteção ficando sujeito aos efeitos erosivos da chuva (Figueiredo, 1999).

Nesse contexto encontram-se as Bacias Hidrográficas, que é área drenada parcialmente ou totalmente por um ou vários cursos d'água, ou seja, é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório (Tucci, 2001).

Com isso temos então as Bacias Representativas, que são bacias que possuem características semelhantes de uma certa região hidrológica, ou seja, de uma região que se supõe que haja semelhança do ponto de vista hidrológico. Pesquisas com modelos de simulação desenvolvida em bacias representativas são muito importantes devido ao fato que os seus parâmetros podem, a priori, serem considerados válidos para as regiões das quais estas bacias são representativas.

Sendo assim, para uma análise mais aprofundada das consequências da interferência do homem no meio ambiente, torna-se imprescindível a utilização de modelos computacionais de simulação dos diversos componentes do ciclo hidrológico, tais como, infiltração, evaporação e principalmente do escoamento superficial.

A Bacia Experimental de Sumé, localizada dentro da Bacia Representativa de Sumé e

a Bacia Experimental de São João do Cariri foram instaladas no semi-árido paraibano, com o objetivo de servir como fonte de dados confiáveis para estudos sobre os impactos das modificações no meio ambiente e sobre os recursos de água e solo. Várias pesquisas foram realizadas utilizando dados dessas bacias, as quais tiveram como objetivo, dentre outros, modelar o processo de escoamento superficial e da erosão do solo (Galvão, 1990; Santos, 1994; Srinivasan e Galvão, 1994; Santos, 1997; Pereira, 1997; Aragão, 2000; Lopes, 2003).

A avaliação dos impactos de uso da terra é de fundamental importância para a região semi-árida. Estudos nesse sentido ainda são necessários devido ao fato de que os efeitos da remoção da cobertura vegetal ainda não estão quantificados adequadamente através da modelagem do escoamento superficial e da erosão do solo em diferentes escalas. A aplicação de modelos do tipo "caixa preta" ou mesmo os modelos conceituais tem sido aplicados nos últimos anos. No entanto, esses modelos apresentam limitações para uma avaliação adequada dos impactos do uso do solo.

Modelos que consideram as características da bacia e os processos físicos envolvidos nas fases do ciclo hidrológico são ferramentas promissoras para a extrapolação das informações e simulação de respostas que sejam coerentes com a realidade física atual da bacia ou com a possibilidade de mudanças futuras. A bacia Representativa de Sumé tem características hidroclimáticas semelhantes a uma grande área da região Nordeste (Nouvelot, 1974). Um modelo que reproduza o comportamento hidrológico e sedimentológico desta bacia se constituiria numa importante ferramenta para a previsão da lâmina escoada e do sedimento erodido durante um evento em várias bacias da região.

O "Water Erosion Prediction Project" (WEPP) dos Estados Unidos, é um modelo computacional de simulação contínua com o qual pode-se estimar a perda ou a deposição de solo numa bacia (Flanagan e Nearing, 1995). Este modelo é baseado nos princípios físicos dos processos inerentes à erosão do solo (física do solo, crescimento de plantas, infiltração e hidráulica do escoamento), apresentando várias vantagens sobre os modelos empíricos. Este modelo considera os efeitos das mudanças de uso do solo e também modela a variabilidade espacial e temporal dos fatores que afetam os processos hidrológicos e da erosão que ocorrem em uma encosta. Apesar do WEPP ser um modelo muito utilizado em países como, por exemplo, os Estados Unidos, aqui no Brasil sua utilização ainda não é grande. Portanto, a eficiência de aplicação deste modelo para as condições tropicais e sub-

tropicais do Brasil não são ainda conhecidas. O presente estudo é uma tentativa de verificar a utilização do modelo WEPP na região semi-árida do nordeste do Brasil, para simulação dos processos de escoamento superficial e da erosão.

1.1. Objetivos

Como base no exposto acima, os objetivos desta pesquisa foram:

1 – Aplicar o modelo WEPP para dados de escoamento superficial e da produção de sedimentos em diferentes escalas de produção (parcelas de erosão de 100 m² e microbacias em tomo de 5000 m²). Os dados foram coletados na Bacia Experimental de São João do Cariri (BESJC) e na Bacia Experimental de Sumé (BES);

2 - Avaliar a variabilidade dos parâmetros do modelo entre as unidades experimentais de Sumé e São João do Cariri;

3 - Avaliar o efeito de escala sobre os processos de escoamento superficial e de erosão desde as parcelas de erosão até a Bacia Representativa de Sumé (BRS).

1.2. Organização da Dissertação

Esta dissertação está organizada em 8 capítulos.

No **capítulo 2** estão apresentadas algumas informações básicas sobre uso do solo, modelagem do escoamento superficial e erosão do solo, bem como, uma discussão de alguns estudos da literatura sobre efeitos de escala. No **capítulo 3** está descrito o modelo WEPP e todos os processos físicos pertinentes. No **capítulo 4** está uma descrição das áreas: Bacia Representativa de Sumé e a Bacia Experimental de Sumé bem como a Bacia Experimental de São João do Cariri. A aplicação do modelo na área de estudo e os

resultados obtidos estão apresentados no **capítulo 5**. No **capítulo 6**, os resultados estão analisados e discutidos, o **capítulo 7** apresenta as conclusões do trabalho, e o **capítulo 8** estão apresentadas às referências bibliográficas.

CAPÍTULO 2

2. MODELAGEM HIDROSSEDIMENTOLÓGICA, USO DO SOLO E EFEITO DE ESCALA

Neste capítulo, serão apresentados alguns aspectos mais importantes envolvidos em modelagem hidrossedimentológica em pequenas e médias bacias hidrográficas, bem como, os aspectos gerais sobre modelos hidrológicos. Também serão apresentados alguns estudos na literatura relativos aos efeitos de escala sobre parâmetros de modelos hidrológicos.

2.1. Modelo hidrológico

Modelo é a representação de algum objeto ou sistema numa forma ou linguagem de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas (Cadier et al. 1987). A modelagem hidrológica consiste de descrição, através de métodos matemáticos, dos processos de chuva, interceptação, evaporação, transpiração, infiltração e escoamento superficial. Os modelos de erosão consistem na descrição, através de modelos matemáticos, dos processos de desagregação, transporte e deposição dos sedimentos (Figueiredo, 1998b). Segundo Beven (1989), os modelos, após a calibragem, permitem explorar as implicações de fazer certas hipóteses sobre a natureza do sistema real, e prever o seu comportamento sob circunstâncias que realmente poderiam ocorrer. Para que um modelo seja utilizado adequadamente, se faz necessário a compreensão da estrutura do modelo e suas limitações.

Serão apresentados a seguir alguns conceitos básicos sobre modelos chuva-vazão e modelos de erosão, como também uma breve revisão sobre os diversos aspectos da modelagem destes processos.

2.2. Modelos Hidrológicos de Escoamento e Erosão

O modelo hidrológico é uma ferramenta utilizada para representar os processos que ocorrem na bacia hidrográfica e para prever as conseqüências das diferentes ocorrências em relação aos valores observadas (Tucci, 1998). A modelagem hidrológica permite verificar a consistência das informações disponíveis, que são em geral muito curtas, obtidas a partir das observações hidrológicas nas pequenas bacias. Com base nos dados observados, os modelos hidrológicos podem ser calibrados para uma certa bacia, permitindo, por exemplo, a geração de séries sintéticas.

2.2.1. Classificação dos Modelos

De acordo com Tucci (1998), os modelos classificam-se em: contínuos e discretos; concentrados e distribuídos; estocásticos e determinísticos; conceitual e empírico. Para Fleming & Al Kadhimi (1982) citado por (Galvão, 1990), os modelos matemáticos de simulação hidrológica podem ser classificados como determinísticos e estocásticos.

Um sistema é dito contínuo quando os fenômenos são contínuos no tempo e discreto quando as mudanças de estado se dão em intervalos discretos. Um modelo é concentrado quando não se leva em conta a variabilidade espacial, e distribuído quando as variáveis e os parâmetros do modelo variam com o espaço e/ou o tempo. Segundo Dooge (1973), citado por Tucci (1987), um modelo é determinístico quando, para uma mesma entrada, o sistema produz sempre a mesma saída (devendo as condições iniciais ser exatamente as mesmas para certos sistemas), enquanto que o modelo é estocástico quando o relacionamento entre a entrada e a saída é estatística. Os modelos são ditos conceituais quando as funções utilizadas na sua elaboração levam em consideração os resultados dos processos físicos.

Os modelos conceituais ainda podem ser classificados em semiconceituais (relacionam características do processo, embora mantenham um razoável empirismo nos parâmetros da equação envolvida) e físicos (representam o mecanismo essencial que controlam o processo, incluindo variabilidades espaciais e temporais e podem identificar qual a parte do sistema que mais afeta o resultado). Por outro lado os modelos empíricos são aqueles que são gerados a partir dos dados observados, através de funções que não têm nenhuma relação com os processos físicos envolvidos.

2.2.2 Modelos Chuva-Vazão

Modelos do tipo chuva-vazão são modelos que procuram simular a vazão em uma dada seção, a partir da precipitação conhecida na bacia hidrográfica. Eles foram criados com as seguintes finalidades: melhor entendimento do fenômeno hidrológico na bacia, análise de consistência e preenchimento de falhas, dimensionamento de obras hidráulicas; previsão de cheias e análise das mudanças na resposta da bacia devido as modificações do uso da terra, entre outras. Segundo Tucci (1998), estes modelos surgiram com a necessidade de se obter séries hidrológicas de vazões mais longas e representativas, para diferentes projetos de recursos hídricos.

2.2.2.1 Modelos Empíricos

Os modelos empíricos são baseados em dados observados e fornecem sempre a mesma resposta para a mesma entrada. São obtidos a partir de métodos estatísticos de regressão, análise de correlação e métodos baseados em funções estatísticas. Eles possuem limitações no que diz respeito às mudanças efetuadas na bacia justamente pela falta de significado físico dos seus parâmetros, conforme Bathurst and O'Connel (1992) citado por Figueiredo (1998).

2.2.2.2 Modelos Conceituais Concentrados

Muitos modelos hidrológicos são baseados na representação conceitual dos processos físicos que governam o fluxo de água através do meio poroso do solo e sobre ele. Tais modelos possuem dois tipos de parâmetros: parâmetros ligados às características da bacia (representam propriedades mensuráveis de uma bacia) e parâmetros de processo (representam propriedades que não são diretamente mensuráveis) (Sorooshian & Gupta, 1995).

Devido ao fato de poder incorporar conceitos ligados diretamente aos processos físicos, os modelos chuva-vazão do tipo conceitual determinístico são os mais difundidos e utilizados. Apesar de ter sido dito que estes modelos baseiam-se nos conceitos sobre os processos hidrológicos, eles possuem internamente um conjunto de funções empíricas fazendo com que os mesmos produzam bons resultados para alguns casos não sendo, no entanto, bons modelos para os processos físicos envolvidos, de um modo geral.

Com o advento dos computadores e o desenvolvimento de máquinas cada vez mais velozes foram desenvolvidos inúmeros modelos matemáticos dentre os quais Galvão (1990) cita: SSARR, dos *US Army Corps of Engineers*, o *Stanford Watershed Model*, da Universidade de Stanford, o de Boughton, Austrália, o *Mero Model*, o *Institute of Hydrology Model*, da Grã-Bretanha, entre outros (Fleming, 1982). Segundo Galvão (1990) no Brasil são bastante utilizados o SMAP (Lopes et al., 1981), o IPH II (Tucci et al., 1987), e o MODHAC (Lanna e Schwarzbach, 1989).

Abbott et al. (Beven, 1989) apontam como desvantagem ou limitação dos modelos conceituais concentrados, os seguintes pontos: eles necessitam de observações meteorológicas e hidrológicas relativamente longas para a sua calibração, a previsão dos efeitos das mudanças de uso do solo através da mudança no valor dos parâmetros não poderá ser efetuada com confiança, os modelos não utilizam informações relacionadas à topografia, tipo de solo e variações no tipo da vegetação.

2.2.2.3 Modelos Fundamentais

Os modelos conceituais retratam as condições médias da bacia, sendo as variáveis envolvidas analisadas segundo uma ótica global. Como consequência, os fenômenos são retratados segundo formulações baseadas em parâmetros empíricos (Tucci, 1987). Durante muitos anos, os hidrólogos têm adotado vários modelos concentrados e baseados nas médias sobre a bacia porém, com pouca compreensão dos seus efeitos.

O desenvolvimento de pesquisas que se preocupam com os processos físicos que ocorrem nas bacias fez com que os modeladores procurassem aproximar os modelos da realidade física, o que permitiria uma análise da influência das modificações causadas pela ação antrópica e natural sobre o meio ambiente. Os processos desenvolvidos nas bacias seriam retratados através de equacionamento físico.

Nos modelos conceituais concentrados, os parâmetros são comuns a toda a bacia perdendo-se, com isto, características individuais e próprias de cada parte da bacia. Os modelos físicos que consideram a variação espacial dos parâmetros são denominados de físico-distribuídos. Apesar de representar um grande avanço na modelagem hidrológica este tipo de modelo requer uma quantidade muito grande de informação a respeito da bacia, o que limita a sua aplicação para algumas regiões.

2.2.3 Modelos de Produção de Sedimentos

Produção de sedimento diz respeito ao valor total de sedimento que sai de uma bacia hidrográfica ou de uma bacia de drenagem, medido numa seção de referência em um intervalo de tempo específico (Singh, 1995). O processo de produção de sedimento pode ser dividido em duas grandes categorias: a fase que ocorre nos planos e a fase que ocorre nos canais (Bennet, 1974).

Modelos de produção de sedimentos são representações hipotéticas dos processos físicos que ocorrem durante a erosão e o transporte de sedimentos de uma bacia (Bennet, 1974). Eles podem ser simples como uma equação de regressão ou complexos como os modelos que calculam a produção de escoamento e sedimento nos planos e canais ou em unidade de simulação.

A modelagem da produção de sedimento é bem mais complexa do que os outros tipos de modelagens hidrológicas (chuva, vazão, evaporação, etc). Em se tratando dos processos de erosão, existe uma dependência do modelo de erosão na resposta fornecida pelo modelo hidrológico da vazão. Deve-se observar que os processos de erosão compreendem as fases de desagregação das partículas, transporte e deposição. O resultado final depende de cada uma destas fases e do que acontece em cada um dos elementos da bacia. Por sua vez, essas fases dependem das características da chuva e do desenvolvimento do hidrograma gerado. Caso o modelo hidrológico não consiga reproduzir bem o hidrograma observado, o modelo de erosão também não poderá gerar resultados satisfatórios.

Alguns modelos de erosão foram citados por Lopes (1987), tendo o mesmo os dividido em classe: modelos baseados na USLE (*Universal Soil Loss Equation*) ou MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*) e modelos baseados nos processos físicos. Para o primeiro caso tem-se: PTR (*Pesticide Transport and Runoff*), (Crawford e Donigian , 1973), ACTMO (*Agricultural Chemical Transport Model*), (Frere et al., 1975), ANSWERS (Beasley et al. 1977). Para o segundo caso, tem-se os trabalhos de Bennett (1974), Simons et al. (1992), Smith (1978), Borah et al. (1981) e Smith et al. (1981).

2.2.4 Modelos Empíricos

Modelos empíricos são baseados em observações empíricas. Nestes modelos, a produção de sedimento é relacionada com algum fator que o influencia de forma significativa utilizando para tanto o ajustamento de curvas. Os parâmetros nesses modelos possuem pouco ou nenhum significado físico.

Um dos modelos de perda de solo mais antigo da literatura é o modelo de Musgrave (1947). Ele foi concebido com o propósito de apoio ao planejamento do controle de erosão e considera os efeitos da erodibilidade do solo, da cobertura vegetal, da declividade, do comprimento da superfície e da intensidade da chuva sobre a erosão do solo. A equação de Musgrave é expressa como segue:

$$A = CRS^{1,35} L^{0,35} P_{30}^{1,75} \quad (2.1)$$

onde A é a perda média de solo durante um longo período (acre-in); C é o fator de erodibilidade do solo (in); R é o fator de cobertura de solo; S é a declividade (%); L é o comprimento de rampa (ft), P_{30} é a altura da precipitação (in) de duração de 30 min com tempo de retorno de dois anos.

A USLE (*Universal Soil Loss Equation*) é uma equação similar à equação de Musgrave (1947). Foi inicialmente proposta por Wischmeier e Smith (1960) e depois melhorada (Wischmeier e Smith, 1978). É talvez a equação mais largamente empregada para a prática do planejamento e controle da erosão nos Estados Unidos. O objetivo do seu desenvolvimento foi o de servir como ferramenta para os conservacionistas desenvolverem planos de gerenciamento de áreas agrícolas com a finalidade de controle da erosão e manutenção da produtividade. Ela exprime a ação dos principais fatores que influenciam a erosão do solo, sendo o seu resultado um valor médio anual. As parcelas de erosão utilizadas no desenvolvimento da USLE eram de pequenas dimensões sendo submetidas exclusivamente a processos de erosão hídrica superficial laminar. A USLE é escrita como:

$$A = RKLSCP \quad (2.2)$$

onde A é a perda de solo por unidade de área (t/ha); R é a erosividade combinada da precipitação pluviométrica; K é o fator de erodibilidade do solo; L é o comprimento do declive (m); S é a declividade do terreno (%); C é o fator de cobertura ou controle; P é o fator de práticas conservacionistas.

As principais limitações desta equação foram citadas por Leprun (1981) e Foster (1982) e consistem nas seguintes: a equação não é destinada para estimar a perda de solo por eventos isolados; é uma equação de erosão e conseqüentemente não estima deposição (Wischmeier, 1976); não estima erosão em canais ou em ravinas; aplica-se sobretudo aos cálculos de erosão sobre parcelas experimentais e não sobre terrenos de grandes dimensões; o uso desta equação em zonas semi-áridas exige a consideração de outros critérios.

A USLE foi elaborada para fornecer a produção média anual de sedimentos que ocorreu durante um longo período de tempo. Caso a USLE seja utilizada para eventos isolados os resultados obtidos estarão fora da realidade. Segundo Foster (1982), este comportamento se dá devido ao fato de existir uma grande variação tanto no escoamento como na produção de sedimento que ocorre de evento para evento e que não é considerada. Para tentar solucionar este problema, William modificou a USLE para estimar a produção de sedimentos de eventos individuais de escoamento (Foster, 1982). Isto foi conseguido, substituindo o fator de erosividade R de chuvas da USLE por um outro fator (R_w) relacionado ao volume de escoamento e a vazão de pico do evento. Este novo fator R é dado por:

$$R_w = 9,05(VQ_p)^{0,56} \quad (2.3)$$

onde V é o volume de escoamento (m^3) e Q_p é a vazão de pico (m^3/s).

À nova equação foi dado o nome de USLE Modificada ou MUSLE. Embora a MUSLE assuma que a deposição ocorra na bacia hidrográfica, ela somente fornece uma estimativa do total de sedimentos produzidos e não uma estimativa da produção de classes individuais de partículas.

2.2.5 Modelos Conceituais

Um modelo é dito conceitual, quando as funções utilizadas na sua elaboração levam em consideração os processos físicos. Entre 1890 e 1947, a ciência limitava-se ao entendimento e à descrição qualitativa dos principais fatores que afetam o processo erosivo. Exemplos desse período são os trabalhos de Cook, 1936; Laws, 1940 e Ellison, 1947, citados por Chaves, 1996. Estes autores naquela época já reconheciam a complexidade do processo erosivo, sendo os primeiros a definir os fatores que intervêm no mecanismo, tais como

erodibilidade do solo, erosividade da chuva e da enxurrada, e da proteção da cobertura vegetal. Trabalhos experimentais realizados no Centro-Oeste dos EUA durante o período de 1940 a 1954 resultaram em equações de perda de solo que incluíam os efeitos do comprimento e da declividade da rampa, de práticas conservacionistas e de fatores de solo e uso/manejo.

O *Soil Water Assessment Tool* – SWAT é um exemplo de modelo conceitual desenvolvido pelo *Agricultural Research Service* e pela *Texas A&M University* em 1996 objetivando a análise dos impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade química da água (King et al., 1992).

A produção de sedimento é computada para cada sub-bacia com a *Modified Universal Soil Loss Equation* – MUSLE (Williams & Berndt, 1977).

$$Y = 11,8(Vq_p)^{0,56} KCPELS \quad (2.4)$$

onde:

Y é a produção de sedimento em t,

V é o escoamento de superfície em m³,

q_p é a taxa de escoamento de pico em m³/s,

K é o fator de erodibilidade do solo,

C é o fator de uso e manejo do solo,

PE é o fator de práticas conservacionistas

Podemos ainda citar entre outros modelos conceituais que contribuíram de forma significativa para o desenvolvimento do SWAT: CREAMS (*Chemicals, Runoff and Erosion from Management Systems*) (Knisel, 1980); GLEAMS (*Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems*) (Leonard et al., 1987) e o EPIC (*Erosion-Productivity Impact Calculator*) (Williams et al., 1984).

2.2.6 Modelos Fundamentais

No que diz respeito à erosão, não são muitos os modelos fundamentais que com sucesso modelam este processo. O processo de erosão é bastante complicado de ser modelado e depende de três fatores básicos: topografia, natureza do fluxo, características dos solos e dos sedimentos que o compõe. A combinação destas três características torna a erosão um processo extremamente complexo para ser modelado, em contraste com o processo físico de escoamento.

Foster (1982) e Beven & O'Connell (1982), citado por Figueiredo (1998b), citam as vantagens dos modelos de erosão de base física sobre os outros existentes (empíricos e semiconceituais) como sendo: a técnica de modelagem é baseada na física dos processos, os parâmetros possuem significado físico, a bacia é considerada um sistema espacialmente variável com entradas variáveis e parâmetros mensuráveis, possibilidade da extrapolação para áreas hidrologicamente homogêneas não observada, aplicabilidade onde existem variações na topografia, uso de solo, cobertura vegetal e clima, consideração de áreas mais complexas, melhor precisão na modelagem dos eventos individuais.

Visto que os modelos de base física requerem maiores informações a respeito da bacia, o requisito básico para aplicação dos mesmos seria colher todos os dados necessários para uma boa representação dos processos envolvidos. Esta prática demandaria tempo e recursos, pois seria necessária a coleta de informação em vários locais da bacia. Para contornar este problema, costuma-se coletar os dados imprescindíveis ao modelo e estimar algumas outras variáveis, de acordo com trabalhos disponíveis na literatura. As variáveis características dos processos, que não tiveram seus valores coletados ou estimados serão calibradas de acordo com dados observados.

As equações básicas para representar os processos hidrológicos são as leis básicas da física tais como o princípio da conservação da massa, energia e quantidade de movimento (equações de Saint Venant). A impossibilidade de representar o comportamento dos processos como eles ocorre na prática, como também a limitação em termos computacionais de calcular, em três dimensões, a variabilidade do sistema são alguns dos fatores que têm limitado o desenvolvimento dos modelos distribuídos de base física.

Desde a criação dos primeiros modelos de base física, a literatura especializada tem visto uma série de trabalhos que mostram vantagens e desvantagens dos mesmos. Serão citadas aqui algumas das desvantagens mais freqüentemente observadas: restrição na aplicação deste modelo relacionadas com o problema de escala, calibração, validação e incertezas inerentes aos valores dos parâmetros e da saída fornecida; a necessidade de calibração dos parâmetros, as suposições utilizadas para resolver o sistema de equações geram alguns erros difíceis de serem eliminados. Mesmo os modelos mais complexos precisam de alguma forma de calibração da mesma maneira que os modelos conceituais.

Vários autores têm apontado virtudes e defeitos no emprego desta ferramenta computacional (Foster, 1982; Beven & O'Connell, 1982; Abbott et al., 1986 a, b; Beven, 1989; Galvão, 1990; Figueiredo, 1998).

Mesmo com as desvantagens acima citadas os estudos sobre os modelos de base física têm crescido. Isto acontece devido aos mesmos poderem fornecer, através das suas respostas, um melhor entendimento dos processos hidrossedimentológicos e por poderem representar com uma maior proximidade o desenvolvimento do ciclo hidrossedimentológico. A consideração da variação espacial da bacia e espaço-temporal da precipitação faz com que os mesmos possam ser utilizados para a análise dos impactos causados pelo uso da terra sobre os processos erosivos. O significado físico dos parâmetros permite analisar a variação do comportamento do sistema devido a variação em algum componente do mesmo.

Vários modelos de base física, que calculam a erosão e o transporte de sedimentos, foram desenvolvidos ao longo das últimas décadas. Serão citados a seguir alguns destes modelos:

O modelo CSU (*Colorado State University*) usa um sistema de canais e planos para discretizar a bacia. Calcula a erosão e o transporte de sedimentos separadamente para o fluxo superficial e nos canais, e propaga o fluxo através de um modelo de onda cinemática. O modelo pode representar grandes e pequenas áreas. Alguns parâmetros devem ser calibrados. Serão produzidas distorções nos resultados caso a representação da bacia não seja adequada (Foster, 1982). É, talvez, o primeiro modelo de erosão distribuído e de base física.

O KINEROS - Smith e Woolhiser (1981) incorporaram ao modelo hidrológico de Rovey et al. (1977) componentes de erosão, transporte e deposição. O KINEROS é um modelo distribuído, não linear, onde a bacia é representada por planos retangulares, canais e elementos de armazenamento. Utiliza a equação da continuidade de sedimentos de Bennett (1974) e calcula o desprendimento das partículas pelo impacto das gotas de chuva através da equação de Meyer e Wischmeier (1969). A taxa de erosão nos canais é considerada como proporcional ao déficit da capacidade de transporte, e a deposição é considerada como excesso (ver Lopes, 1987).

O modelo SHE (*Système Hydrologique Européen*) foi desenvolvido por um consórcio europeu de institutos de hidrologia (Bathurst, 1986; Bathurst et al., 1995) e consiste de um modelo distribuído, de base física e cujas equações físicas são resolvidas através de um esquema de diferenças finitas. A bacia é discretizada através de uma grade horizontal e vertical. A sua versão avançada, SHETRAN, considera os processos de erosão, deposição e transporte de sedimento e poluentes. Devido à sua concepção, o modelo requer um grande número de informações e uma estrutura computacional onerosa, sendo uma limitação ao seu uso.

Lopes (1987) utilizando a componente hidráulica do modelo KINEROS e as técnicas de modelagem de erosão, desenvolvidas no âmbito do projeto WEPP, criou o modelo WESP (*Watershed Erosion Simulation Program*). Neste modelo, a bacia é discretizada através de um sistema de planos de escoamento que descarregam em canais de drenagem. É um modelo distribuído, que simula eventos e foi elaborado para ser aplicado a pequenas bacias nas regiões semi-áridas. O modelo só considera perda de água por infiltração não sendo considerada a evaporação. O excesso de infiltração é dado pela equação de Green & Ampt (1911) com tempo de empoçamento calculado para uma chuva não permanente (Chu, 1978). A simplificação pela onda cinemática foi empregada para a equação da quantidade de movimento. O modelo considera erosão por impacto das gotas de chuva e pelo fluxo superficial. Estes processos são considerados não permanentes e variados e são descritos dinamicamente utilizando taxas de erosão e deposição simultaneamente, ao invés da abordagem convencional onde são utilizadas funções de transporte de sedimentos para fluxo permanente.

Apesar do estágio em que se encontra algum destes modelos, eles tentam reproduzir os processos físicos que ocorrem na bacia. Isso é, de alguma maneira, o único caminho que se tem para chegar a resultados mais satisfatórios, tanto para o escoamento superficial quanto para a erosão do solo.

2.3. Efeito de Uso do Solo

A interferência do homem sobre o meio ambiente através da construção de açudes, perímetros irrigados, agricultura e pastagem provoca modificações significativas na superfície do solo.

A agricultura e a pecuária são atividades que estão associadas à retirada e substituição da cobertura vegetal nativa por plantios e pastagens respectivamente. O impacto causado pela retirada da cobertura vegetal, devido ao desmatamento, reflete-se nos parâmetros de infiltração da água no solo, e conseqüentemente, no escoamento superficial.

O valor *CN* do método do SCS (McCuen, 1982), é um parâmetro que está associado ao solo e as condições de uso no cálculo da capacidade de armazenamento de água no solo. Este número, que depende das características e do tipo do uso do solo, pode variar dentro de uma escala que vai de 0 (solo com permeabilidade infinita) a 100 (solo totalmente impermeável). Os solos com florestas apresentam alta capacidade de infiltração (Pritchett, 1979) e, conseqüentemente, a quantidade de escoamento superficial produzida é pequena.

O coeficiente de rugosidade de Manning (*n*) é um parâmetro utilizado no cálculo da velocidade de fluxo que vai afetar o escoamento. Alterações nas condições de cobertura vegetal, causadas principalmente pelo desmatamento, provocam modificações nos valores do coeficiente de rugosidade de Manning e conseqüentemente no processo de escoamento, (Chow, 1959; Shih e Rahi, 1982).

Um estudo realizado por Pickels (1931) citado por Chow (1959), por exemplo, nos canais de drenagem da cidade de Illinois, Estados Unidos, constatou que houve um aumento do coeficiente de rugosidade dos canais devido ao crescimento da vegetação.

Engman (1986) apresentou, em forma tabelar, os coeficientes de rugosidade de Manning para vários tipos de superfícies naturais e agrícolas, avaliados através da análise de hidrogramas observados, oriundos de chuvas simuladas. Outros trabalhos relativos à

avaliação do coeficiente de rugosidade de Manning podem ser encontrados na literatura (Woolhiser, 1975; Huggins, 1966; Foster, 1968; Burman, 1970; Ree, 1977).

O comportamento do escoamento superficial em bacias rurais depende principalmente das características físicas da bacia de drenagem como a declividade, sistema de drenagem e cobertura vegetal.

Os efeitos das alterações nas condições naturais de uso do solo sobre o escoamento podem ser percebidos, principalmente, nas vazões médias e mínimas e no comportamento das enchentes. “Estudos experimentais existentes mostram que existe aumento do escoamento médio em pequenas bacias hidrográficas rurais com o aumento do desmatamento” (Tucci, 1997). A classificação dos principais tipos de alterações do uso do solo é mostrada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1- Classificação Sobre a Mudança e Uso do Solo.

Classificação	Tipo
Mudança da superfície	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desmatamento ▪ Reflorestamento ▪ Impermeabilização
O uso da superfície	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Urbanização ▪ Reflorestamento para exploração sistemática ▪ Desmatamento: extração de madeira, cultura de subsistência; culturas anuais; culturas perenes.
Método de alteração	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Queimada ▪ Manual ▪ Equipamentos

Fonte: Tucci e Clark (1997).

A retirada da vegetação pode provocar alterações também nas precipitações da região, pois ocorre uma redução do volume evaporado devido à diminuição da interceptação vegetal. Bruijnzeel (1996) cita o trabalho de Meher – Homji (1989) onde são mostrados alguns estudos que procuram associar evidências circunstanciais de redução de precipitação associados ao desmatamento. Porém, McCulloch e Robson (1993) afirmam

que não existe nenhuma evidência de que a retirada ou aumento da vegetação afete a precipitação.

Na literatura encontram – se diversos artigos sobre bacias experimentais, que mostram que o desmatamento produz o aumento do escoamento superficial em bacias rurais (Lal, 1983). No entanto, para as bacias de médio e grande porte os efeitos ainda são pouco conhecidos (Tucci e Clarke, 1997).

Na Ásia, Hsia e Koh (1983) analisaram os resultados de duas bacias experimentais, com a mesma declividade (~ 40%), sendo que uma bacia, de 8,39 hectares, permaneceu com condições naturais e a outra bacia, com, 5,86 hectares foi mantida desmatada. Eles constataram o aumento da vazão média após o desmatamento.

A tendência de crescimento da vazão média, devido à diminuição da cobertura da floresta nas pequenas bacias, é uma das conclusões dos estudos experimentais apresentados por Bosch e Hewlett (1882) e por Bruijnzeel (1990).

No entanto, os resultados indicados na literatura foram obtidos considerando apenas pequenas bacias hidrográficas, o que torna difícil realizar um prognóstico para as grandes bacias, devido a fatores como: variabilidade temporal e espacial, da precipitação, tipo de solo, cobertura etc. (Bruijnzeel, 1996).

Burch et al. (1987) analisaram os hidrogramas de duas bacias, uma de 7,8 e outra 5,0 hectares, com vegetação rasteira e floresta respectivamente, e constataram que o efeito da vegetação foi maior nos períodos secos, com eventos de pequena e média intensidade, pois em áreas com vegetação densa as precipitações de baixa intensidade não produzem escoamento.

Modelos hidrológicos, que possam considerar os efeitos das mudanças de uso do solo vêm sendo utilizados por pesquisadores em seus estudos. Hugues e Smakhtin (1998) utilizaram dois modelos de precipitação – vazão em bacias distintas considerando a variabilidade de uso do solo. Concluíram que o comportamento dos modelos foi satisfatório e que os resultados nas simulações correspondiam às modificações introduzidas nos parâmetros.

No Brasil, Figueiredo e Srinivasan (1999) utilizaram o modelo NAVMO para avaliar os impactos causados pelo uso do solo e a influência dos açudes sobre o escoamento na bacia hidrográfica do açude de Sumé. Os diferentes tipos de uso de solo foram

reproduzidos através de três tipos de cenários. No primeiro cenário, que representa o ressurgimento da vegetação foi considerada uma redução de 40% no valor CN e nos outros cenários, que representavam o desmatamento acelerado da caatinga, foram considerados um aumento de 40% do valor CN, no cenário 2, e de 80% no cenário 3. De acordo com os resultados obtidos concluíram que houve um aumento médio de 120% em relação ao volume anual e de 80% em relação às vazões máximas anuais.

2.4. Efeito de Escala

2.4.1 Efeito de Escala sobre Parâmetros Relacionados ao Escoamento Superficial

Alguns estudos realizados demonstraram que a escala da bacia hidrográfica realmente afeta os parâmetros relativos aos processos hidrológicos. Dentre eles, tem-se o estudo de Simanton et al. (1996), os quais encontraram uma relação entre o parâmetro CN do método Curva Número do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos e a área da bacia, utilizando três diferentes métodos em 18 bacias no Estado do Arizona, Estados Unidos. Chegaram a conclusão que o parâmetro CN diminui com a escala da bacia (Figura 2.1). A principal razão atribuída a esse comportamento foi a variabilidade espacial da precipitação e as perdas por infiltração nos canais arenosos presentes nas grandes bacias hidrográficas.

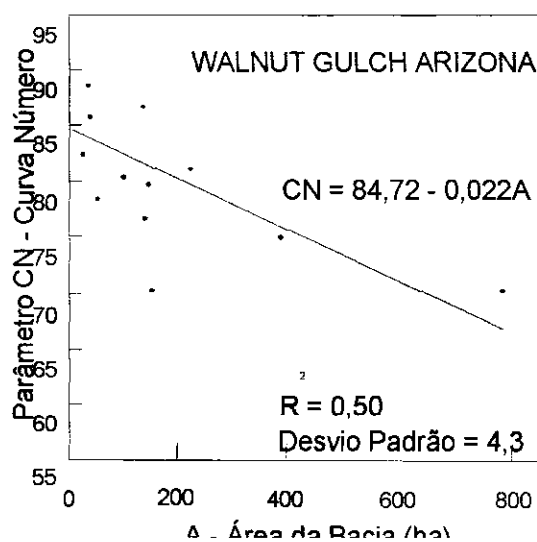


Figura 2.1. Variação do parâmetro CN com a escala da bacia hidrográfica (Simanton et al., 1996).

Figueiredo (1998a) realizou um estudo na Bacia Representativa de Sumé, utilizando o modelo SHETRAN (Bathurst e Purnama, 1991) para a simulação do escoamento superficial, e verificou que o coeficiente de Manning varia com a escala da bacia (Figura 2.2). O aumento do coeficiente de Manning com a escala da bacia pode ser justificado devido ao fato que para as escalas maiores, naturalmente, a rugosidade da superfície é maior, seja pela presença de vegetação ou até mesmo pelo próprio relevo.

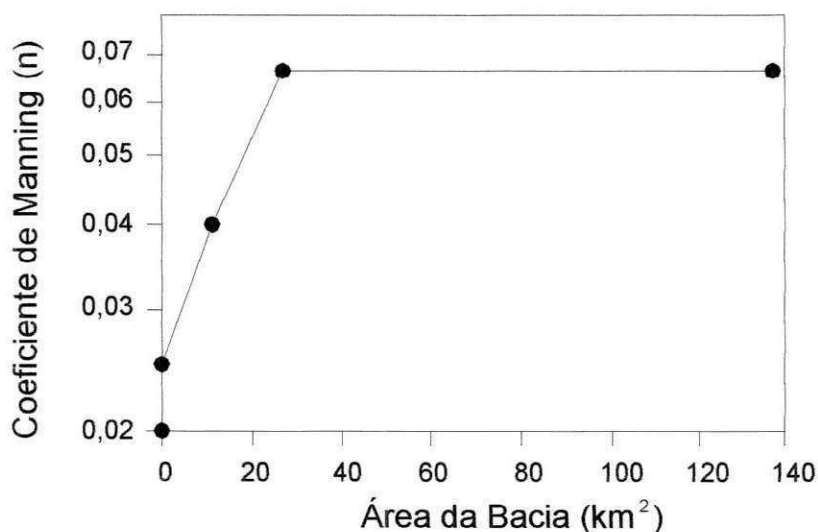


Figura 2.2. Variação do coeficiente de rugosidade de Manning com a área da bacia hidrográfica (Figueiredo, 1998a).

Júnior (2002) realizou um estudo sobre efeito de escala sobre alguns parâmetros do modelo NAVMO (Kleeberg et al., 1989). Também foram utilizados dados da Bacia Representativa de Sumé e da Bacia Experimental de Sumé. Foi encontrado que o parâmetro relacionado ao escoamento superficial, parâmetro alfa, e o parâmetro CN do Método Curva Número do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, sofrem efeito de escala, diminuindo com o aumento da área da bacia hidrográfica. Já o coeficiente de rugosidade de Manning também sofreu variações, aumentando com a escala da bacia.

2.4.2. Efeito de Escala sobre Parâmetros Relacionados à Produção de Sedimentos

Sabe-se que somente uma fração do total de sedimentos erodidos em uma bacia hidrográfica alcança a foz da bacia. A essa fração denomina-se de produção de sedimentos (*Sediment yield*). A razão entre a produção de sedimentos de uma bacia e o total erodido chama-se taxa de entrega de sedimentos (*sediment delivery ratio*). Wade e Heady (1978),

citado por Walling (1983), relataram valores da taxa de entrega de sedimentos entre 0,1% a 37,8%. A magnitude da taxa de entrega de sedimentos de uma bacia particular será influenciada por vários fatores geomorfológicos e ambientais, incluindo a natureza, extensão e localização das fontes de sedimentos, relevo, hidrografia, condições dos canais, vegetação e do uso e tipo de solo.

Figueiredo (1998a) realizou uma pesquisa em relação ao efeito de escala sobre a produção de sedimentos total anual, utilizando dados de parcelas e microbacias da Bacia Experimental de Sumé, e de sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé. Foi encontrado que a produção de sedimentos diminui com o aumento da área da bacia hidrográfica (Figura 2.3).

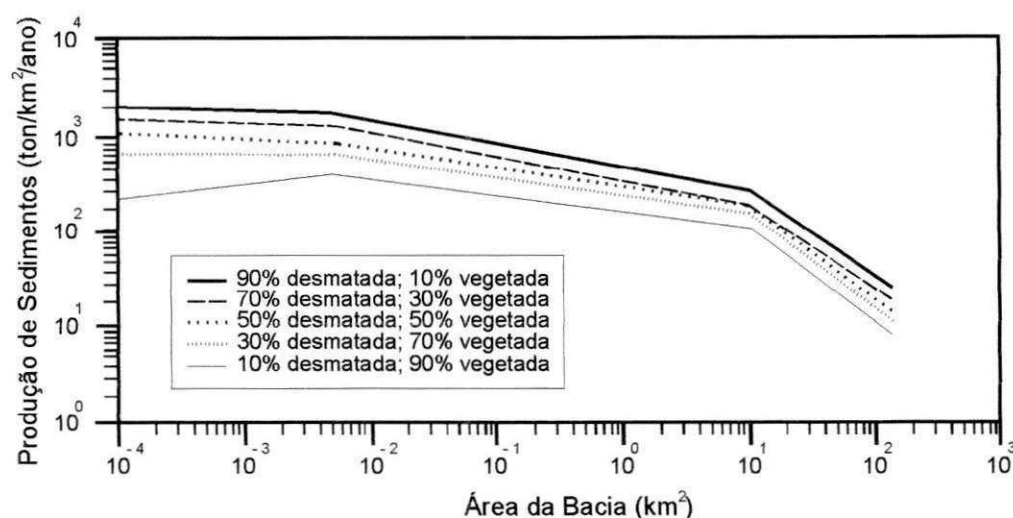


Figura 2.3. Produção de sedimentos versus área da bacia hidrográfica (Figueiredo, 1998a).

Lopes 2003 analisou os valores do parâmetro relacionado à erosão por impacto das gotas de chuva do modelo Kineros2, parâmetro c_f . Percebeu-se que existe efeito de escala sobre este parâmetro. Os estudos de Lopes eram baseados nos dados obtidos em 9 parcelas e 4 microbacias da Bacia Experimental de Sumé (BES) e bacia representativa de Sumé. Para as parcelas desmatadas (parcelas 1 e 4), o intervalo de variação do parâmetro c_f foi de 10^5 a 10^8 . Para as parcelas com vegetal de caatinga, parcelas 5 e 9, o intervalo de variação foi de 10^3 a 10^6 , apresentando normalmente uma notável redução, já que a cobertura vegetal

diminui a erosão por impacto das gotas de chuva. Para parcelas 2 e 3, as quais possuem cobertura morta, a variação do parâmetro c_f foi semelhante ao encontrado para as parcelas desmatadas, variando entre 10^4 a 10^8 . Nas outras parcelas restantes, parcelas 6, 7 e 8, a variação também foi praticamente a mesma encontrada para as parcelas desmatadas, indicando que as plantações de milho, feijão e palma, pouco contribuem para a proteção do solo contra a erosão, talvez devido à pequena densidade de plantas presentes nas parcelas.

Para as microbacias desmatadas, o parâmetro c_f variou de 10^6 a 10^{11} . Para as microbacias com cobertura de caatinga, a variação foi de 10^4 a 10^7 , o que demonstra a efetividade dessa cobertura vegetal na proteção do solo contra a erosão.

Nas simulações da produção de sedimentos nas sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé, o parâmetro c_f assumiu valores ainda maiores do que nas escalas menores. Para a sub-bacia de Umburana, a variação do parâmetro ficou entre 10^{11} e 10^{14} , para a sub-bacia de Jatobá, variou de 10^{12} a 10^{15} . Para a sub-bacia de Gangorra, o parâmetro c_f se apresentou no intervalo de 10^{10} a 10^{13} . Sendo assim, percebe-se claramente que o parâmetro que reflete a erosão do solo por impacto das gotas de chuva sofre efeito de escala, aumentando das escalas menores para as escalas maiores, até a escala da sub-bacia de Jatobá, conforme na Figura 2.6. A diminuição do parâmetro para a sub-bacia de Gangorra merece outros estudos.

Em relação ao parâmetro de capilaridade do modelo Kineros2, parâmetro G , não se pode relacioná-lo com a área da bacia, pois esse é um parâmetro físico que depende do tipo e das condições de umidade do solo. No entanto, foi constatado claramente que também existe efeito de escala sobre esse parâmetro, já que não foi possível calibrar o volume escoado nas sub-bacias simplesmente assumindo um valor médio do potencial efetivo de capilaridade G , como indicado em Woolhiser et al. (1990), baseado nos estudos de Rawls et al. (1983), como foi feito para as parcelas e microbacias. A explicação para esta variação seria a heterogeneidade nas condições do solo dentro de BRS.

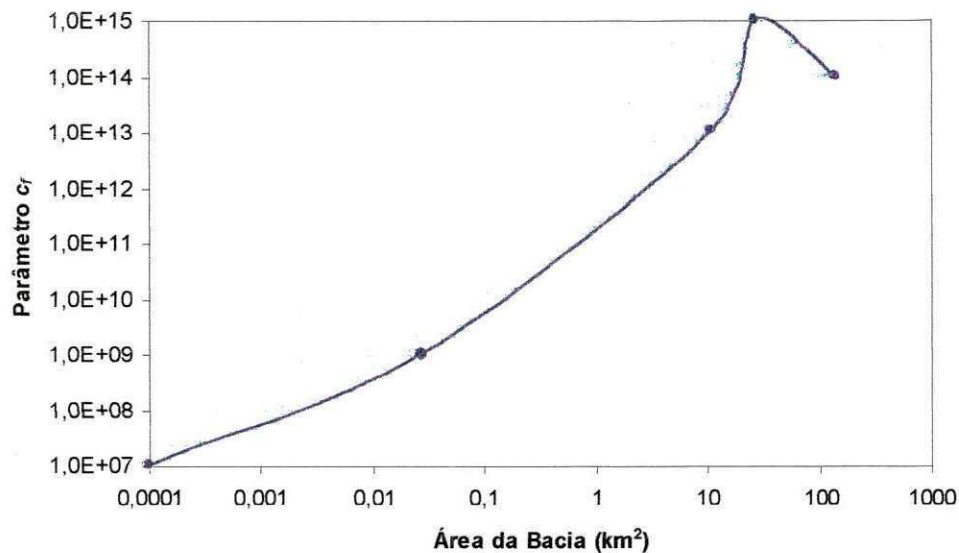


Figura 2.6. Variação do parâmetro c_f com a escala da bacia.

2.5. Considerações finais

Os modelos hidrológicos têm sido desenvolvidos a partir da necessidade de entender melhor o comportamento dos fenômenos hidrológicos que ocorrem em uma bacia hidrográfica, facilitando dessa forma, uma análise quantitativa e qualitativa dos processos do ciclo hidrológico, tais como, precipitação, evaporação, interceptação, infiltração, produção de sedimentos, escoamento superficial e subterrâneo.

Dessa forma, pode-se utilizar um modelo hidrológico para avaliar o comportamento de uma bacia hidrográfica, como, por exemplo, prever as conseqüências de modificações extremas no uso do solo; as vazões decorrentes de determinadas chuvas intensas; o efeito da construção de açudes; o impacto da urbanização de uma bacia; etc.

Um dos mais importantes fatores que deve ser seguido na escolha de um ou outro modelo hidrológico seria a familiaridade do modelador com o modelo utilizado, e a bacia onde o modelo é utilizado. O conhecimento de natureza de variação dos parâmetros tanto com as condições físicas da bacia tanto com a escala, seria fundamental no uso do modelo e obter resultados satisfatórios nas simulações.

CAPÍTULO 3

3.0. O MODELO APLICADO

O modelo utilizado e trabalhado foi o modelo WEPP. Modelo hidrossedimentológico, físico, distribuído, orientado a evento, que simula os processos de infiltração, escoamento superficial e erosão do solo. A bacia é representada no modelo como uma cascata de planos e canais, tanto para o processo de calibração como o processo de simulação. Os resultados do modelo WEPP serão comparados com os resultados obtidos com outros modelos, o WESP e o KINEROS2, ambos de base física similar ao WEPP, aplicados para microbacias experimentais e bacia representativa de Sumé.

3.1. O Modelo WEPP

O WEPP é um pacote de programas computacionais de simulação dos processos de erosão, desenvolvido através de um programa interinstitucional envolvendo diversas instituições norte-americanas: como: USDA e USDI, órgãos governamentais envolvidas na conservação de água e solo. Este pacote teve como objetivo desenvolver uma tecnologia para o planejamento ambiental e a conservação da água e do solo, a fim de permitir a predição dos impactos resultantes de práticas de manejo das terras para produção agrícola, pastagens e áreas florestais na erosão superficial.

O conjunto de programas computacionais do WEPP é de simulação contínua, ou seja, cada processo acontece em sua ordem, onde o fim de um processo dará início a outro processo, o qual prediz a perda de solo (ou a deposição) devido ao escoamento superficial em encostas, a perda de solo ou a deposição de sedimentos devido ao escoamento concentrado em sulcos ou pequenos canais, bem como a deposição de sedimentos em reservatórios.

Além do componente de erosão, o WEPP também inclui um componente climático, o qual usa um gerador de informações climáticas diárias; um componente hidrológico (que é baseado nas equações de Green-Ampt modificada por Mein & Larson para o processo de infiltração e soluções das equações de ondas cinemáticas); um componente de balanço hídrico diário; um componente de crescimento de planta e decomposição de resíduos; e um componente de irrigação. O modelo WEPP calcula as distribuições espacial e temporal da perda de solo e sua deposição, além de fornecer estimativas explícitas de quando e onde, numa determinada bacia hidrográfica ou encosta, está ocorrendo erosão, de forma a possibilitar a adoção de medidas de conservação para controlar a perda de solo e a produção de sedimentos.

Para aplicação do WEPP é necessário o uso de dados climáticos diários, os quais não estão facilmente disponíveis e, em função disto, o modelo utiliza o programa CLIGEN (gerador climático estocástico) para gerar os dados climáticos necessários. Para executar o programa CLIGEN é necessário conhecer 14 parâmetros que descrevem as condições climáticas locais, incluindo: desvio padrão, média e desvio da distribuição em relação à normalidade da quantidade de precipitação mensal por evento, a probabilidade mensal de ocorrência de dias com chuva após dias com chuva e ocorrência de dias sem chuva após dias com chuva, média e desvio padrão das temperaturas máxima e mínima mensal, média e desvio padrão da radiação solar mensal, média mensal da intensidade de precipitação máxima em 30 minutos, média mensal da temperatura do ponto de orvalho e a distribuição estatística do tempo decorrido do início do evento ao pico de intensidade máxima.

Um dos objetivos do WEPP foi desenvolver novas tecnologias de predição da erosão hídrica para conservação da água e do solo. O modelo WEPP divide a erosão do solo em erosão no sulco e entressulcos. A erosão entressulcos envolve desprendimento e transporte do solo pelo impacto da gota da chuva e pelo escoamento de uma lâmina rasa sobre o solo. O processo de erosão no sulco descreve o desprendimento, transporte e deposição nos canais. O desprendimento nos sulcos ocorre somente quando a tensão provocada pelo escoamento excede a resistência interna do solo e a carga de sedimentos é menor do que a capacidade de transporte. Se a carga de sedimentos excede a capacidade de transporte, ocorre a deposição dos mesmos (Bjorneberg et al., 1999). Também é objetivo do WEPP, elaborar uma tecnologia para a conservação da água e do solo, a fim de permitir a

predição dos impactos resultantes de práticas de manejo de terras para produção agrícola, pastagens e áreas florestais. O WEPP inclui os processos hidrológicos fundamentais de precipitação, infiltração e escoamento superficial, além dos processos erosivos básicos de desprendimento, transporte e deposição, tanto em vertentes (hillslope version), como em bacias hidrográficas (watershed version) (Flanagan e Nearing, 1995).

Existe uma versão do WEPP (Hillslope) que é semelhante ao modelo ANSWERS e subdivide a área da erosão em pequenas células, nas quais os parâmetros hidrológicos e erosivos, como tipo de solo, superfície do solo, cobertura do solo e manejo do solo, dentre outros, são considerados uniformes.

Sendo um algoritmo baseado em processos, o WEPP oferece a vantagem de ser facilmente transferível para países tropicais como o Brasil. Essa facilidade se reflete no pequeno número de parâmetros que devem ser calibrados em situações locais e no curto período de tempo necessário para essa calibração. Somente a título de comparação, para que as predições da Equação Universal de Perda de Solo possam ser consideradas seguras, uma série mínima de 22 anos de dados de parcelas é exigida, em função da estabilidade histórica, ou seja, uma série com um total de anos confiável para estudos. Por outro, as séries históricas de apenas um ano são suficientes para o modelo WEPP. Além disso, a grande maioria dos dados exigida pelo WEPP, tal como dados físicos e químicos de solo, alguns dados de manejo, dados climáticos básicos e dados topográficos, é facilmente disponível no Brasil. Esse fato, aliado à rapidez da calibração dos parâmetros específicos, torna o modelo bastante apto para as condições brasileiras. Em sendo semi-determinístico, o modelo requer apenas a calibração de alguns parâmetros, tais como os de erodibilidade. Essa calibração, por sua vez, poderia ser realizada rapidamente, com o emprego de simuladores de chuva Chaves (1996), que não foi o caso deste estudo.

A Figura 3.1 mostra o fluxograma do modelo WEPP, em que está indicada como o modelo se comporta internamente, desde seus dados de entrada passando por toda caracterização da área com seus respectivos valores de coeficientes e das variáveis, até os dados de saída do programa, de cada evento nele gerado.

O WEPPSIE (*WEPP Surface Impoundment Element*) é a ferramenta do modelo na qual encontram-se várias situações de terrenos (sulcos) (Foster e Lane, 1987). Para determinar o impacto do escoamento no sedimento transportado, o usuário necessita saber:

1. Ponto máximo do fluxo e do volume;
2. ponto máximo concentração de sedimento e o total de sedimento produzido;
3. o tempo de encher sulco com sedimento.

Para o programa incorporar estes requisitos em seu código, o WEPPSIE inclui cinco seções: uma interface de frente, entrada diária, simulação hidráulica, simulação de sedimentação e produção diária.

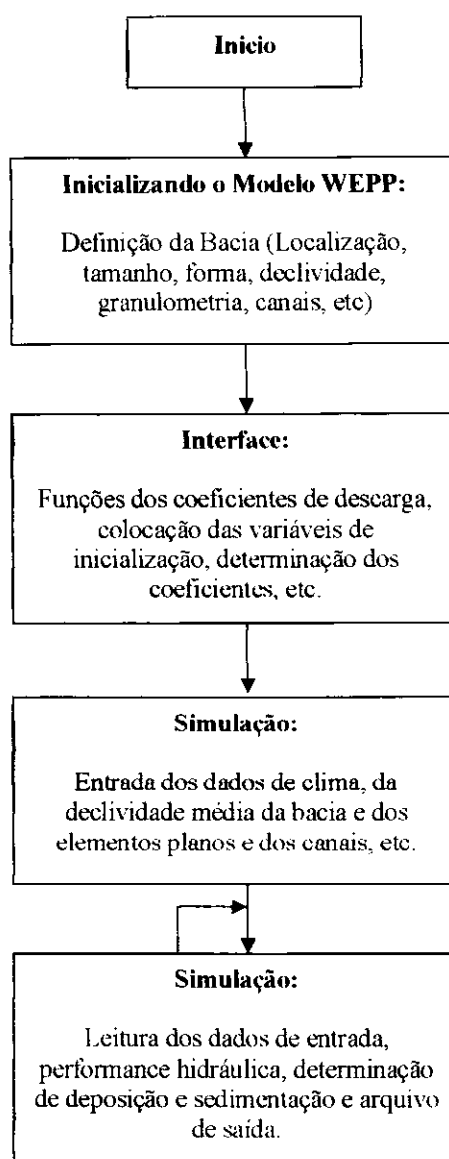


Figura 3.1. Fluxograma para o modelo WEPP.

Para iniciar o modelo WEPP, primeiramente tem-se que definir a bacia, desde se sua localização, forma, declividade, granulometria até seus canais. Diante da localização e da forma da bacia o modelo necessita que se pega a bacia e faz a sua discretização em elementos planos e canais, que terá suas características geométricas com suas respectivas declividades. O valor da porcentagem de entrada da granulometria dar-se através dos ensaios obtidos tanto para as parcelas tanto para as microbacias, onde se armazena os dados em uma pasta chamada "SOIL".

A interface de frente é corrida só uma vez no começo de uma simulação do WEPP. Dentro da interface de frente, os coeficientes de relacionamentos contínuos, ou seja, os coeficientes relacionados com área, tamanho das partículas e cobertura vegetal, são determinados e informados ao programa. A seção de entrada de WEPPSIE recebe entradas hidráulicas diárias e entradas de sedimentológicas dos elementos planos e canais. Essas entradas hidráulicas como definido pela convenção do WEPP consiste em volume precipitado e o índice escoado no hidrograma.

As entradas de sedimento incluem total concentração suspensa de sedimento em cada classe de tamanho de partícula. As divisões de classe de tamanho são baseadas sobre o critério de CREMES (Foster et al., 1985; USDA, 1980) e o diâmetro mediano da partícula. A seção de simulação de sedimentação determina a quantidade de sedimento depositado e a concentração de fluxo para cada intervalo de tempo. A deposição e concentração de sedimento são calculadas usando a conservação da massa.

3.2. Cálculo de Infiltração no modelo

Green-Ampt (1911) desenvolveram um modelo físico que exprime a infiltração em função da condutividade hidráulica do solo saturado, do potencial matricial do solo antes do início da infiltração e das umidades inicial e de saturação do mesmo, e não do tempo de ocorrência do processo. Por se basear numa análise física do processo, exprimindo a infiltração em função de parâmetros físicos do solo e não do tempo de ocorrência do processo, e por apresentar bons resultados na predição da infiltração, o modelo de Green-Ampt destaca-se dos demais, sendo hoje um dos modelos mais utilizados para sua descrição.

A equação de Green-Ampt é uma das equações de infiltração mais antigas citadas na literatura. Está baseada em uma série de experiências de laboratório em colunas de solo, mas a equação tem uma base teórica e é de uso geral. Uma vantagem da equação de Green-Ampt em relação às soluções numéricas da equação de Richards é que não há nenhum problema de estabilidade em sua solução, sendo muito mais fácil aplicá-la do que a solução numérica da equação de Richards (Nearing, 1995).

A equação de Green Ampt (1911), com a modificação proposta por Mein & Larson (1973) para modelar a infiltração durante uma chuva permanente, assume a seguinte forma:

$$f_c = K_e t_c + \Psi \theta_d \ln \left[1 + \frac{f_c}{\Psi \theta_d} \right] \quad (3.1)$$

onde f_c é a taxa de infiltração (m/s), K_e é a condutividade hidráulica saturada (mm/h), t_c é a correção da diferença entre o tempo instantâneo e o tempo atual de empoçamento, θ_d é o déficit de umidade na mistura de solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e Ψ é o potencial capilar médio (m).

Desta forma o índice médio de infiltração, f_i ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), para um intervalo é calculado como

$$f_i = \frac{F_i - F_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \quad (3.2)$$

onde o subscrito i e $i-1$ refere à intervalos correntes e prévios de tempo respectivamente, F é a profundidade cumulativa de infiltração (m), e t é o tempo (s). A infiltração cumulativa é calculada usando o modelo de Mein e Larson (1973), e o de Green-Ampt Mein-Larson (GAML) como apresentado por Chu (1978) para o caso de intensidade de chuva incidente em um determinado ponto de alagamento.

Uma desvantagem da utilização do modelo de Green-Ampt reside no fato de que seus parâmetros de entrada não representam fielmente as condições reais de ocorrência da infiltração; entretanto, diversos autores propõem metodologias para a adequação destes parâmetros a fim de melhorar os resultados obtidos com a utilização deste modelo. De acordo com Williams (1984), o Serviço de Pesquisa Agrícola do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos tem realizado extensos trabalhos para desenvolver relações empíricas para a obtenção de parâmetros para a equação de Green-Ampt. Uma das

vantagens da equação de Green-Ampt é sua aplicabilidade em diferentes condições iniciais e perfil do solo (Chu, 1978).

A equação de Green-Ampt foi desenvolvida considerando-se que, desde o início do processo de infiltração, a superfície do solo se encontra saturada e que existe uma carga hidráulica sobre a superfície do solo. Esta situação, entretanto, não corresponde às condições de infiltração que ocorrem sob condições de precipitação, pois deveria haver antes a saturação da camada próxima à superfície e o empoçamento de água sobre a superfície do solo.

Chu (1978) calculou um indicador, C_u (m), pelo qual determina, se esse ponto de empoçamento ocorre dentro de um intervalo dado de intensidade chuva, não tendo ocorrido em nenhum ponto do elemento, no começo do intervalo, o empoçamento. Se C_u é positivo, o empoçamento ocorre dentro do intervalo. Neste caso, o tempo para o empoçamento dentro do intervalo é calculado e a partir daí começa o escoamento superficial. Se for negativo, não há excesso da precipitação gerada no intervalo. O indicador é dado por:

$$C_u = R_i - V_i - \left[\frac{K_e \Psi \theta_d}{r_{i-1} - K_e} \right] \quad (3.3)$$

onde R é a altura da chuva acumulada (m), V é a altura do excesso de chuva acumulada (m), K_e é a condutividade hidráulica efetiva saturada (m/s), Ψ é o potencial capilar médio (m), θ_d é o déficit de umidade na mistura de solo (m/m), e r é a taxa de chuva média (m/s). O déficit de umidade na mistura de solo é calculado como:

$$\theta_d = \eta_e - \theta_v \quad (3.4)$$

Onde η_e é a porosidade efetiva (m/m) e θ_v é o conteúdo volumétrico inicial da água por unidade de área (m/m). A altura de excesso de chuva acumulado é calculada por

$$V_i = R_i - F_i \quad (3.5)$$

O indicador para o fim de alagamento no elemento durante um intervalo, admitindo que a superfície estava alagada no início do intervalo, é dado por:

$$C_p = R_i - F_i - V_i \quad (3.6)$$

C_p (m) é positivo para o caso de alagamento contínuo e negativo para alagamento cessado no intervalo. Quando o excesso da chuva termina dentro do citado intervalo, a infiltração acumulada é calculada como:

$$F_I = R_i - V_{i-1} \quad (3.7)$$

3.3. Escoamento sobre os Planos

Visto em uma escala muito pequena, o fluxo nos planos é um processo tridimensional extremamente complexo. Numa escala maior, entretanto, pode ser visto como um processo unidimensional onde se pode aplicar a seguinte equação:

$$q = \alpha h^m \quad (3.8)$$

onde q é a descarga por unidade de largura (m^2/s) e h é o volume de água armazenado por unidade da área (m). Os parâmetros α e m são dados por: α é $C(S_0)^{0.5}$ onde C é o coeficiente de Chezy ($m^{0.5}/s$) e S_0 é a declividade e m é igual a 1,5.

A Eq. (3.8) é utilizada juntamente com a equação da continuidade:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = v \quad (3.9)$$

Onde t é o tempo (s), x é a distância ao longo do sentido da declividade, e v é o excesso de precipitação (m/s).

Para o modelamento do fluxo nos planos, a Eq. (3.8) é substituída na Eq. (3.9), onde se obtém:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \alpha m h^{m-1} \frac{\partial h}{\partial x} = v \quad (3.10)$$

3.3.1. Fluxo nos Canais

A equação da continuidade para um canal com entrada lateral de fluxo é:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = Q \quad (3.11)$$

onde A é a área da seção transversal (m^2), q é a vazão no canal (m^3/s), e o Q é o fluxo lateral por unidade de comprimento do canal (m^2/s). A relação entre a vazão no canal e a área de sua seção transversal é dada por:

$$Q = \alpha R^{m-1} A \quad (3.12)$$

onde R é o raio hidráulico (m), α é $C(S_0)^{0,5}$ sendo S_0 é a declividade e C é o coeficiente de Chezy e m é igual a 1,5.

As equações cinemáticas de fluxo para os canais são resolvidas por uma técnica implícita definida em quatro pontos similar àquela para o fluxo nos planos, com a diferença que a incógnita agora é a área A e não a profundidade do fluxo h , e que as mudanças geométricas devido à variação da profundidade devem ser consideradas.

3.3.2 Erosão nos Planos e Canais

Na modelagem para predição da erosão pelo programa WEPP, é utilizada a equação da continuidade para quantificação do transporte de sedimentos numa área, considerando-se condições de regime permanente, ou seja:

$$\frac{dG}{dx} = D_i + D_r \quad (3.13)$$

em que

G = carga de sedimentos, $M T^{-1} L^{-2}$;

x = comprimento da encosta, L;

D_i = taxa de erosão de sedimentos nas áreas planas (entre sulcos) $M T^{-1} L^{-2}$; e

D_r = taxa de liberação de sedimentos nos sulcos ou canais, $M T^{-1} L^{-2}$.

A liberação de sedimentos nos canais é considerada independente de x e é sempre positiva. A erosão nos planos é positiva para desprendimento e negativa para deposição de sedimentos.

A taxa de liberação de sedimentos em áreas nos planos (D_i), usada nesse programa, pode ser calculada pela equação 3.14, proposta por Flanagan e Nearing (1995).

$$D_i = C_i K_i S_f I_p^2 G_e \quad (3.14)$$

em que

C_i = parâmetro que considera o efeito da cobertura vegetal na erosão dos canais, adimensional;

K_i = parâmetro que caracteriza a erodibilidade do solo nos planos, MTL^4 ;

I_p = intensidade de precipitação, $L T^{-1}$;

G_e = parâmetro que considera o efeito da cobertura do solo para erosão; e

S_f = declividade de linha de atrito $L L^{-1}$, calculado em função da declividade da superfície e propriedades do fluxo.

A taxa de liberação de sedimentos em sulcos ou pequenos canais (D_r) é calculado para os casos em que a tensão cisalhante do escoamento exceder a tensão cisalhante crítica do solo e quando a carga de sedimentos for menor que a capacidade de transporte do escoamento. O valor de D_r pode ser obtido utilizando-se a equação apresentada por Tiscareno Lopez et al. (1994):

$$D_r = C_r K_r (\tau - \tau_c) \left(1 - \frac{G}{T_c} \right) \quad (3.15)$$

em que

C_r = fator que considera a cobertura existente no plano, adimensional;

K_r = parâmetro que caracteriza a erodibilidade do solo nos canais, $T L^{-1}$;

τ = tensão cisalhante atuando nas partículas de solo em decorrência do escoamento, $ML^{-2} T^{-1}$;

- τ_c = tensão cisalhante necessária para a ocorrência da liberação de partículas, $M L^{-2} T^{-1}$ calculado internamente pelo programa em função da granulometria e
- T_c = capacidade de transporte de sedimentos pelo escoamento, $M L^{-1} T^{-1}$.

A velocidade de queda (V_f) da partícula é calculada através da relação seguinte:

$$V_f = \frac{D_r Q}{\beta(T_c - G)} \quad (3.16)$$

A capacidade de transporte de sedimento assim como a carga de sedimento é calculada numa base de largura do elemento plano, ou seja, por unidade de largura do rill. A carga de sedimento é convertida a uma base de largura de campo quando os cálculos são completados. A capacidade de transporte, T_c , em função de fluxo da tensão de cisalhamento é calculado usando uma equação simplificada de transporte da forma:

$$T_c = K_t \tau_f^{3/2} \quad (3.17)$$

Onde τ_f é a tensão de cisalhamento do solo (Pa), K_t é um coeficiente de transporte ($m^{0.5} \cdot s^2 \cdot kg^{-0.5}$) e a capacidade de transporte é calculada pela equação modificada de Yalin (1963).

A equação de Yalin para sedimento de não uniforme foi descrita por Foster (1982). Essas equações foram modificadas em dois meios, com o objetivo de melhorar a representação entre as diferenças na capacidade de transporte com as características de tamanho de partícula do solo. Estas modificações são baseadas em prova extensa do modelo de WEPP para um alcance grande de tipos diferentes de solo e dados medidos de erosão de campo.

Para a aplicação da equação de Yalin como descrito por Foster (1982), a capacidade de transporte de sedimento para cada uma das classes de tamanho de partícula do solo são somadas para obter a capacidade total de transporte de sedimento. Usando este método existe uma diferença pequena nas características calculadas de sedimento, que foram limitadas na densidade e para diâmetro dos agregado. Em outras palavras, dois solos com

sedimento vastamente diferente calculam suas distribuições, mas com essencialmente o mesmo tamanho e densidade de agregado, teriam diferença pequena na capacidade total de transporte de sedimento. A modificação incluída no WEPP usa uma média ponderada da capacidade de transporte de sedimento para cada classe de tamanho de partícula, onde está é função da fração de massa de sedimento dentro de cada classe.

3.4. Parâmetros de Entrada do Modelo WEPP

3.4.1. Parâmetros Globais

1. **Units:** sistema de unidades utilizado para todos os parâmetros (métrico ou inglês);
2. **Clen:** comprimento característico, cujo valor é dado pelo comprimento do maior canal ou da maior cascata de planos.
3. **Temperature:** temperatura em graus Celsius ou Fahrenheit
4. **Diameters:** diâmetros representativos das partículas do solo, em milímetros ou polegadas. Limite máximo de cinco classes;
5. **Densities:** valores das massas específicas dos diâmetros das classes acima determinadas;

3.4.2. Parâmetros dos Planos

1. **Identifier:** número de identificação do plano;
2. **Upstream:** número de identificação do plano a montante (se houver);
3. **Length:** comprimento (metros ou pés);
4. **Width:** largura (metros ou pés);
5. **Slope:** declividade;
6. **Manning:** coeficiente de Manning;
7. **Chezy:** coeficiente de Chezy;
8. **Interception:** interceptação vegetal (milímetros ou polegadas)
9. **Canopy Cover:** fração da superfície ocupada por vegetação

10. **Saturation**: saturação inicial relativa do solo, razão entre a umidade inicial e porosidade do solo;

11. **K_e** : condutividade hidráulica saturada efetiva (mm/h ou polegadas/h);

12. **Distribution (λ)**: índice de distribuição do tamanho dos poros (índice de Brooks e Corey);

13. **Porosity**: porosidade do solo;

14. **Rock**: fração volumétrica de rochas. Se a permeabilidade é estimada com base na textura do solo, ela deve ser multiplicada por “1- Rock”, para considerar esse volume de rochas;

15. **Cohesion** : coeficiente de coesão do solo;

16. **Fractions**: fração de cada classe de diâmetros representativos do solo.

3.4.3. Parâmetros dos Canais

1. **Upstream**: número de identificação do elemento (plano ou canal) à montante;

2. **Lateral**: número de identificação dos planos que contribuem lateralmente para o canal;

3. **Length**: comprimento (metros ou pés);

4. **Width**: largura da base (metros ou pés);

5. **Slope**: declividade;

6. **Manning**: coeficiente de Manning;

7. **Chezy**: coeficiente de Chezy;

8. **SS1, SS2**: declividades laterais;

9. **Saturation**: saturação inicial relativa do solo, razão entre a umidade inicial e porosidade do solo;

10. **K_e** : condutividade hidráulica saturada efetiva (mm/h ou polegadas/h);

11. **Distribution (λ)**: índice de distribuição do tamanho dos poros (índice de Brooks e Corey);

12. **Porosity**: porosidade do solo;

13. **Rock**: fração volumétrica de rochas. Se a permeabilidade é estimada com base na textura do solo, ela deve ser multiplicada por “1- Rock”, para considerar esse volume de rochas;

14. **Cohesion**: coeficiente de coesão do solo;

15. **Fractions**: fração de cada classe de diâmetros representativos do solo.

CAPÍTULO 4

4.0. INSTALAÇÕES EXPERIMENTAIS E COLETAS DE DADOS

4.1. Considerações Gerais

Os dados de campo utilizados neste trabalho foram coletados na Bacia Representativa de Sumé (BRS), na Bacia Experimental de Sumé (BES) e na Bacia Experimental de São João do Cariri (BESJC). A BRS está localizada próxima à cidade de Sumé, no Estado da Paraíba (Figura 4.1).

Os estudos na Bacia Representativa de Sumé foram iniciados pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) no começo da década de 1970 (Cadier e Freitas, 1982). A bacia foi escolhida como representativa devido ao fato de seu solo, relevo, vegetação e clima serem semelhantes aos que são encontrados numa grande área do Nordeste do Brasil (Figura 4.2). A instalação da Bacia Representativa de Sumé foi muito importante para conhecer as relações hidrológicas básicas da região, no entanto, nada podia se afirmar sobre a produção de sedimentos. Para superar esta deficiência e obter dados hidrossedimentológicos confiáveis, foi instalada a Bacia Experimental de Sumé dentro dos limites da Bacia Representativa de Sumé, com o objetivo de obter um melhor entendimento dos processos hidrossedimentológicos que ocorrem no semi-árido nordestino, visto que essa área é hidrológicamente representativa de parte do Nordeste brasileiro (Cadier e Freitas, 1982).

No ano de 1982 foi firmado um acordo entre a SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste) e a UFCG (antiga UFPB - campus II) para incluir a pesquisa dentro do Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para o Nordeste (PDCT/NE), financiado pelo CNPq e pelo Banco Interamericano de

Desenvolvimento (BID). A campanha de 1983 ainda foi realizada pela SUDENE, com a integração da equipe da Área de Recursos Hídricos da UFCG, que assumiu a condução da pesquisa em 1984.

A Tabela 4.1 mostra algumas características da Bacia Representativa de Sumé, bem como de suas sub-bacias.

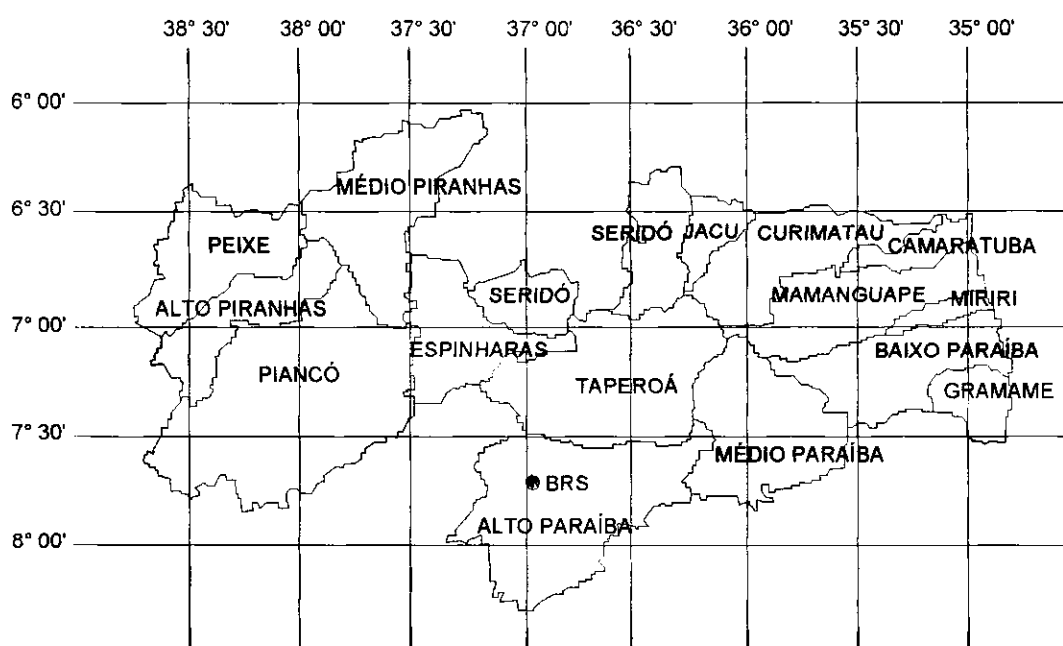


Figura 4.1. Localização da Bacia Representativa de Sumé no Estado da Paraíba (divisão por bacias hidrográficas).

Tabela 4.1. Características da Bacia Representativa de Sumé.

Bacia	Área (km ²)	Perímetro (km)	Declividade (m/km)	Densidade de drenagem (km/km ²)	Altitude (m)
BRS (Gangorra)	137,4	69,5	3,94	2,30	592
Umburana	10,7	18,2	6,79	1,86	588
Jatobá	26,8	28,5	9,33	1,28	651

4.2. A Bacia Representativa de Sumé.

Localização

A Bacia Representativa de Sumé está localizada na sub-bacia do Alto Paraíba, próxima a cidade de Sumé no Estado da Paraíba, numa latitude aproximada de $7^{\circ}40'$ Sul e longitude aproximada de $37^{\circ}00'$ Oeste (Cadier e Freitas, 1982).

A Bacia Experimental de Sumé (BES), estava inserida na Bacia Representativa de Sumé, localizada na propriedade Fazenda Nova, no município de Sumé, Estado da Paraíba (Figura 4.1). Atualmente a BES está desativada. Situava-se na altura do km 118 da BR-412, entre as cidades de Sumé e Monteiro. Encontrava-se numa latitude de $7^{\circ}44'$ Sul e longitude $36^{\circ}57'$ Oeste (Cadier et al., 1983). Esta região, uma das mais secas do Nordeste do Brasil, é denominada Cariris Velhos, ou apenas Cariri. A Figura 4.2 mostra as áreas hidrologicamente semelhantes à BRS.

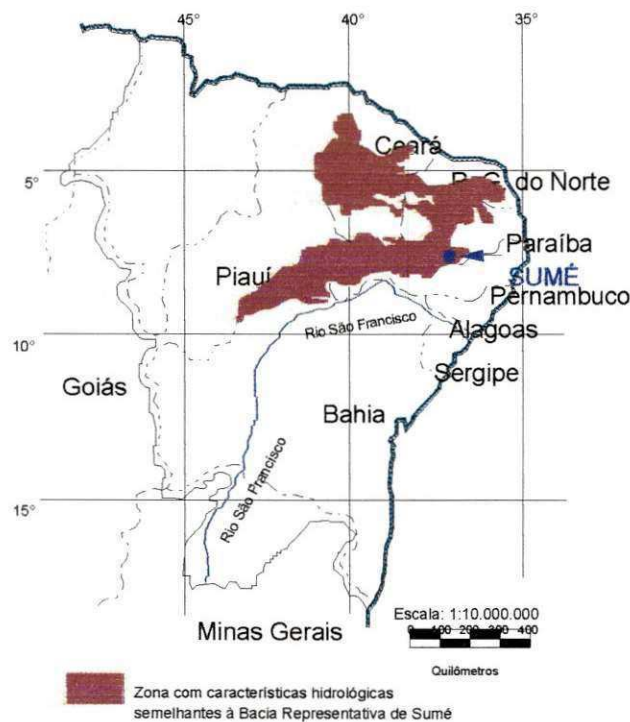


Figura 4.2. Área hidrologicamente semelhante à Bacia Representativa de Sumé (Cadier e Freitas, 1982).

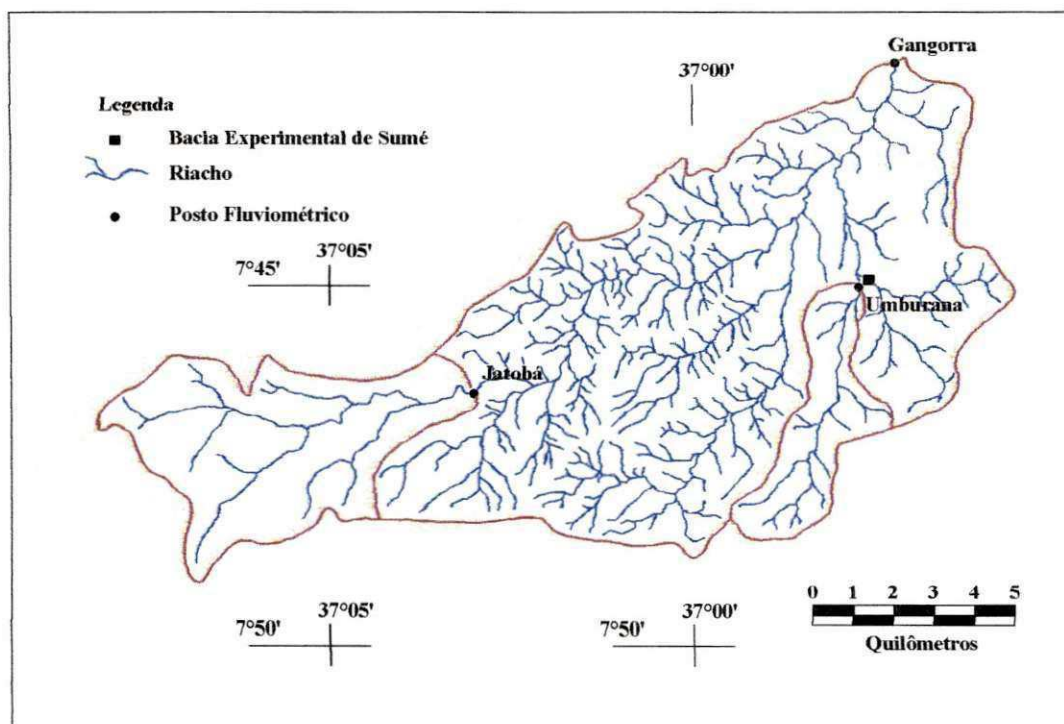


Figura 4.3. Hidrografia da Bacia Representativa de Sumé e localização da Bacia Experimental de Sumé.

Características Físico-Climáticas da Bacia Representativa de Sumé

Clima

A precipitação média anual varia entre 550 e 600 mm, com decenal seca igual a 300 mm e decenal úmida igual a 900 mm. O período mais chuvoso é centralizado entre 15 de fevereiro e 20 de abril, com período chuvoso entre janeiro-junho. A precipitação em 24 h ultrapassada 5 vezes por ano é igual a 30 mm, 1 vez por ano é igual a 61 mm, 1 vez a cada 10 anos é igual a 107 mm, 1 vez a cada 100 anos é igual a 159 mm (Cadier e Freitas., 1982).

A temperatura média anual varia entre 23 e 27°C com amplitudes térmicas diárias de 10°C. A insolação apresenta uma média anual igual a 2800 horas enquanto que a

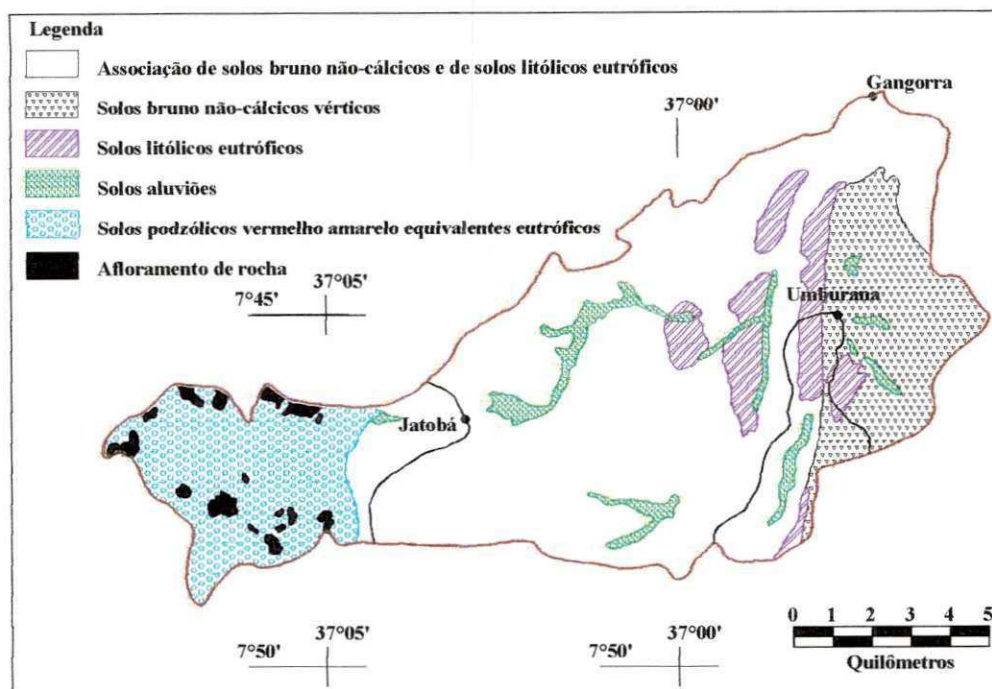


Figura 4.4. Mapa de Solos da Bacia Representativa de Sumé.

O solo mais abundante do sertão nordestino é o bruno não-cálcico vértico, constituindo cerca de 15% da superfície do polígono das secas. Este solo representa mais de 85% da superfície da Bacia Experimental de Sumé. Os outros 15% restantes são compostos por manchas de solos bruno não-cálcico modais associados a raros vertissolos. Os solos são rasos, com espessura variando de alguns decímetros a pouco mais de 1m. A Tabela 4.2 apresenta algumas propriedades dos solos dominantes na Bacia Representativa de Sumé (Figueiredo, 1998a).

Relevo

O relevo varia de ondulado a pouco ondulado, com declividade média inferior a 10% (Figura 4.5).

Vegetação

A vegetação predominante é a caatinga hiperxerófila densa, semelhante à vegetação de toda a região dos Cariris Velhos. Entre as espécies mais significativas, temos o Xiquexique (*Cereus Gounellei*), Mandacaru (*Cereus Jamacaru*), Braúna (*Schinopsis*

Brasiliensis), Favela (*Jatropha Phillacantha*), Quixaba (*Bumelia Sertorum*), Aroeira (*Astonium Urundeva*), Umbuzeiro (*Ipodias Tuberosa*), Pinhão (*Jatropha Curcas*), Macambira (*Bromélia Laciniosa*), Marmeleiro (*Cróton Hemyargyreus*) e Caatingueira (*Caesalpinia Pyramidalis*) (Cadier e Freitas, 1982).

Existem também plantações de feijão, milho e algodão principalmente nas áreas de solos podzólicos, onde estes cultivos cobrem mais de 50% dessa área, enquanto que para as outras áreas da BRS esses cultivos são desprezíveis do ponto de vista quantitativo, desenvolvendo-se basicamente em faixas aluviais (Cadier e Freitas, 1982).

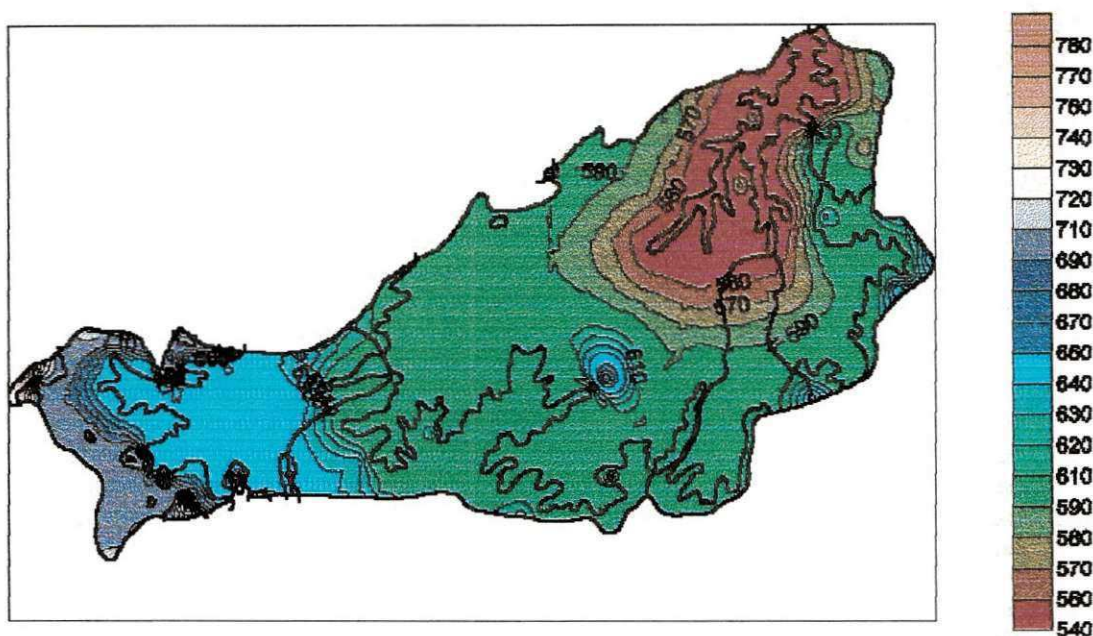


Figura 4.5. Mapa de Relevo da Bacia Representativa de Sumé.

Dados Utilizados

Foram utilizados dados instantâneos de nove eventos de escoamento superficial e precipitação, três para cada bacia. Estas são as únicas cheias para as quais existem dados disponíveis. São eles: (a) Umburana: cheia nº 01 (30/04 a 01/05/1977); cheia nº 09 (06/03 a 07/03/1978) e cheia nº 11 (11/03 a 12/03/1978); (b) Jatobá: cheia nº 11 (15/03 a 16/03/1978); cheia nº 16 (27/03 a 28/03/1979) e cheia nº 19 (12/02 a 13/02/1980) e (c) Gangorra: cheia nº 06 (31/03 a 01/04/1976); cheia nº 07 (22/01 a 23/01/1977) e cheia nº 13

(01/05 a 02/05/1977). A Tabela 4.3 mostra o valor total da chuva e do escoamento superficial para cada evento de cheia.

Existia na Bacia Representativa de Sumé um conjunto de 36 pluviômetros e 5 pluviógrafos. No entanto, só estão disponíveis dados de precipitação média instantânea sobre toda a BRS, ou seja, na simulação do escoamento superficial para todas as três sub-bacias foi considerado que a chuva tivesse distribuição espacial uniforme sobre toda a bacia.

Tabela 4.2. Propriedades dos Solos Dominantes na Bacia Representativa de Sumé (Figueiredo, 1998a).

Propriedades	Horizonte A	Horizonte B	Referências
a) Faixa do diâmetro do Solo			
>20 mm	4,10%	0,00%	Cadier e Freitas (1982)
2 – 20 mm	8,30%	1,50%	
0,20 – 2 mm	21,90%	29,50%	
0,05 – 0,2 mm	28,30%	20,70%	
0,002 – 0,05 mm	21,90%	15,80%	
<0,002 mm	15,80%	32,50%	
b) Densidade			
	1,74 kg/m	1,80 kg/m	Cadier e Freitas (1982)
	1,38 kg/m	1,34 kg/m	Molinier et al. (1989a)
	1,52 kg/m	1,56 kg/m	Montenegro e Silans (1991)
c) Porosidade	0,48	0,497	Molinier et al. (1989a)
d) Quantidade de água			
Na saturação	0,28 m ³ /m ³	0,375 m ³ /m ³	Molinier et al. (1989a)
	0,30 m ³ /m ³	0,340 m ³ /m ³	Montenegro e Silans (1991)
No ponto de murcha	0,058 m ³ /m ³	0,084 m ³ /m ³	Cadier e Freitas (1982)
	0,133 m ³ /m ³	0,153 m ³ /m ³	Molinier et al. (1989a)
Na capacidade de campo	0,018 m ³ /m ³	0,190 m ³ /m ³	Cadier e Freitas (1982)
	0,183 m ³ /m ³	0,198 m ³ /m ³	Molinier et al. (1989a)
	0,163 m ³ /m ³	0,221 m ³ /m ³	Montenegro e Silans (1991)
a 10 kPa	0,245 m ³ /m ³	0,326 m ³ /m ³	Molinier et al. (1989a)
	0,188 m ³ /m ³	0,238 m ³ /m ³	Montenegro e Silans (1991)
Residual	0,022 m ³ /m ³	0,028 m ³ /m ³	Molinier et al. (1989a)
	0,014 m ³ /m ³	0,047 m ³ /m ³	Montenegro e Silans (1991)
e) Condutividade hidráulica			
	26,0 mm/h	-	Cadier e Freitas (1982)
	0,588 mm/h	0,546 mm/h	Molinier et al. (1988)
	0,500 mm/h	0,500 mm/h	Molinier et al. (1989b)
	25,0 mm/h	3,0 mm/h	Montenegro e Silans (1991)

Tabela 4.3. Lâminas precipitadas e escoadas nas bacias da BRS.

Cheia	Bacia	P(mm)	L_o(mm)
1	Umburana	112,9	68,00
9	Umburana	37,0	11,40
11	Umburana	50,0	6,11
11	Jatobá	13,8	2,41
16	Jatobá	102,8	7,09
19	Jatobá	73,0	2,86
6	Gangorra	62,0	4,68
7	Gangorra	57,7	1,17
13	Gangorra	32,1	7,02

4.3. A bacia experimental de Sumé e suas instalações.

As instalações da Bacia Experimental de Sumé são formadas por quatro microbacias com áreas entre 0,5 e 1 ha, caracterizando a topografia do terreno e a cobertura vegetal, nove parcelas experimentais de 100 m², operadas sob chuva natural. Duas das microbacias estão localizadas em área com cobertura nativa de caatinga, estando as outras duas microbacias localizadas numa área onde a cobertura vegetal foi completamente removida. As microbacias e parcelas experimentais apresentam entre si diversas condições topográficas e de manejo e uso do solo. Além dos dados de escoamento superficial foram coletadas amostras padronizadas para estimativa da quantidade de sedimentos transportados pelo fluxo. Uma estação climatológica, uma rede de cinco pluviômetros (P49, P51, P52, P53, P57) e três pluviógrafos (PG49, PG53, PG57) e um abrigo para técnicos também faziam parte destas instalações (Srinivasan e Galvão, 1990). A Figura 4.6 mostra o croqui das instalações da Bacia Experimental de Sumé.

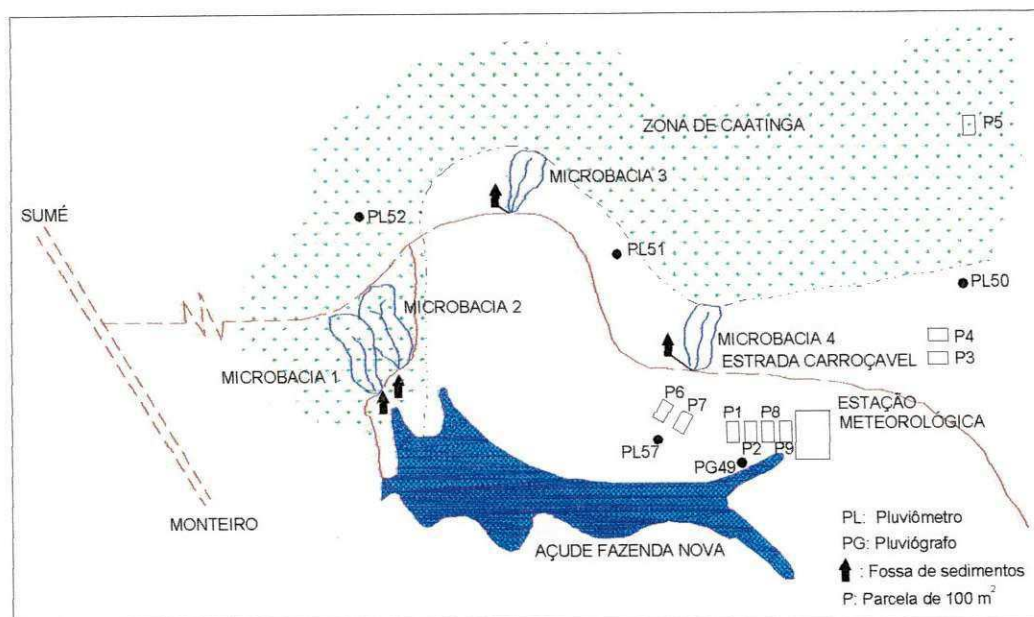


Figura 4.6. Croqui de Localização das Instalações da Bacia Experimental de Sumé.

4.3.1. Microbacias

As quatro microbacias e algumas parcelas começaram a ser operadas no início do período chuvoso de 1982. Foram realizados os levantamentos topográficos, botânicos, pedológicos etc, com a finalidade de estabelecer as características físicas da bacia experimental (Cadier et al., 1983).

As microbacias 1 e 2 (M1 e M2) foram instaladas na área de vegetação nativa enquanto que as microbacias 3 e 4 (M3 e M4) foram instaladas na área onde a vegetação nativa foi retirada e na qual será investigada neste estudo. As características relativas a cada microbacia estão apresentadas na Tabela 3.4. Os mapas topográficos das bacias (M3 e M4) estão apresentados nas Figuras 4.7 e 4.8 respectivamente.

Tabela 4.4. Características das microbacias estudadas (Cadier et al., 1983).

Microbacia	Área (ha)	Perímetro (m)	Declividade média (%)	Cobertura Vegetal
01	0,62	398	7,0	Caatinga Nativa
02	1,07	466	6,1	Caatinga Nativa
03	0,52	302	7,1	Desmatada
04	0,48	270	6,8	Desmatada

Cada microbacia possui uma fossa retangular de $2,3 \text{ m}^3$ de capacidade, equipada com um vertedor triangular de 90° , um linígrafo e um dispositivo de amostragem das águas que sangram. O vertedor foi dimensionado para uma vazão máxima de 270 l/s , o que corresponde à descarga provocada por uma chuva com intensidade de 100 mm/h que se escoaria em sua totalidade sobre uma superfície de 1 ha , com uma velocidade média de $0,2$ a $0,3 \text{ m/s}$ no canal da fossa (Cadier et al. 1983).

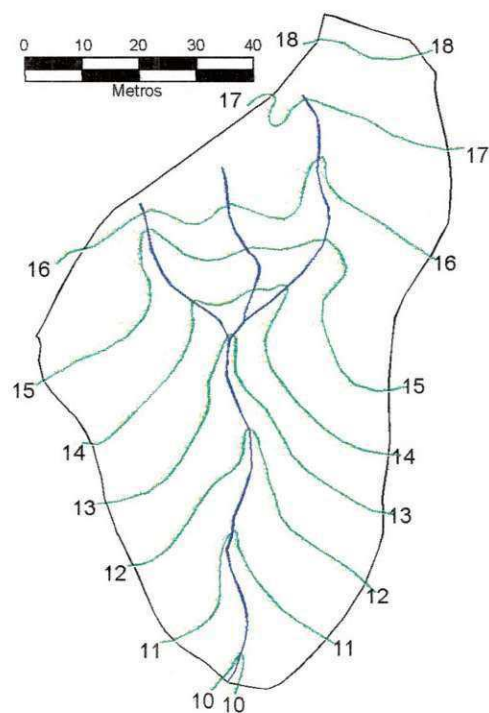


Figura 4.7. Levantamento topográfico da microbacia 3 de Sumé.

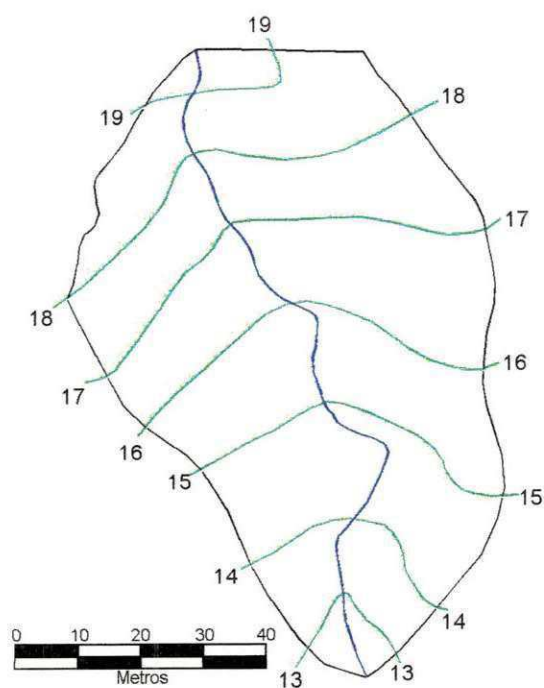


Figura 4.8. Levantamento topográfico da microbacia 4 de Sumé.

4.3.2. Parcelas de Erosão

Na Bacia Experimental de Sumé, foram instaladas nove parcelas de erosão com diferentes declividades e cobertura vegetal (inicialmente), representando, dessa forma, as possíveis combinações de declividade, manejo e cobertura vegetal na bacia experimental. As parcelas são do tipo Wischmeier (Wischmeier e Smith, 1960) e possuem uma área de 100 m² (22,0 m x 4,55 m). Neste estudo investigaram-se as parcelas 01 e 04, ambas desmatadas. As características de cada parcela estão mostradas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5. Características das parcelas de 100 m².

Parcela	Declividade Média (%)	Cobertura Vegetal	Período de Observação
1	3,8	Desmatada	1982 – 1991
2	3,9	Cobertura morta	1982 – 1991
3	7,2	Cobertura morta	1982 – 1991
4	7,0	Desmatada	1982 – 1991
5	9,5	Caatinga nativa	1982 – 1991
6	4,0	Palma morro abaixo	1983 – 1988
		Milho	1989
		Pousio	1990 – 1991
7	4,0	Palma em contorno	1983 – 1988
		Feijão	1989
		Pousio	1990 – 1991
8	4,0	Tipo Wischmeier	1986 – 1991
9	4,0	Caatinga nova (1981)	1986 – 1991

4.4. A bacia experimental de São João do Cariri e suas instalações

As instalações da Bacia Experimental de São João do Cariri (BESJC) são formadas por três microbacias. Em junho de 2000, foi instalada a primeira microbacia (MB01), com área de 0,18 ha e em julho de 2001 foram concluídas as obras de instalação de duas novas microbacias, uma de 0,16 ha (MB02) e outra de aproximadamente 1,63 ha (MB03), sendo a microbacia de número 02 uma sub-bacia da microbacia de número 03, podendo assim, avaliar o efeito de escala dentro da mesma bacia experimental. Duas parcelas experimentais de 100 m², operadas sob chuva natural também estão sendo observadas desde 1999. As três microbacias estão localizadas em áreas onde a vegetação nativa foram praticamente removida. As microbacias e parcelas experimentais apresentam entre si diversas condições topográficas e de manejo e uso do solo. Além dos dados de escoamento superficial foram coletadas amostras padronizadas para estimativa da quantidade de sedimentos transportados pelo fluxo. A Figura 4.9 mostra o croqui das instalações da Bacia Experimental de São João do Cariri.

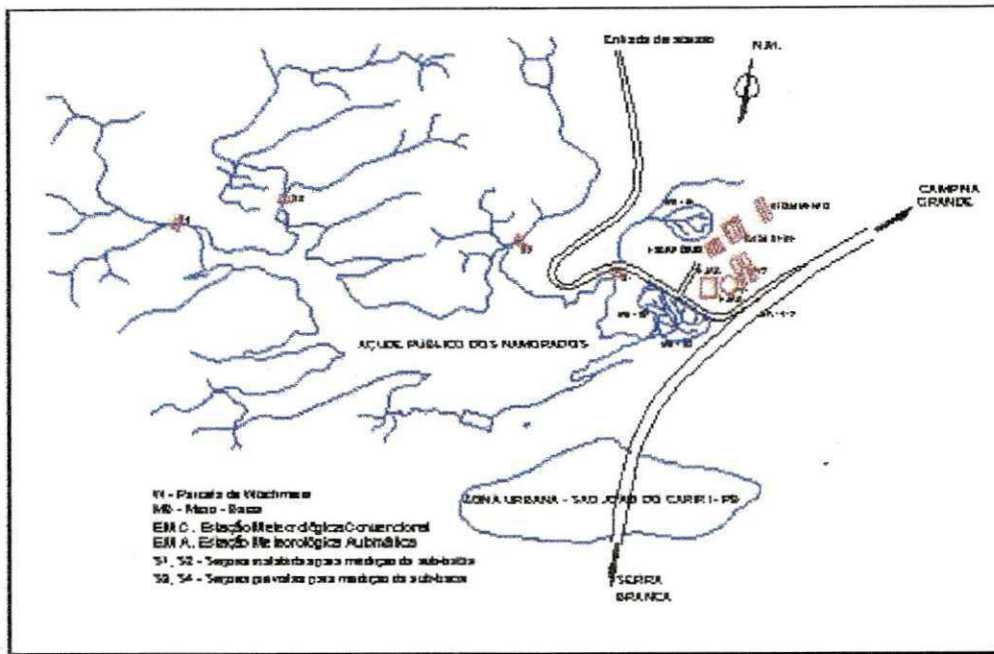


Figura 4.9. Croqui de Localização das Instalações da Bacia Experimental de São João do Cariri.

4.4.1 Microbacias

Em São João do Cariri, na microbacia 01, a coleta de dados começou a partir da estação chuvosa de 2001. Da mesma maneira feita na BES, procedeu-se a levantamentos topográficos, pedológicos, entre outros, para estabelecer também as características físicas da área da microbacia.

As microbacias 1 e 2 de Sumé (M1 e M2) foram instaladas na área de vegetação nativa enquanto que as microbacias 3 e 4 (M3 e M4) foram instaladas na área onde a vegetação nativa foi retirada assim como as três microbacias de São João do Cariri. As características relativas a cada microbacia estão apresentadas na Tabela 4.6. Os mapas topográficos das bacias estão apresentados nas figuras 4.10 a 4.12.

Tabela 4.6. Características das microbacias estudadas da BESJC.

Microbacia	Área (ha)	Perímetro (m)	Declividade média (%)	Cobertura Vegetal
01	0,18	175	7,5	Desmatada
02	0,16	209	6,9	Desmatada
03	1,63	533	7,1	Desmatada

Apesar de existirem quatro microbacia na BES, nesse estudo, utilizou-se apenas as microbacias 03 e 04, devido ao fato destas mesmas serem desmatadas semelhantemente as microbacias 01, 02 e 03 da BESJC.



Figura 4.10. Levantamento topográfico da microbacia 1 de SJC.

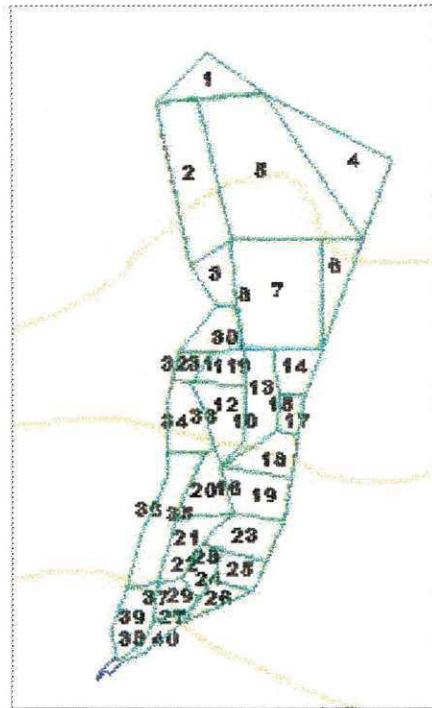


Figura 4.11. Levantamento topográfico da microbacia 2 de SJC.

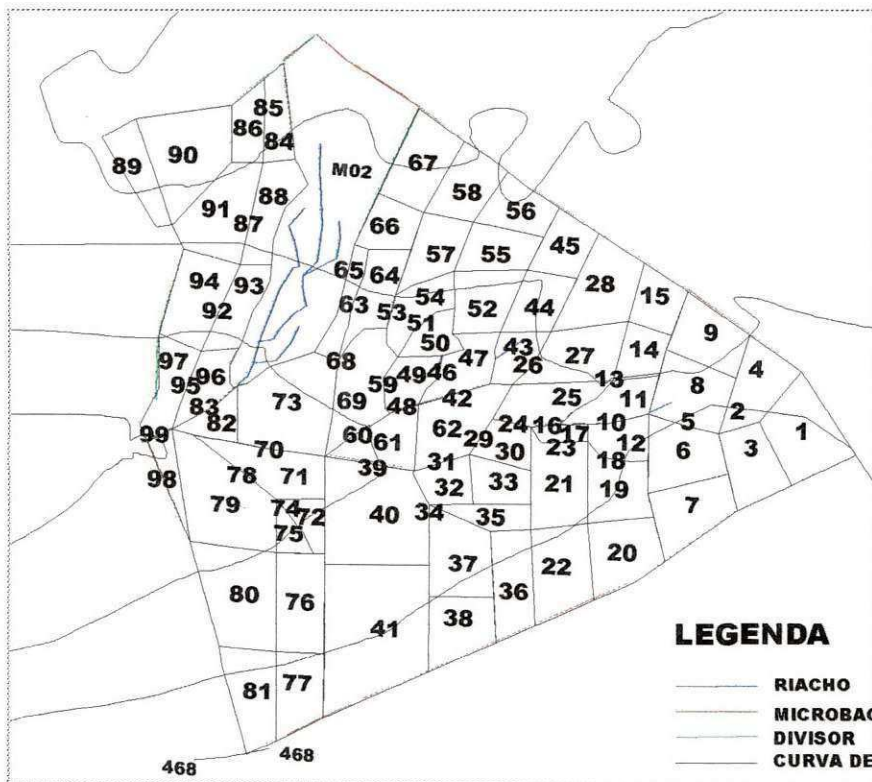


Figura 4.12. Levantamento topográfico da microbacia 3 de SJC.

4.4.2. Parcelas de Erosão

Na Bacia Experimental de São João do Cariri, foram instaladas da mesma maneira que adotada na Bacia Experimental de Sumé.

A Tabela 4.7 apresenta as características de cada parcela bem como o ano de início de operação. Nas parcelas estavam instalados dois tanques de fibrocimento de 1000 litros, com um sistema de partidores no primeiro, onde dentre nove tubos partidores, apenas um era ligado ao segundo tanque, conforme a Figura 4.14. O volume total escoado seria a soma do conteúdo do primeiro mais nove vezes o volume escoado do segundo. No primeiro tanque, um balde foi colocado para captar o escoamento e a erosão provenientes de pequenas chuvas, facilitando a medição volumétrica e a amostragem. A avaliação da produção de sedimentos foi realizada através de amostragem nos dois tanques. As amostras foram coletadas no balde coletor, no primeiro tanque (em dois estágios de drenagem), e no segundo tanque (num único estágio homogeneizado). Os tanques foram pré-calibrados, de modo que a amostragem de cada estágio pudesse ser associada a um volume conhecido. A produção total de sedimentos foi estimada pelo somatório da produção avaliada para cada estágio. Não havia linígrafos nos tanques medidores das parcelas, de modo que não era possível obter o hidrograma do evento, mas apenas o volume total escoado (Cadier et al., 1983; Srinivasan et al., 1988).

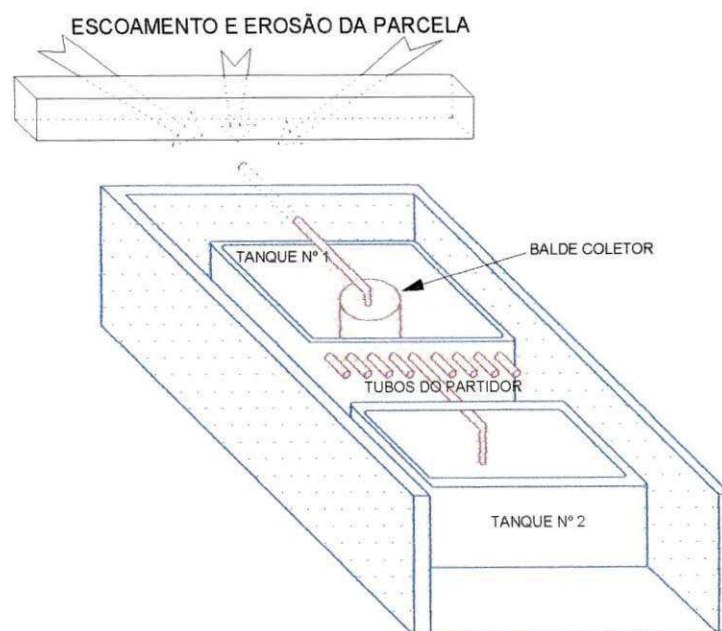


Figura 4.14. Parcela de Erosão e Tanques Coletores.

Tabela 4.7. Características das parcelas de 100 m².

Parcela	Declividade Média (%)	Cobertura Vegetal	Período de Observação
1	3,4	Desmatada	à partir 1999
2	3,6	Desmatada/ caatinga nativa	à partir 1999

4.5. Coletas de Dados

A fossa é pré-calibrada e o hidrograma do escoamento gerado é obtido através da curva de calibragem do vertedor e do linigrama registrado. O volume total escoado é calculado pela soma do que passa pelo vertedor e aquele que fica retido na fossa.

A avaliação da produção total de sedimentos da bacia é baseada em amostragem realizada no material retido na fossa (em suspensão e depositado no fundo) e no fluxo vertente. A amostragem dos sedimentos retidos na fossa foi realizada em três estágios, conforme estabelecido no roteiro de coleta de dados para as microbacias. A concentração obtida pela média das amostras em cada estágio é relacionada a um volume de água

correspondente. Três orifícios situados na placa do vertedor e em alturas diferentes drenavam uma pequena parte da mistura de água-sedimento que passava pelo vertedor, acumulando-a em dois recipientes coletores, nos quais eram coletadas duas amostras. Uma terceira amostra adicional, quando possível, era coletada manualmente durante o evento, na descarga do vertedor. A concentração média destas duas ou três amostras já consideradas como a concentração média do volume vertido durante o evento de chuva. A produção total de sedimentos é calculada pelo somatório da produção relativa a cada estágio da fossa e ao escoamento através do vertedor. A Figura 4.13 apresenta a fossa de sedimentos, bem como a localização dos amostradores e do linígrafo.

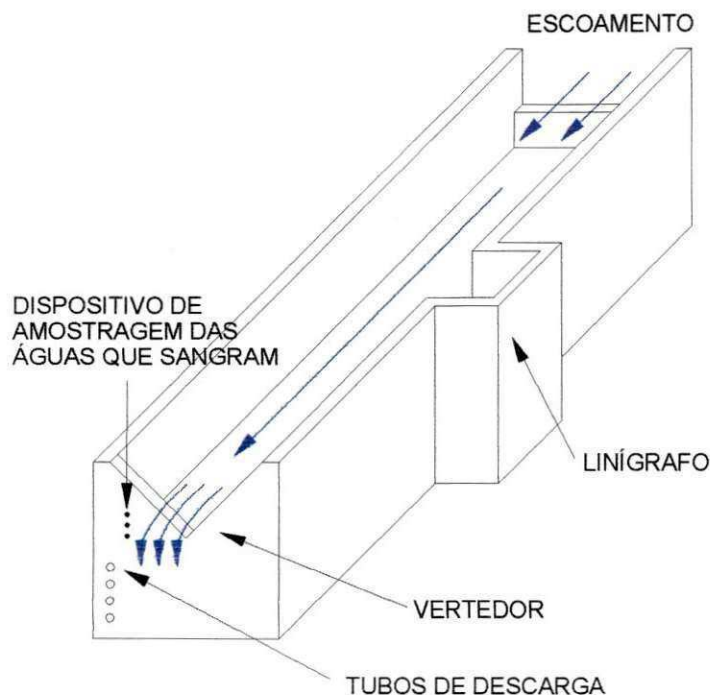


Figura 4.13. Fossa de sedimentos das microbacias.

4.5.1. Bacia Experimental de Sumé

Cada evento de precipitação que gerou escoamento nas parcelas recebeu um número de identificação e a denominação de “cheia”. Para a BES, foram tomados dez anos de coleta de dados, onde foram catalogados 264 eventos compreendidos entre o período de

1982-1991, haja visto que no período de 1992-1997 não foram coletados dados em alguns dos experimentos, por isso optou-se por trabalhar apenas com os dados até 1991. Os detalhes dos processos de medição de escoamento superficial e produção de sedimentos nas microbacias e parcelas são encontrados em Cadier et al. (1983), Galvão (1990) e Srinivasan e Galvão (2003).

Foram utilizados no presente trabalho os dados referentes à lâmina escoada e peso total de sedimentos produzidos em cada um dos experimentos. Os dados de precipitação de referência ao longo do tempo foram àqueles provenientes do pluviógrafo (PG 49), localizado nas proximidades da estação climatológica.

4.5.2. Bacia Experimental de São João do Cariri

Para BESJC foram tomados quase cinco anos de coletas de dados, catalogando 108 eventos de cheia.

Apesar de termos registro de 108 eventos de cheias nas parcelas de erosão, o que seria um número razoavelmente considerável, as parcelas são os dispositivos que têm mais eventos, um total de 106 (contando lâmina escoada e sedimento) e por volta de 52 eventos de cheia para M01, 22 eventos para M02 e 20 evento para M03, todos para lâmina e erosão. O motivo desta perda de dados deve-se a dois fatos diretos: alguns eventos ainda não trabalhados, pois não houve a decantação necessária para procedermos à quantificação do sedimento produzido.

Examinando os dados observados coletados pelos dispositivos percebe-se que a estação chuvosa nos anos de 1999, 2001 e 2003, foi caracterizado por baixos totais pluviométricos. Apesar disso as maiores cheias apresentaram volumes consideráveis e 51% do total precipitado anual em 1999 sendo concentrado em apenas seis chuvas.

CAPÍTULO 5

5. APLICAÇÃO DO MODELO

Este capítulo apresenta os procedimentos adotados e os resultados obtidos com a aplicação do modelo WEPP para simular os processos hidrossedimentológicos nas parcelas e nas microbacias das bacias experimentais de Sumé e de São João do Cariri bem como nas sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé. Neste trabalho, o modelo WEPP foi aplicado por extensão, para sub-bacias da BRS devido ao fato que o WEPP ter sido aplicado para bacias de porte médio durante o desenvolvimento do modelo. (Flanagan e Nearing, 1995).

5.1. Modelagem do Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas Parcelas

5.1.1. Determinação dos Parâmetros do Modelo WEPP

O modelo WEPP utiliza um conjunto de parâmetros de entrada que podem ser divididos em três grandes grupos: (a) parâmetros cujos valores podem ser estabelecidos com base nas informações disponíveis na literatura; (b) parâmetros cujos valores podem ser medidos experimentalmente em campo ou no laboratório; (c) parâmetros cujos valores devem ser determinados pela calibração do modelo. Neste trabalho, os parâmetros do modelo WEPP utilizados para a modelagem nas parcelas foram obtidos conforme a natureza destes parâmetros e aqueles que não podem ser obtidos na literatura nem medidos foram obtidos num processo de calibração. Uma discussão sobre a estimativa destes parâmetros se segue:

a) Tamanho característico dos sedimentos (d): existem vários critérios para a escolha do diâmetro representativo de misturas de sedimentos, mas o valor mais utilizado tem sido aquele para o qual 50% da amostra em peso possui diâmetro maior, também denominado de d_{50} . O valor desse parâmetro foi determinado com base na distribuição granulométrica de algumas amostras coletadas em campo (Figuras 5.1 a 5.4). No entanto, alguns valores medidos em campo, que estavam muito distantes da maioria dos dados

coletados, foram eliminados, sendo o valor considerado para o diâmetro mediano, a média dos diâmetros medianos de todas as amostras restantes. Sendo assim, os diâmetros medianos utilizados estão mostrados na Tabela 5.1a e 5.1b.

Tabela 5.1a. Valores dos diâmetros representativos utilizados nas parcelas de SJC.

Parcela (SJC)	01	02
d_{50} (mm)	0,40	0,36

Tabela 5.2b. Valores dos diâmetros representativos utilizados nas parcelas Sumé.

Parcela (Sumé)	01	04
d_{50} (mm)	0,85	0,89

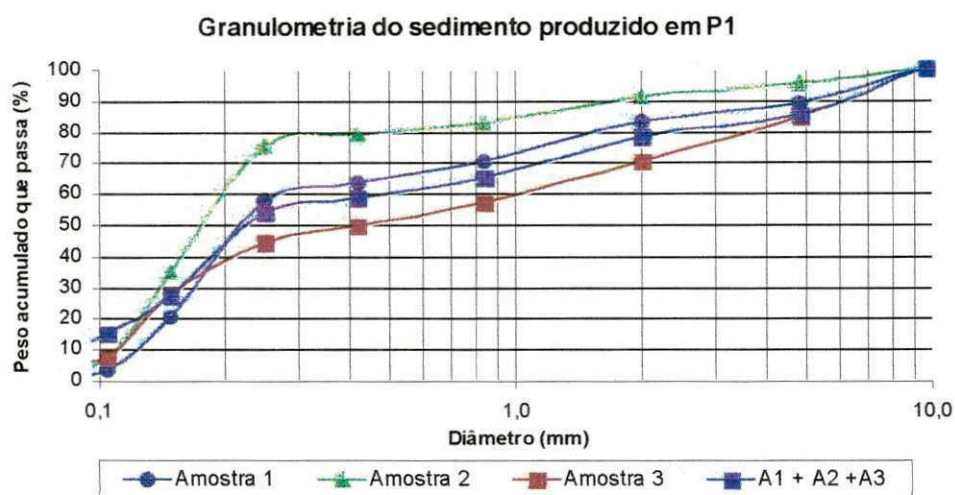


Figura 5.1. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na parcela 1 de São

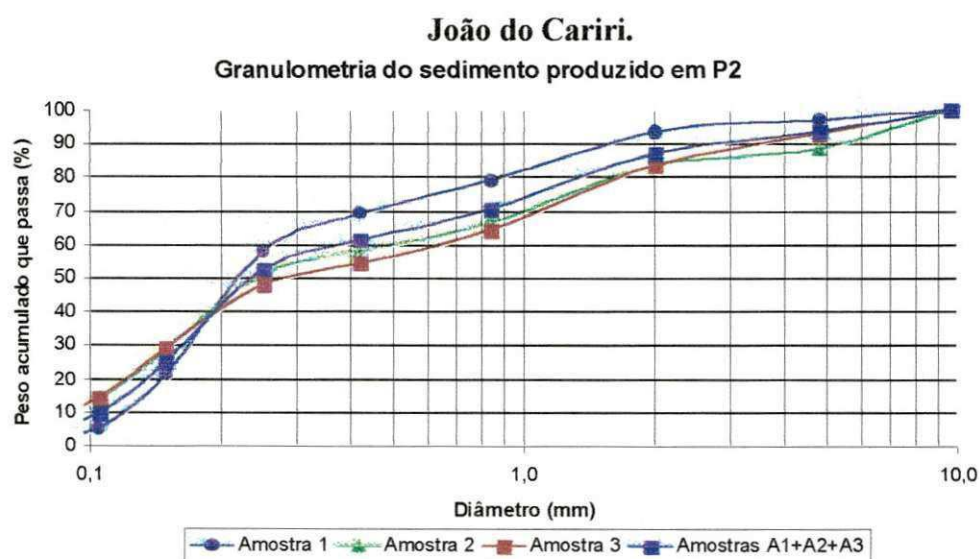


Figura 5.2. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na parcela 2 - SJC.

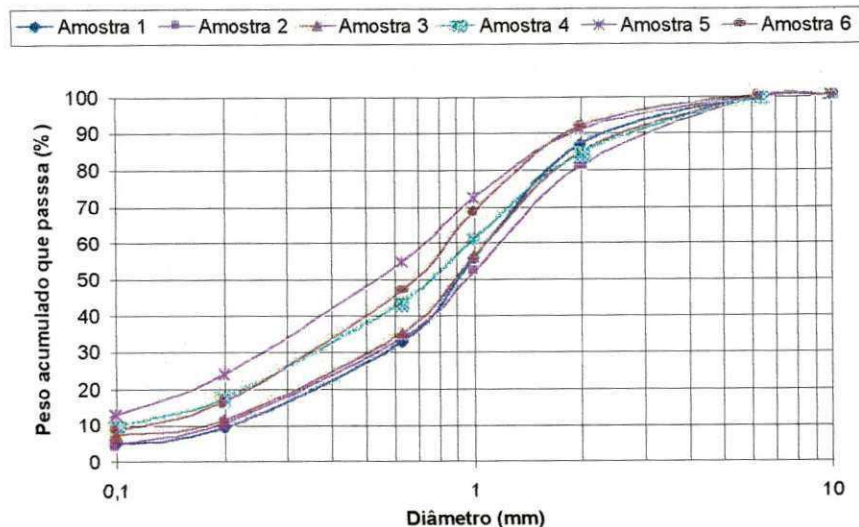


Figura 5.3. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na parcela 1 de Sumé (Lopes,2003).

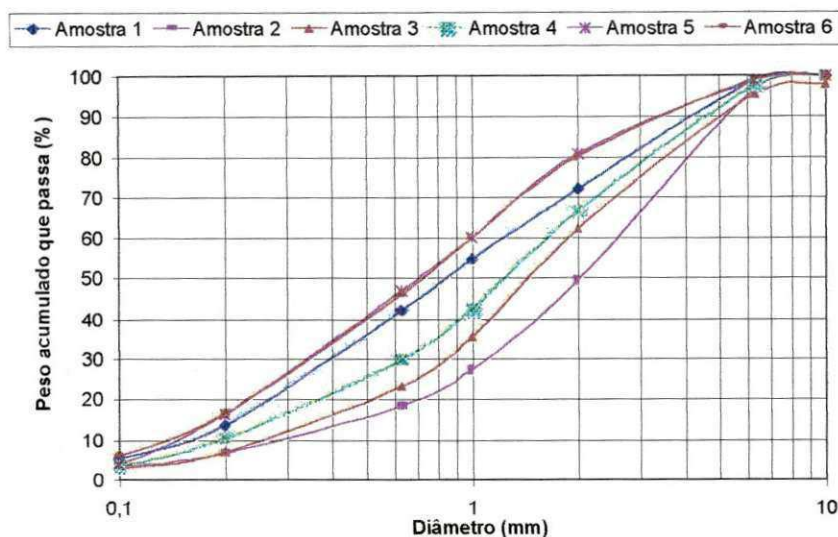


Figura 5.4. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na parcela 4 de Sumé (Lopes,2003).

b) Densidade relativa dos sedimentos (S_s): assumido como sendo igual a 2,65, o que corresponde à densidade específica do grão de quartzo.

c) Temperatura da água: considerada como sendo igual a 25°C, temperatura média normalmente encontrada na Bacia Experimental de Sumé (Cadier et al., 1983).

d) Condutividade hidráulica saturada efetiva (K_e): de acordo com os estudos de Bouwer (1966), Whisler e Bouwer (1970), Rawls et al. (1983), o valor efetivo da

condutividade hidráulica saturada que deve ser utilizada em modelos de infiltração como o de Green e Ampt (1911) e Smith e Parlange (1978), deve ser a metade do valor da condutividade hidráulica saturada, devido ao ar aprisionado nos vazios do solo, fenômeno que normalmente ocorre em situações reais em campo. Cadier e Freitas (1982), Audry et al. (1987) e Molinier et al. (1989a) efetuaram algumas medições e encontraram valores entre 0,5 mm/h e 26 mm/h. No entanto, o valor de 5,0 mm/h é mais freqüentemente encontrado na região (Galvão, 1990). Inicialmente foram feitas calibrações deste parâmetro, tanto para as parcelas quanto para as microbacias pegando-se a média deste para cada dispositivo. Posteriormente, quando testada para a Bacia Representativa de Sumé, a média não era bem representativa com os dados que tínhamos disponíveis, contudo resolveu-se por trabalhar com a moda ao invés da média, onde esta mostrou ser bem representativa. Desta maneira foram feitas novas calibrações e obtida a moda também para as parcelas e microbacias. Sendo assim, depois de feitas as simulações dos eventos disponíveis, os valores adotados para as parcelas, tanto para São João do Cariri como Sumé, são os que estão mostrados na Tabela 5.2a e 5.2b.

Tabela 5.2a. Valores da condutividade hidráulica saturada efetiva para as parcelas de São João Cariri.

Parcela	1	2
K_e (mm/h)	3,86	3,44

Tabela 5.2b. Valores da condutividade hidráulica saturada efetiva para as parcelas de Sumé.

Parcela	1	4
K_e (mm/h)	3,50	3,50

e) **Declividade média das parcelas (Slope):** foram determinadas a partir de levantamentos topográficos e estão apresentadas na Tabela 5.3a e 5.3b.

Tabela 5.3a. Valores das declividades para as parcelas de São João do Cariri.

Parcela	1	2
Declividade (%)	3,4	3,6

Tabela 5.3b. Valores das declividades para as parcelas de Sumé.

Parcela	1	4
Declividade (%)	3,8	7,0

f) Radiação Solar: foram determinadas através de dados existentes no Departamento de Ciências Atmosférica da UFCG-Campus I, e seu valor mensal médio é de 450 Langleys/day.

g) Albedo: foi determinado também através do Departamento de Ciências Atmosférica da UFCG-Campus I, e seu valor médio para a região do cariri paraibano foi de $\alpha = 0,23$.

h) Porosidade (ϕ) e índice de distribuição dos tamanhos dos poros (λ): Estes parâmetros variam de acordo com o tipo de solo, e foram determinados a partir do estudos de Rawls et al. (1983) e estão apresentados em Woolhiser et al. (1990). Como o solo das parcelas é franco argilo-arenoso, utilizou-se os seguintes valores: $\phi = 0,398$ e $\lambda = 0,32$.

Estando definidos todos esses parâmetros, ainda precisa de determinar os valores de outros parâmetros do modelo WEPP como a saturação inicial S_i , parâmetro de erodibilidade do solo nos planos K_i e o parâmetro de erodibilidade nos sulcos e canais - K_r . Estes foram obtidos por um processo calibração.

A saturação inicial S_i é definido como θ_v/ϕ , onde θ_v (Eq. 3.4) é conteúdo volumétrico inicial da água por unidade do volume, e ϕ é a porosidade do solo. Como o modelo WEPP não considera a distribuição de água no solo nem mesmo sua redistribuição, como o modelo KINEROS2, o valor deste parâmetro varia de evento para evento pela condição inicial e, foi determinado por calibração, ajustando-o até que o volume escoado calculado se igualasse ao volume escoado observado.

De maneira semelhante, foi determinado o parâmetro K_i (Eq. 3.14), que é o parâmetro que caracteriza a erodibilidade do solo nos planos. Este parâmetro exerce influência sobre a erosão que acontece entre o início do evento de precipitação e o tempo de empoçamento. Neste intervalo as gotas agem diretamente sobre o solo “nu”, erodindo-o devido ao impacto. A lâmina formada pelo excesso de precipitação serve de anteparo para as gotas de chuva diminuindo ou até eliminando a ação do impacto das mesmas. No entanto, Galvão (1990) e Santos (1994) observaram que o resultado do cálculo de erosão não era muito sensível às variações deste parâmetro tendo sido fixado um valor (K_i em $5 \times 10^8 \text{ kg.s/m}^4$). Neste estudo percebeu-se também que esse parâmetro não tem uma alta sensibilidade no cálculo da erosão, mas apresenta uma variação relativamente considerável, o que necessitou de sua calibração.

O parâmetro K_r (Eq.3.15) também varia de evento a evento, uma vez que a tensão de cisalhamento nos canais vai depender da condição do fluxo. Obtido o valor médio do parâmetro K_i para os planos nas etapas anteriores, o valor do parâmetro K_r para os canais será calibrado evento a evento, tentando minimizar a diferença entre o valor da erosão calculada e o valor da erosão observada em cada evento. O valor médio deste parâmetro pode ser, posteriormente, usado para a simulação nas microbacias, já que, a microbacia é representada por uma combinação dos elementos de planos e canais.

As Figuras 5.5 a 5.14 mostram os valores dos parâmetros S_i e K_i para as duas parcelas da Bacia Experimental de São João do Cariri e a parcela 01 da Bacia Experimental de Sumé. A parcela 04 de Sumé foi utilizada para validação dos parâmetros obtidos na parcela 01 da BES. Estes valores foram calibrados de evento para evento. O valor médio obtido pela calibração da saturação inicial servirá para uma análise de sua variabilidade na região, bem como para avaliação do efeito de escala.

Para a parcela 02 da BESJC existiram duas condições de cobertura vegetal. Até junho de 2001 existia uma cobertura vegetal rasteira e a partir desta data ficaram com solo nu. As tabelas 5; 6a e 6b do Anexo 1, mostram as calibrações dos parâmetros para as duas condições.

As Tabelas 1 a 8 do Anexo 1, mostram os valores dos parâmetros S_i , K_e e K_i para todos os eventos utilizados para as parcelas, bem como os valores observados e calculados de lâmina e erosão.

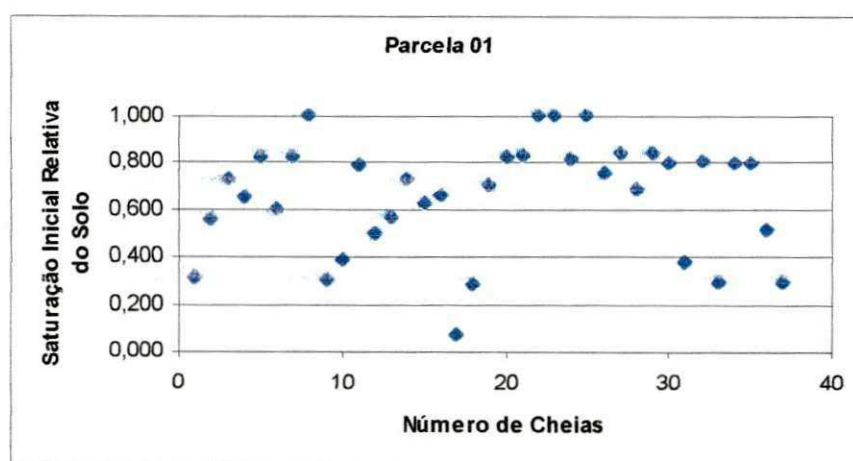


Figura 5.5. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 1 de São João do Cariri.

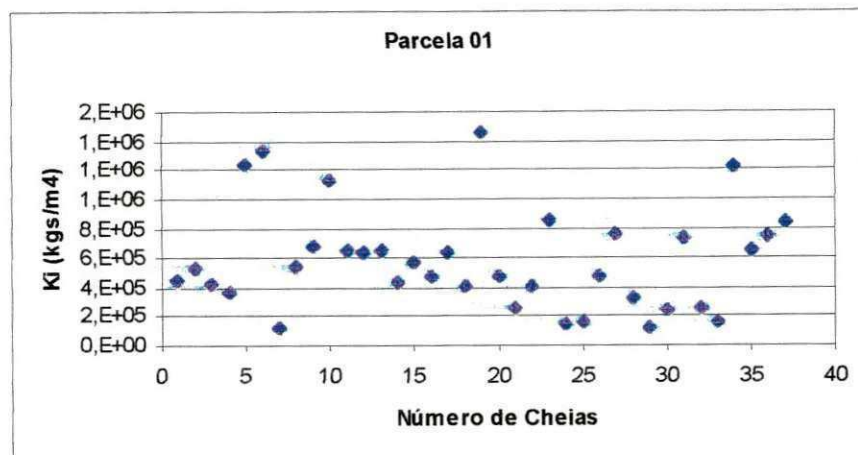


Figura 5.6. Valor do parâmetro K_i versus número do evento de cheia para a parcela 1 de São João do Cariri.

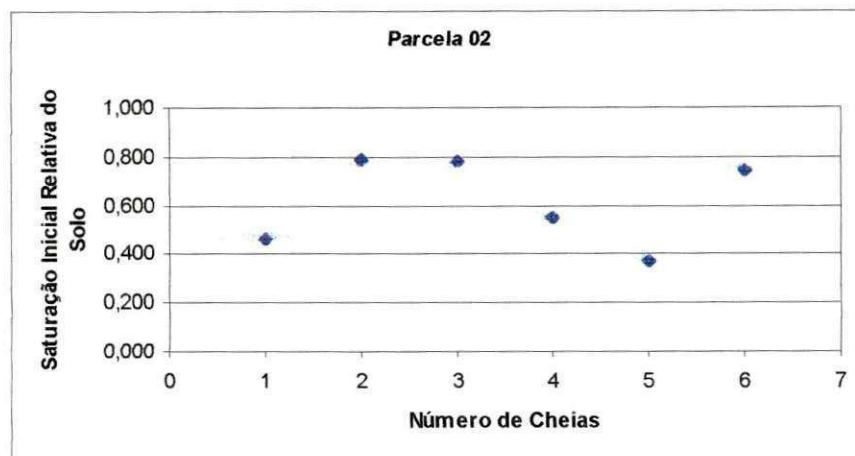


Figura 5.7. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 2 com cobertura nativa de São João do Cariri.

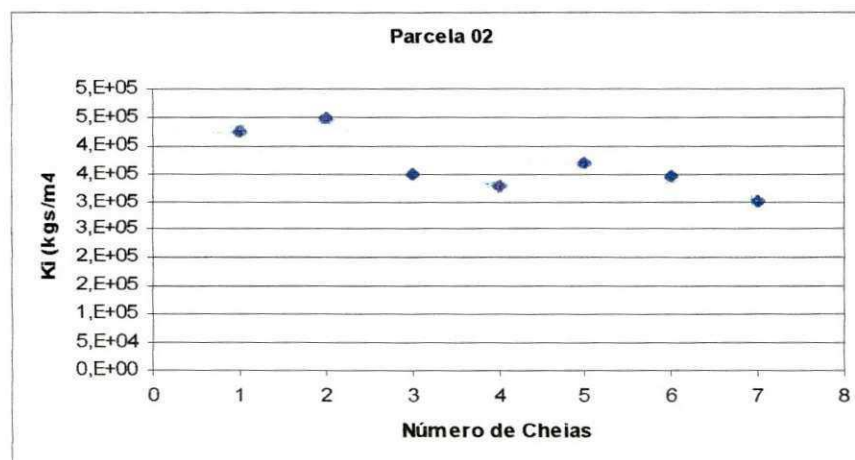


Figura 5.8. Valor do parâmetro K_i versus número do evento de cheia para a parcela 2

com cobertura nativa de São João do Cariri.

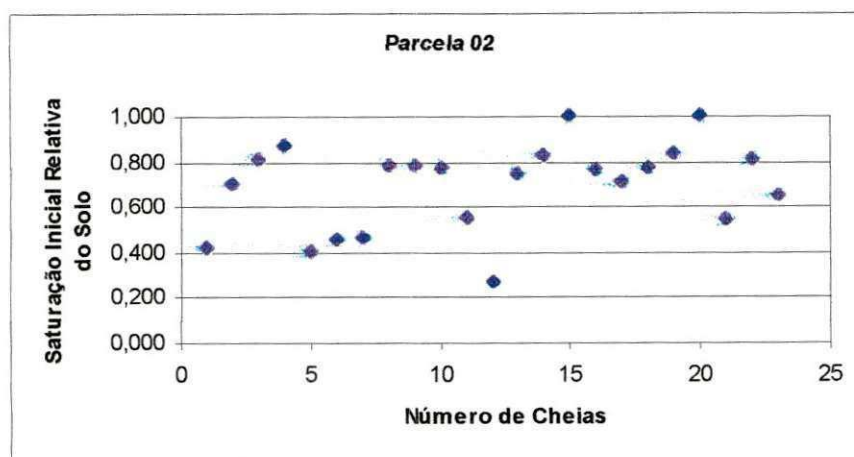


Figura 5.9. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 2 desmatada de São João de Cariri.

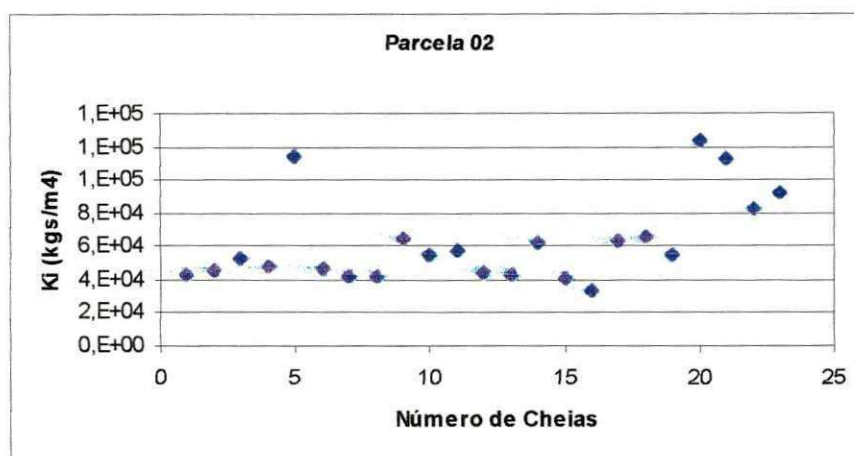


Figura 5.10. Valor do parâmetro K_i versus número do evento de cheia para a parcela 2 desmatada de São João do Cariri.

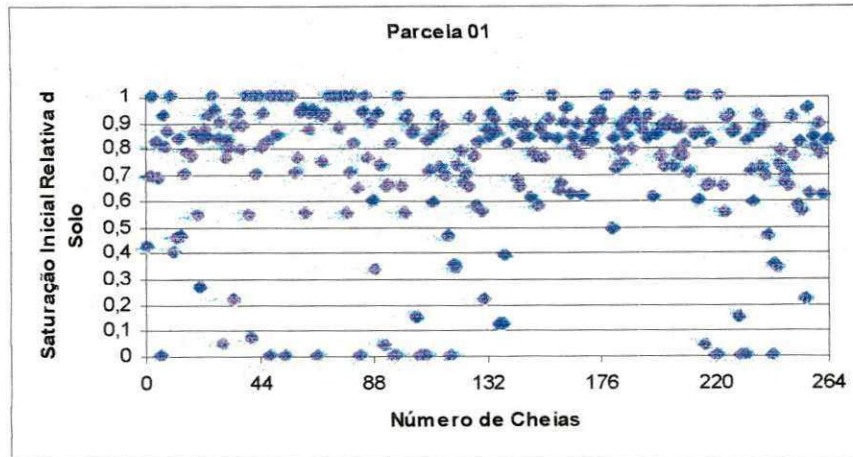


Figura 5.11. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 1 de Sumé.

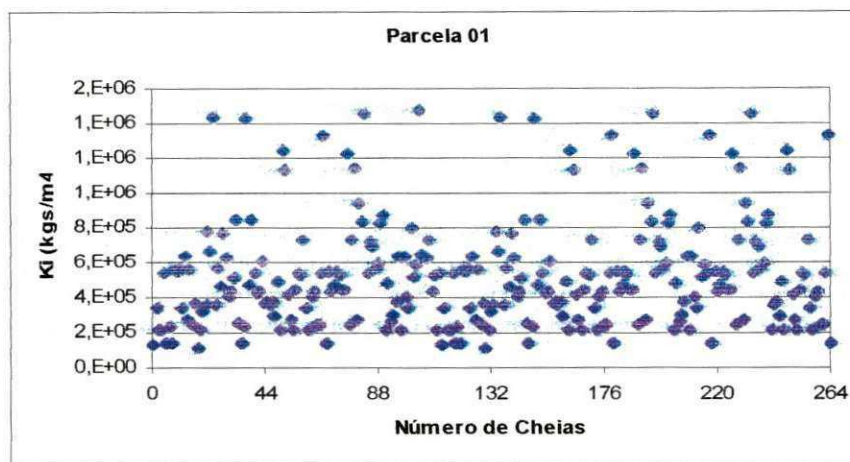


Figura 5.12. Valor do parâmetro K_i versus número do evento de cheia para a parcela 1 de Sumé.

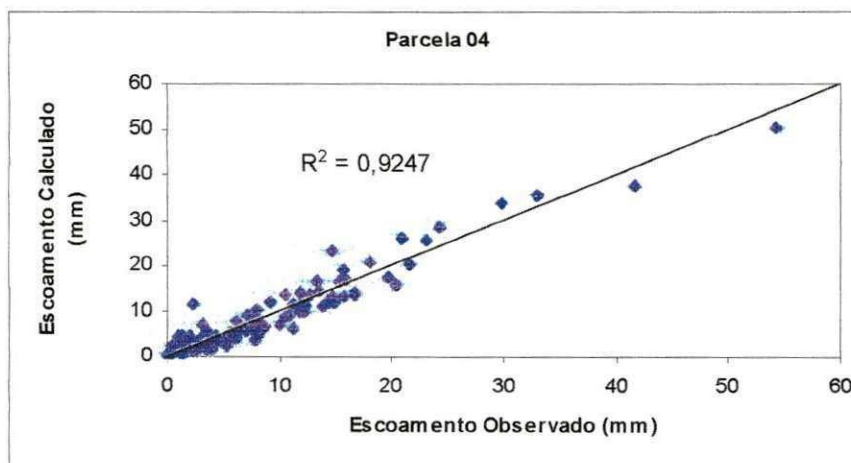


Figura 5.13. Valor da lâmina calculada versus a observada para a parcela 4 de Sumé.

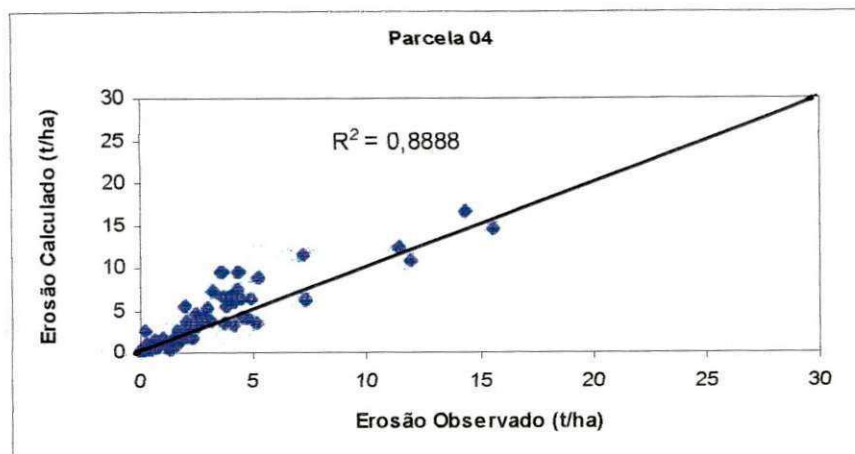


Figura 5.14. Valor da erosão calculada versus a observada para a parcela 4 de Sumé.

5.2. Modelagem do Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas Microbacias

Para modelagem dos processos de escoamento superficial e produção de sedimentos em microbacias, utilizando o modelo WEPP é necessário representar a bacia em elementos discretos de planos e de canais. Este processo de discretização não foi necessário na modelagem nas parcelas devido ao fato que estas já são elemento do tipo plano, já com declividade e cobertura vegetal uniforme.

Segundo Lane e Woolhiser (1977), a simplificação de bacias hidrográficas em elementos planos e canais pode trazer distorções ao resultado do escoamento superficial (hidrograma observado) e, por conseqüência, ao resultado da produção de sedimentos. Sendo assim, no processo de discretização, deve preservar ao máximo as características da bacia, tais como comprimentos de drenagens e declividades. Mesmo assim, o processo de discretização sempre produz distorções e caso estas sejam significativas, pode haver grandes diferenças entre o hidrograma observado e calculado (Lane e Woolhiser, 1977).

Galvão (1990) discretizou as microbacias 3 e 4 (Figura 5.25) da BES em um sistema de 23 e 21 elementos respectivamente, está última é mostrada na Figura 5.15. Posteriormente Santos (1997) discretizou a microbacia 3 em duas outras configurações, uma com 10 elementos e outra com 23 elementos, com o objetivo de determinar a influência da discretização da bacia sobre os resultados obtidos. Ele verificou que a configuração com 10 elementos produzia melhores resultados, apesar da diferença nos resultados entre a configuração de 23 elementos e 10 elementos ser muito pequena. Ultimamente Lopes (2003) discretizou essas mesmas microbacias utilizando novas

configurações e resultando, respectivamente em 23 e 20 elementos. O objetivo de uma nova discretização para as microbacia foi melhorar a conformidade dos planos e canais com os caminhos de fluxo observados e adequar melhor para as curvas de nível.

Para a discretização das microbacias 1, 2 e 3 de São João do Cariri utilizou-se os mesmos critérios adotados por Lopes (2003) para as microbacia 3 e 4 de Sumé, para as quais foram mantidas as discretizações feitas por Lopes 2003.

As discretizações das microbacias da BESJC foram realizadas da seguinte maneira: inicialmente foi traçado o sistema de canais. Em seguida, foram delimitadas as áreas que contribuía para cada canal sempre cruzando as curva de nível perpendicularmente. Quando houvesse qualquer mudança de declividade, a área era dividida em mais elementos, até que cada elemento plano ou canal fosse o mais homogêneo possível, seja em tipo de solo, vegetação ou declividade. No caso das microbacias, o único critério foi de declividade (relevo), pois cada microbacia possui uniformidade de solo e vegetação. Depois foram traçadas linhas de fluxo, acompanhando a declividade dos planos. O comprimento dessa linha de fluxo define o comprimento do plano. A largura do plano foi determinada como sendo a área do elemento dividida pelo comprimento do plano. O comprimento de cada canal é o mesmo medido no mapa, conservando assim, o sistema de drenagem da bacia. A declividade de cada elemento plano ou canal foi determinada como sendo a diferença de cota ao longo de seu comprimento dividido por esse comprimento. As delimitações dos planos e canais, bem como a discretização das microbacias estão mostradas nas Figura 5.15 a 5.24. As Tabelas 5.4 a 5.8 mostram as características geométricas das quatro microbacias, bem como a seqüência de cálculo dos elementos discretizados.

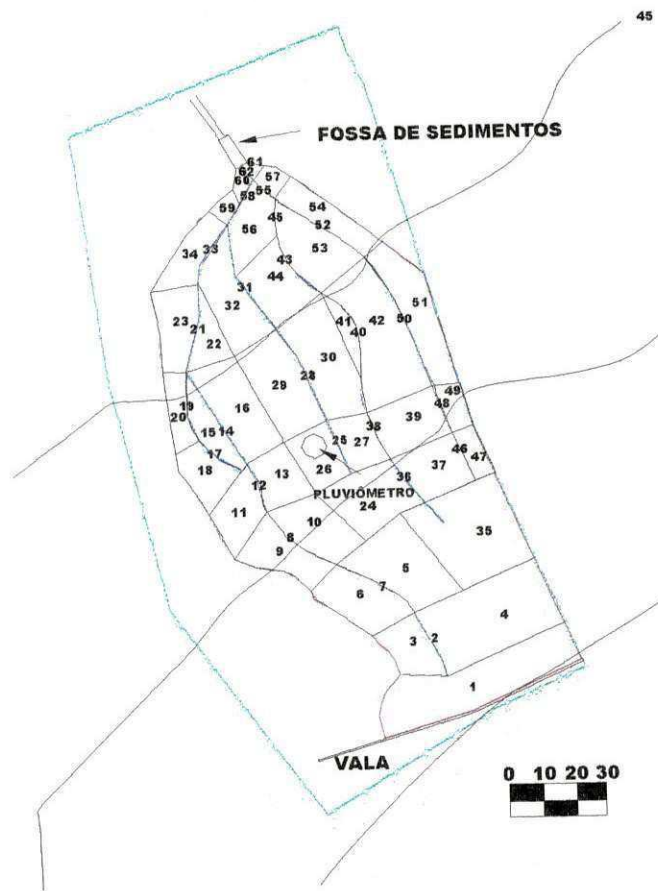


Figura 5.15. Definição dos planos e canais para a microbacia 1 da BESJC.

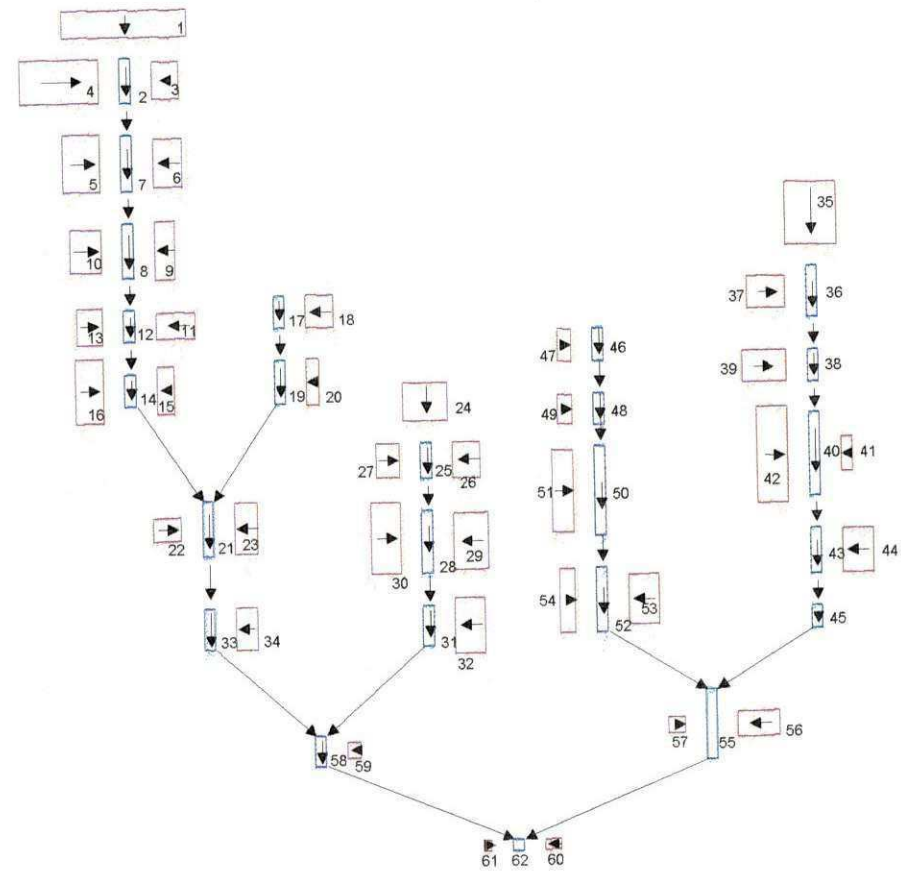


Figura 5.16. Discretização da microbacia 1 da BESJC.

Tabela 5.4. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 1 da BESJC.

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Declividade lateral	Elemento anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
1	116,48	5,00	23,30	0,064					
2	-	8,30	-	0,062	0	1	1	3	4
3	33,76	4,90	6,9	0,040					
4	118,75	14,70	8,10	0,037					
5	73,49	6,90	10,70	0,067					
6	49,13	5,40	9,10	0,056					
7	-	10,50	-	0,070	0	1	2	6	5
8	-	10,20	-	0,069	0	1	7	9	10
9	41,10	3,80	10,80	0,062					
10	46,58	5,80	8,00	0,076					
11	36,79	7,30	5,00	0,065					
12	-	6,00	-	0,074	0	1	8	11	13
13	32,98	4,80	6,90	0,076					
14	-	12,50	-	0,084	0	1	12	15	16
15	27,52	3,10	8,90	0,064					
16	61,71	5,20	11,90	0,080					
17	-	6,00	-	0,076	0	1		18	
18	31,66	5,20	6,10	0,066					
19	-	8,10	-	0,072	0	1	17	20	
20	20,59	2,40	8,60	0,065					
21	-	10,20	-	0,097	0	1	14	23	22
22	21,94	5,10	4,30	0,106					
23	40,86	4,30	9,50	0,101			22		
24	58,34	7,10	8,20	0,065					
25	-	6,70	-	0,059	0,20	0,50	24	26	27
26	34,36	5,10	6,70	0,064					
27	27,72	4,30	6,40	0,063					
28	-	11,80	-	0,071	0,20	0,50	25	29	30

Tabela 5.4. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 1 (Continuação).

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Declividade lateral	Elemento anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
29	67,46	6,40	10,50	0,068					
30	72,05	5,40	13,30	0,066					
31	-	7,60	-	0,052	0,3	0,4	28	32	
32	56,99	5,50	10,40	0,057					
33	-	7,70	-	0,097	0	1	21	34	
34	32,22	4,10	7,90	0,106					
35	112,12	11,70	9,60	0,078					
36	-	9,60	-	0,065	0	1	35		37
37	42,51	7,10	6,00	0,071					
38	-	6,00	-	0,069	0,3	0,4	36		39
39	46,71	8,10	5,80	0,075					
40	-	15,50	-	0,071	0,2	0,5	38	41	42
41	12,74	2,00	6,40	0,073					
42	100,06	5,60	17,90	0,064					
43	-	8,50	-	0,073	0	1	40	44	
44	47,09	5,70	8,30	0,089					
45	-	4,20	-	0,070	0	1	43		
46	-	6,10	-	0,073	0	1			47
47	15,10	2,50	6,00	0,067					
48	-	5,80	-	0,069	0	1	46		49
49	14,81	2,80	5,30	0,076					
50	-	16,70	-	0,086	0	1	48		51
51	62,91	4,10	15,30	0,081					
52	-	12,10	-	0,089	0	1	50	53	54
53	51,98	5,60	9,30	0,085					
54	34,84	2,90	12,00	0,083					
55	-	3,10	-	0,082	0,2	0,5	45	56	57
56	35,17	7,70	4,60	0,079					

Tabela 5.4. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 1 (Continuação).

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Declividade lateral	Elemento anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
57	8,99	3,00	3,00	0,082					
58	-	5,80	-	0,080	0	1	33	59	
59	7,19	2,40	3,00	0,062					
60	6,00	3,10	1,90	0,075					
61	2,74	1,40	2,00	0,087					
62	-	2,20	-	0,086	0	1	58	60	61

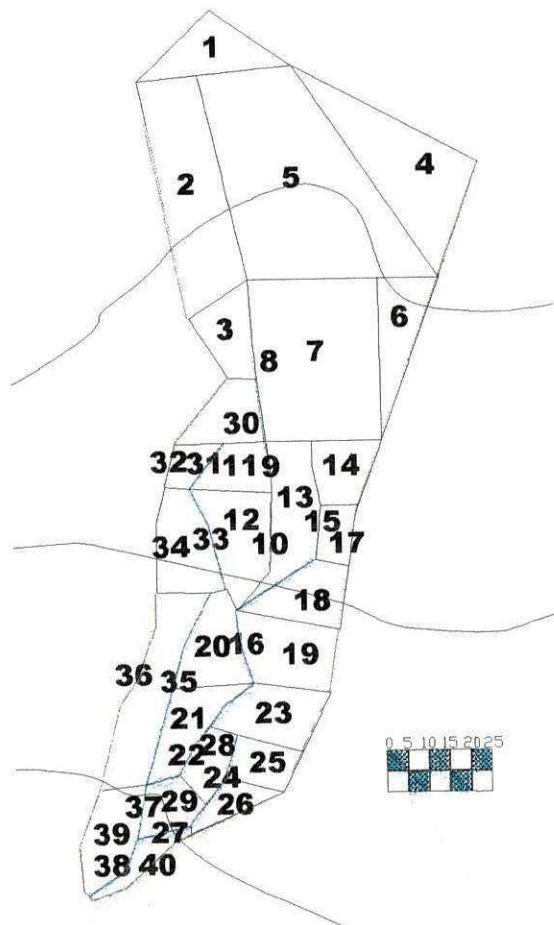


Figura 5.17. Definição dos planos e canais para a microbacia 2 da BESJC.

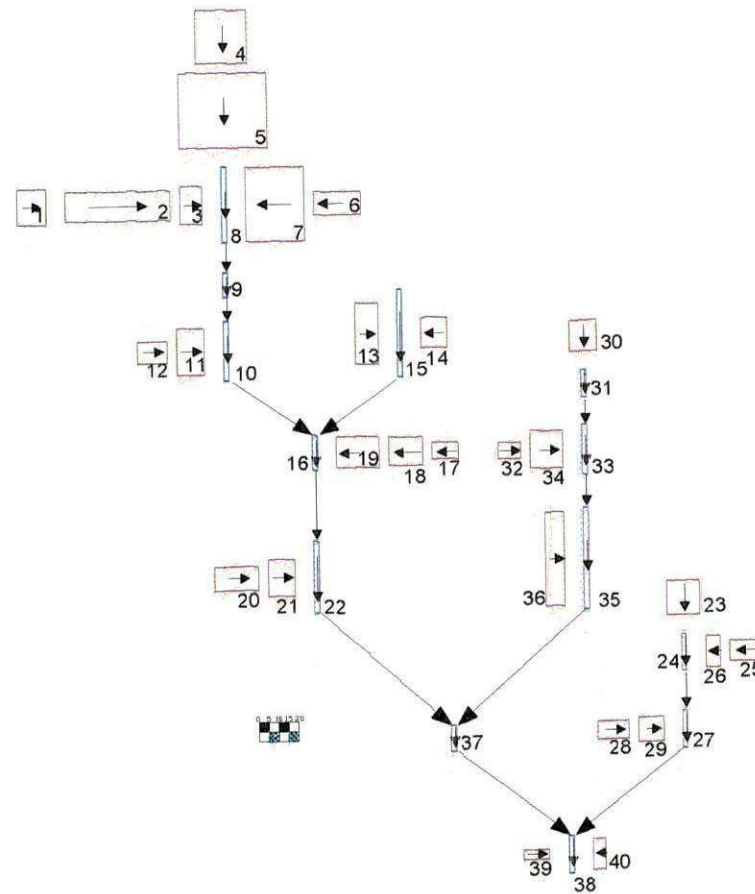


Figura 5.18. Discretização da microbacia 2 da BESJC.

Tabela 5.5. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 2 da BESJC.

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Declividade lateral	Elemento anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
1	46,20	6,10	7,50	0,053					
2	134,14	21,90	6,10	0,041					1
3	36,02	4,60	7,80	0,056					2
4	119,28	11,10	10,70	0,050					
5	283,39	15,50	18,30	0,055			4		
6	46,26	9,70	4,70	0,044					
7	187,74	12,10	15,50	0,052				6	
8	-	15,70	-	0,062	0	1	5	7	3
9	-	5,00	-	0,043	0	1	8		
10	-	12,50	-	0,063	0	1	9		11
11	28,41	6,30	4,50	0,059					12
12	55,47	5,70	9,80	0,061					
13	59,10	4,70	12,60	0,070					
14	33,75	5,40	6,30	0,056					
15	-	18,20	-	0,076	0	1		14	13
16	-	7,20	-	0,062	0	1	10	19	
17	18,56	5,50	3,40	0,054					
18	41,42	7,00	5,90	0,071				17	
19	56,76	8,90	6,40	0,062				18	
20	45,46	9,20	5,00	0,063					
21	40,75	5,40	7,50	0,060					20
22	-	14,90	-	0,071	0	1	16		21
23	47,50	7,00	6,80	0,054					
24	-	7,60	-	0,053	0,2	0,5	23	26	
25	26,04	6,10	4,30	0,050					
26	18,88	2,90	6,50	0,058				25	
27	-	7,70	-	0,060	0,2	0,5	24		29
28	24,02	6,50	3,70	0,056					

Tabela 5.5. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 2 (Continuação).

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Declividade lateral	Elemento anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
29	25,57	5,10	5,00	0,055					28
30	35,86	6,40	5,60	0,056					
31	-	5,60	-	0,052	0	1	30		
32	15,75	4,80	3,30	0,057					
33	-	10,30	-	0,067	0	1	31		34
34	52,60	6,80	7,70	0,066					32
35	-	21,10	-	0,068	0	1	33		36
36	77,13	4,00	19,40	0,069					
37	-	5,30	-	0,071	0	1		35	22
38	-	7,60	-	0,069	0	1		27	37
39	10,79	5,30	2,00	0,065					
40	16,87	2,60	6,40	0,061					

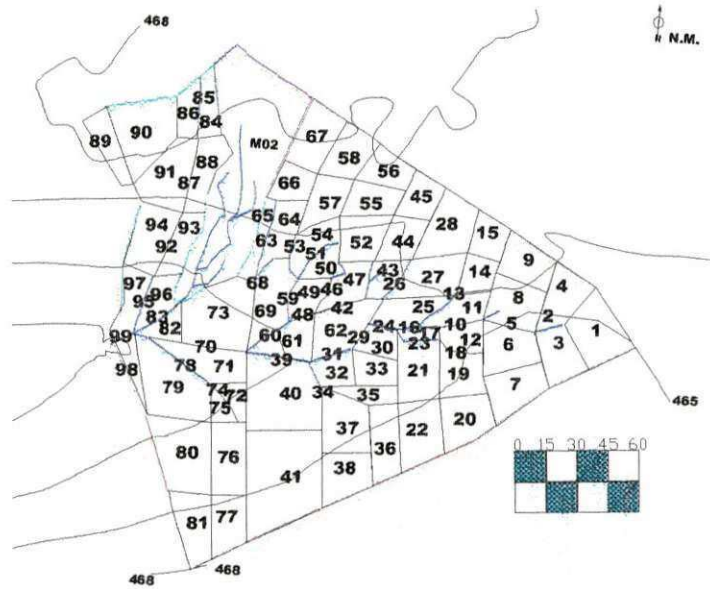


Figura 5.19. Definição dos planos e canais para a microbacia 3 da BESJC.

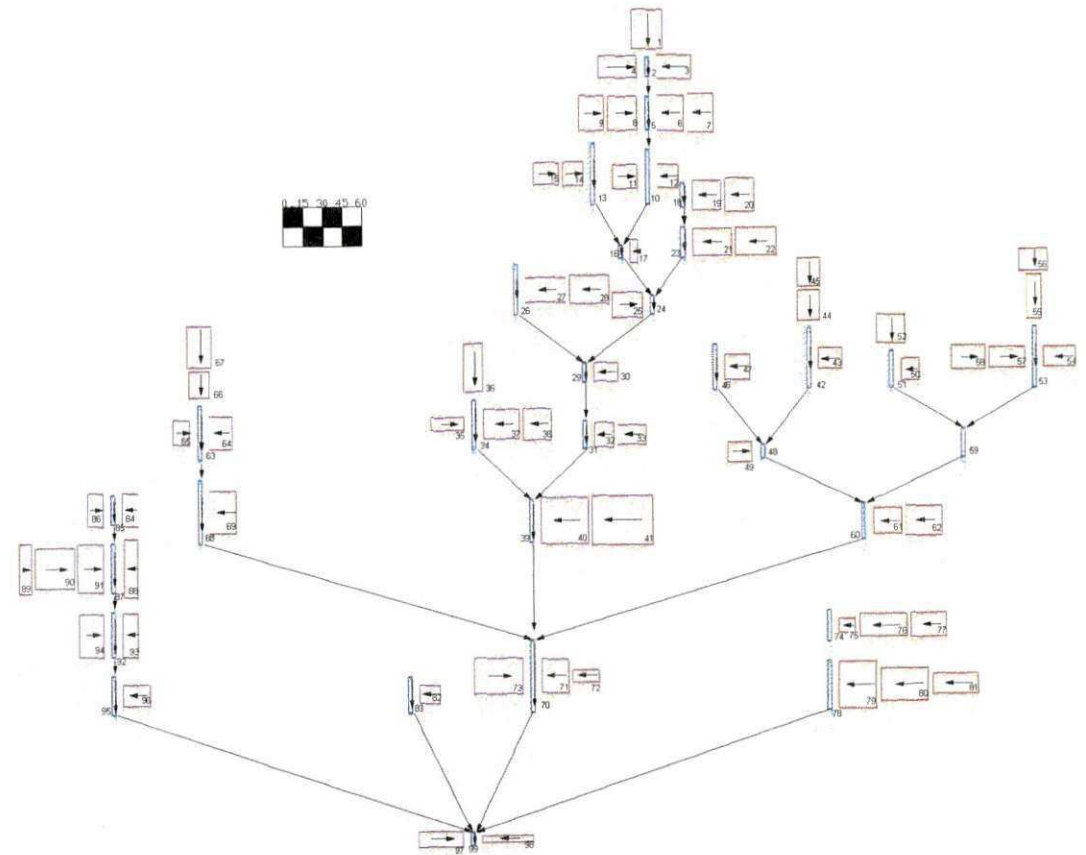


Figura 5.20. Discretização da microbacia 3 da BESJC.

Tabela 5.6. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 3 da BESJC.

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Declividade lateral	Elemento anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
1	319,90	20,20	15,80	0,106					
2	-	10,1	-	0,078	0	1	1	3	4
3	215,00	17,70	12,10	0,065					
4	221,72	19,80	11,20	0,071					
5	-	17,20	-	0,069	0	1	2	6	8
6	248,95	13,90	17,90	0,075				7	
7	254,12	12,90	19,70	0,071					
8	259,80	15,00	17,30	0,073					9
9	226,60	12,80	17,70	0,064					
10	-	27,80	-	0,073	0	1	5	12	11
11	154,26	12,60	12,20	0,089					
12	128,77	10,80	11,90	0,070					
13	-	31,10	-	0,073	0	1			14
14	128,64	10,50	12,30	0,106					15
15	146,77	13,20	11,10	0,078					
16	-	6,70	-	0,065	0	1	10	13	17
17	51,64	4,30	12,00	0,071					
18	-	12,10	-	0,069	0	1		19	
19	216,93	14,40	15,10	0,075				20	
20	256,33	15,10	17,00	0,071					
21	274,99	19,90	13,80	0,073				22	
22	289,52	20,60	14,10	0,064					
23	-	15,90	-	0,073	0,2	0,5	18	21	
24	-	9,40	-	0,089	0,3	0,4	16	23	25
25	195,69	15,30	12,80	0,070					
26	-	25,40	-	0,073	0,2	0,5		27	
27	262,16	20,90	12,50	0,075				28	
28	292,14	20,20	14,50	0,071					

Tabela 5.6. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 3 (Continuação).

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Declividade lateral	Elemento anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
29	-	10,0	-	0,055	0,2	0,5	24	30	28
30	119,45	12,30	9,70	0,056					
31	-	13,90	-	0,052	0,2	0,5	29	32	
32	126,71	10,20	12,40	0,057				33	
33	140,74	14,30	9,80	0,067					
34	-	25,30	-	0,066	0,3	0,4	36	37	35
35	108,10	17,00	6,40	0,068					
36	235,06	24,70	9,50	0,061					
37	283,98	18,70	15,20	0,055				38	
38	230,36	14,40	16,00	0,056					
39	-	21,60	-	0,052	0,3	0,4	31	40	34
40	573,97	24,10	23,80	0,057				41	
41	773,61	31,20	24,80	0,067					
42	-	-	-	0,066	0,2	0,5	44	43	
43	120,61	11,70	10,30	0,068					
44	172,03	15,20	11,30	0,069			45		
45	164,32	14,40	11,40	0,071					
46	-	23,30	-	0,069	0	1		47	
47	171,26	13,20	13,00	0,061					
48	-	7,20	-	0,055	0	1	46	42	49
49	134,09	13,00	10,30	0,071					
50	106,43	9,40	11,30	0,069					
51	-	19,00	-	0,065	0	1	52	50	
52	212,87	14,40	14,80	0,061					
53	-	31,00	-	0,055	0	1	55	54	57
54	165,68	16,10	10,30	0,056					
55	177,05	22,70	7,80	0,052			56		
56	168,60	11,10	15,20	0,057					

Tabela 5.6. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 3 (Continuação).

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Declividade lateral	Elemento anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
57	189,49	18,20	10,40	0,068					58
58	208,53	17,30	12,10	0,066					
59	-	14,90	-	0,052	0	1		53	51
60	-	18,50	-	0,061	0	1	59	61	48
61	189,93	14,40	13,20	0,055				62	
62	278,58	18,74	14,90	0,056					
63	-	28,10	-	0,052			66	64	65
64	193,25	11,50	16,80	0,057					
65	110,10	8,80	12,50	0,067					
66	144,91	13,50	10,70	0,066			67		
67	261,46	21,10	12,40	0,068					
68	-	32,90	-	0,069	0	1	63	69	
69	291,80	13,60	21,50	0,071					
70	-	37,0	-	0,069	0	1	39	60	68
71	240,60	13,80	17,40	0,073				72	
72	86,38	13,70	6,30	0,089					
73	458,85	25,20	18,20	0,070					
74	-	15,80	-	0,073	0	1		75	
75	63,28	8,90	7,10	0,067				76	
76	273,44	23,70	11,50	0,061				77	
77	221,18	18,40	12,00	0,055					
78	-	25,00	-	0,056	0	1		79	
79	456,56	19,20	23,80	0,052				80	
80	407,35	24,50	16,60	0,057				81	
81	249,80	23,70	10,50	0,067					
82	95,48	10,60	9,00	0,066					
83	-	18,70	-	0,068	0	1		82	
84	133,74	8,00	16,70	0,069					

Tabela 5.6. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 3 (Continuação).

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Declividade lateral	Elemento anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
85	-	14,70	-	0,066	0	1		84	86
86	125,73	7,50	16,80	0,052					
87	-	25,10	-	0,061	0	1	85	88	91
88	209,12	7,00	29,90	0,055					
89	163,88	6,40	25,60	0,056					
90	406,75	19,90	20,40	0,052					89
91	313,92	12,70	24,70	0,057					90
92	-	22,8	-	0,067	0,2	0,5	87	93	94
93	173,02	7,80	22,20	0,066					
94	271,54	12,40	21,90	0,068					
95	-	19,70	-	0,069	0,2	0,5	92	96	
96	149,98	13,80	10,90	0,071					
97	175,68	22,60	7,80	0,069					
98	86,90	26,10	3,30	0,073					
99	-	6,70	-	0,089	0,2	0,5	70	78	95

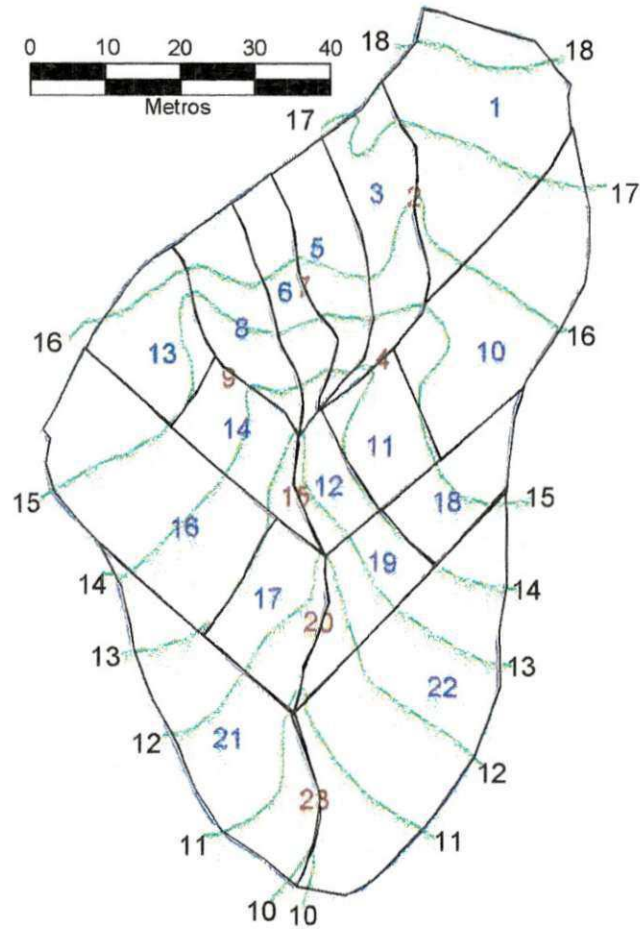


Figura 5.21. Definição dos planos e canais para a microbacia 3 de Sumé.

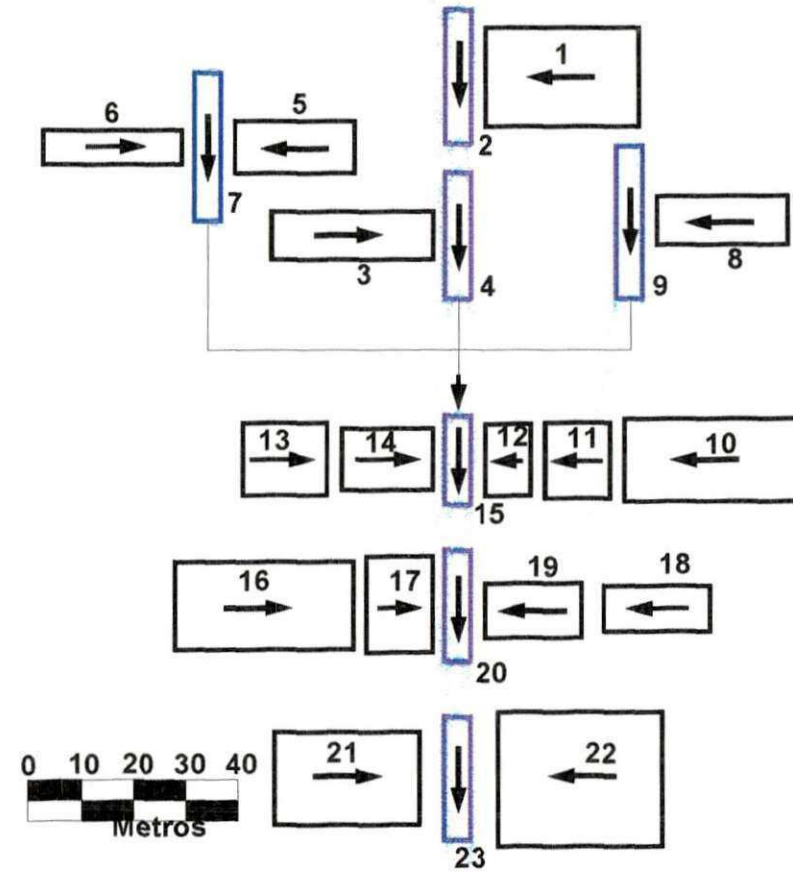


Figura 5.22. Discretização da microbacia 3 de Sumé.

Tabela 5.7. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 3 de Sumé.

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Declividade lateral	Elemento anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
1	556	29,1	19,1	0,069					
2	-	25,9	-	0,097	0	1		1	
3	283	30,5	9,3	0,075					
4	-	24,4	-	0,082	0,2	0,5	2		3
5	227	22,6	10,0	0,106					
6	171	26,4	6,5	0,087					
7	-	28,8	-	0,122	0	1		5	6
8	231	24,7	9,4	0,105					
9	-	29,5	-	0,102	0	1		8	
10	526	32,8	16,0	0,052					
11	181	12,3	14,7	0,081			10		
12	119	8,5	13,9	0,141			11		
13	222	15,9	14,0	0,069					
14	206	17,2	11,9	0,122			13		
15	-	17,2	-	0,058	0,3	0,4	4,7,9	12	14
16	577	33,8	17,0	0,074					
17	232	12,5	18,6	0,104			16		
18	180	20,1	8,9	0,070					
19	191	18,2	10,5	0,121			18		
20	-	21,5	-	0,046	0,3	0,4	15	19	17
21	491	27,3	18,0	0,066					
22	806	31,0	26,0	0,077					
23	-	23,9	-	0,042	0,4	0,3	20	22	21

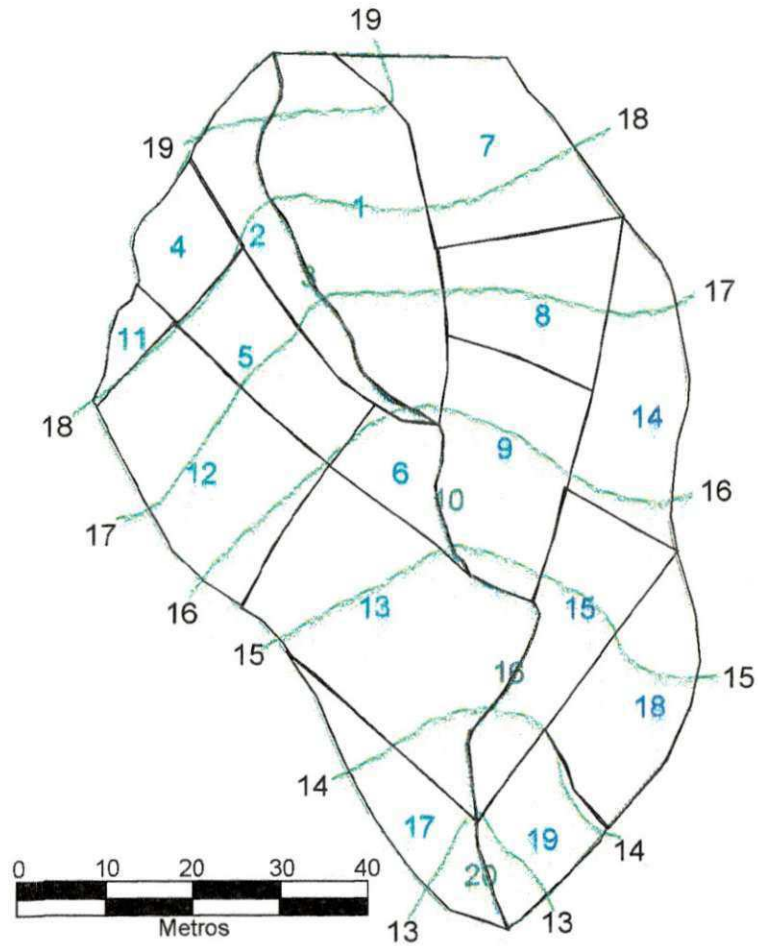


Figura 5.23. Definição dos planos e canais para a microbacia 4 de Sumé.

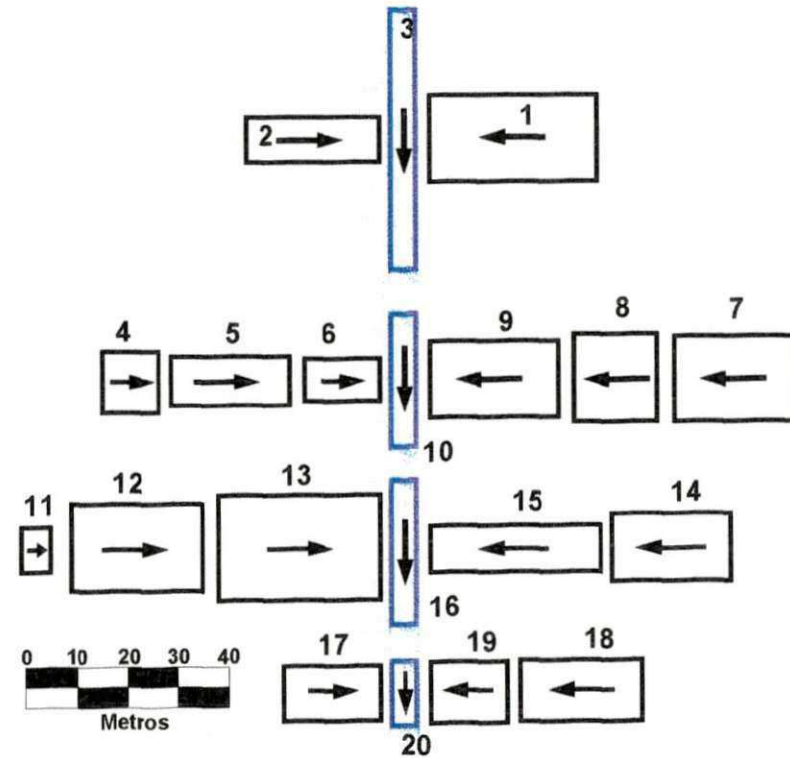


Figura 5.24. Discretização da microbacia 4 de Sumé.

Tabela 5.8. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 4 de Sumé.

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Declividade lateral	Elemento anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
1	555	32,7	17,0	0,083					
2	232	26,2	8,9	0,080					
3	-	51,2	-	0,064	0	1		1	2
4	135	11,2	12,0	0,063					
5	228	23,5	9,7	0,085			4		
6	124	14,7	8,5	0,055			5		
7	396	23,7	16,8	0,059					
8	285	16,4	17,4	0,061			7		
9	377	25,2	15,0	0,068			8		
10	-	26,3	-	0,042	0,2	0,5	3	9	6
11	51	5,7	8,9	0,053					
12	447	26,0	17,2	0,085			11		
13	660	31,8	20,8	0,054			12		
14	314	23,4	13,4	0,047					
15	312	33,4	9,3	0,069			14		
16	-	28,4	-	0,063	0,3	0,4	10	15	13
17	207	19,0	10,9	0,058					
18	292	24,1	12,1	0,054					
19	183	15,0	12,2	0,073			18		
20	-	12,7	-	0,016	0,4	0,3	16	19	17

Os parâmetros utilizados foram os mesmos das parcelas, já que as microbacias possuem o mesmo tipo de solo que as parcelas, ou seja, solo franco argilo-arenoso. Os parâmetros que mudaram estão mostrados na Tabela 5.9.

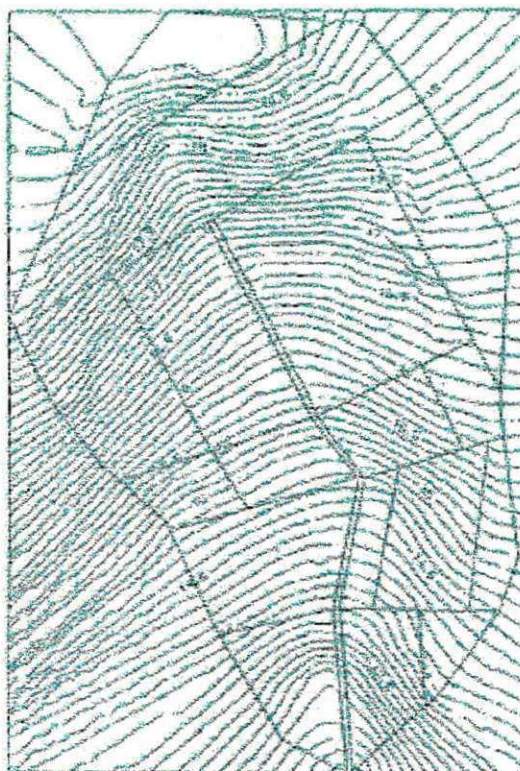


Figura 5.25. Discretização da Microbacia 4 (Galvão, 1990).

Tabela 5.9. Valores dos Parâmetros n , K_e e d_{50} utilizados para as microbacias.

Microbacias	Área (ha)	Declividade média (%)	Cobertura Vegetal	n de Manning (planos;canais)	K_e (mm/h)	d_{50} (mm)
1 - SJC	0,18	7,5	Desmatada	0,02;0,03	3,88	0,40
2 - SJC	0,16	6,9	Desmatada	0,02;0,03	3,81	0,45
3 - SJC	1,63	7,1	Desmatada	0,02;0,03	5,31	0,44
3 - Sumé	0,52	7,1	Desmatada	0,02;0,03	4,11	0,50
4 - Sumé	0,48	6,8	Desmatada	0,02;0,03	Validada	0,50

Os diâmetros representativos das misturas de sedimentos na modelagem da produção de sedimentos nas microbacias também foram considerados como sendo os diâmetros medianos. As Figuras 5.26 - 5.30 mostram a distribuição granulométrica de amostras coletadas nas microbacias 3 e 4 de Sumé e das microbacias 1,2 e 3 de São João do Cariri. O diâmetro mediano obtido foi de aproximadamente 0,50 mm e 0,44 mm respectivamente.

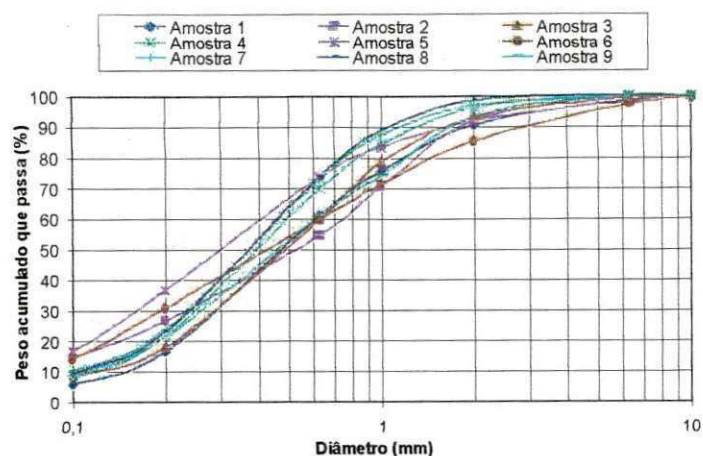


Figura 5.26. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na microbacia 3 da BES (Lopes,2003).

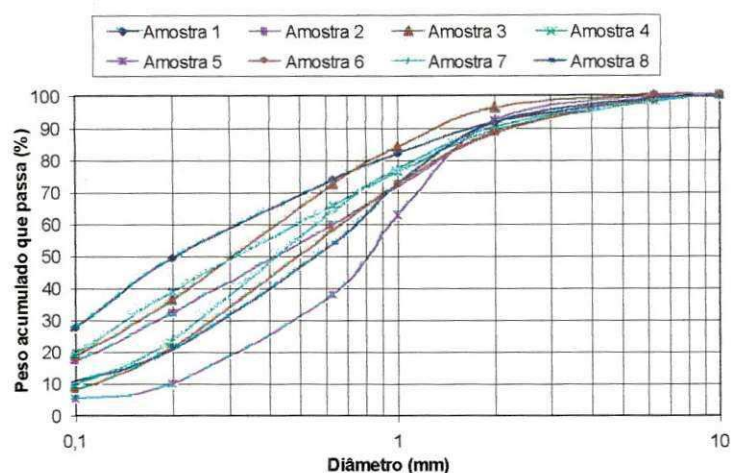


Figura 5.27. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na microbacia 4 da BES (Lopes,2003).

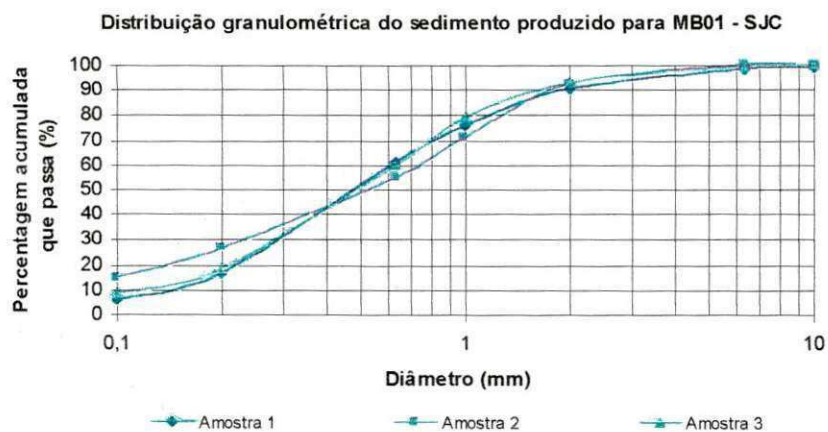


Figura 5.28. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na microbacia 1 - BESJC.

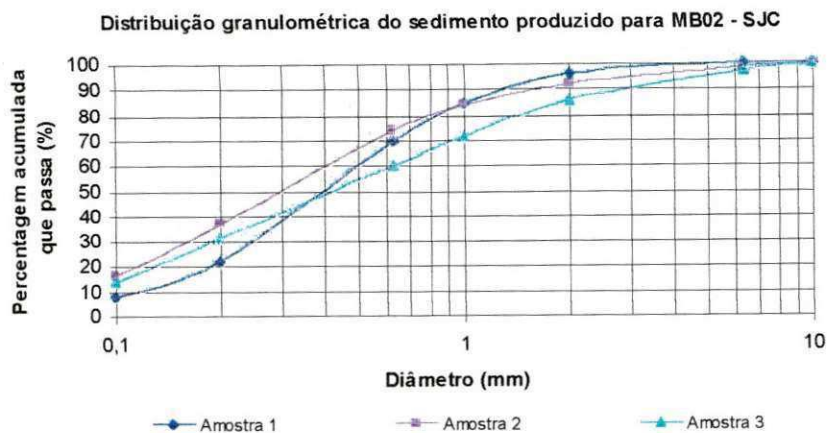


Figura 5.29. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na microbacia 2 - BESJC.

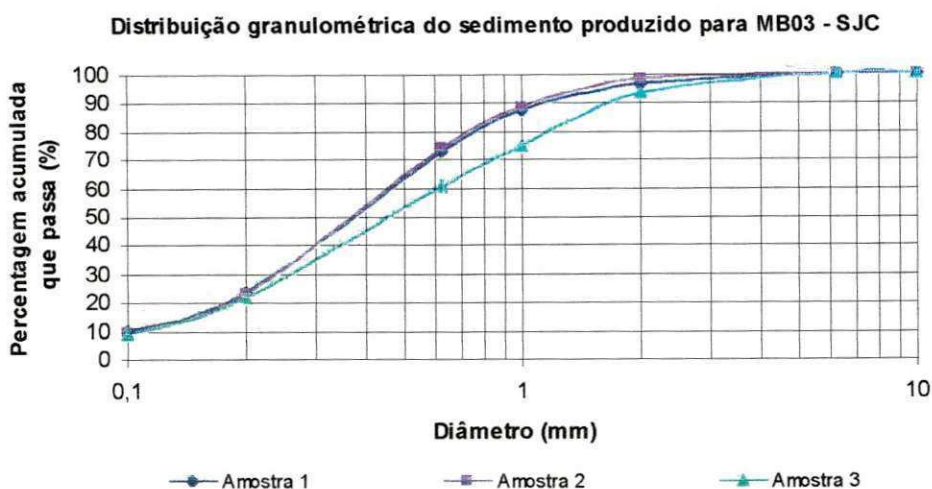


Figura 5.30. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na microbacia 3 - BESJC.

As Figuras 5.31 a 5.38 mostram os resultados da variação da saturação inicial relativa do solo (parâmetro S_i) e do parâmetro de erosão nos canais (parâmetro K_r) contra o evento, isto é, o número da cheia para os eventos da Bacia Experimental de Sumé e São João do Cariri. As Tabelas 09 a 18 do Anexo 1, mostram os valores dos parâmetros S_i e K_r para todos os eventos utilizados para as microbacias da Bacia Experimental de Sumé e São João do Cariri, bem como os valores observados e calculados de lâmina e erosão. É importante enfatizar que devido aos poucos eventos observados, o parâmetro K_r foi calibrado utilizando todos os dados das microbacias 1,2,e 3 de São João do Cariri. No caso dos dados de Sumé, os dados da microbacia 3 foram utilizados para calibrar o parâmetro

K_r , tendo para este processo sido utilizado os valores médios de K_i da parcelas 1 e 4. Como os valores médios de K_i das parcelas e K_r da microbacia 3, a validação foi feita com os dados da microbacia 4

Nas simulações realizadas para as microbacias 1, 2 e 3 de São João do Cariri, utilizando os critérios de discretizações anteriormente mencionados, a microbacia 1 foi discretizada em 62 elementos sendo 38 planos e 24 canais, a microbacia 2 em 40 elementos, de 27 planos e 13 canais e a microbacia 3 com 99 elementos, sendo 67 planos e 32 canais. As figuras 5.15 a 5.30 mostram as formas das microbacias e o esquema de elementos discretos de planos e canais para modelagem e simulação.

Para simulações realizadas para as microbacias 3 e 4 de Sumé foram utilizadas a discretização feitas por Lopes (2003). A microbacia 3 foi discretizada em 23 elementos, com 16 planos e 7 canais, e a microbacia 4 foi discretizada em 20 elementos, com 16 planos e 4 canais. As tabelas 5.6 a 5.10 apresentam as microbacias e o esquema do fluxo nos elementos discretizados.

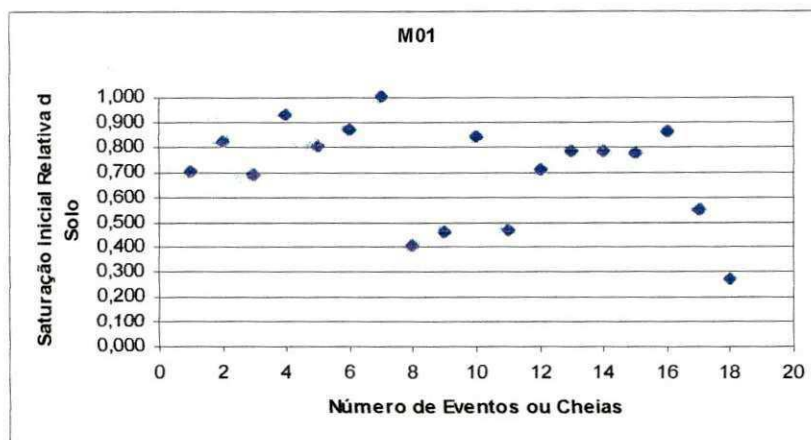


Figura 5.31. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a microbacia 1 (SJC).

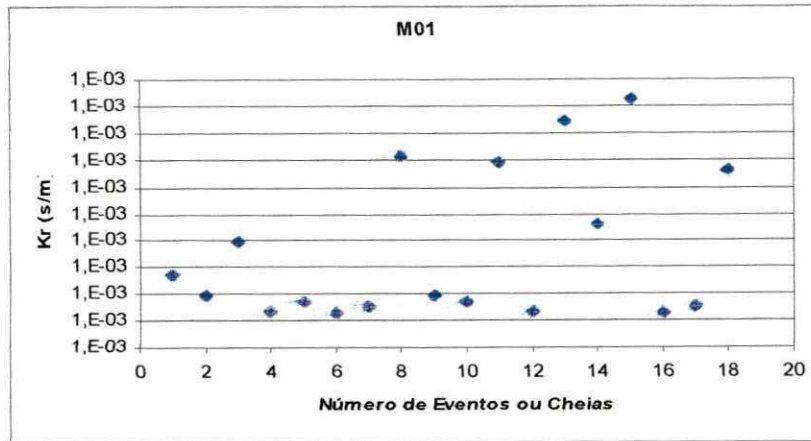


Figura 5.32. Valor do parâmetro K_r versus número da cheia para a microbacia 1 (SJC).

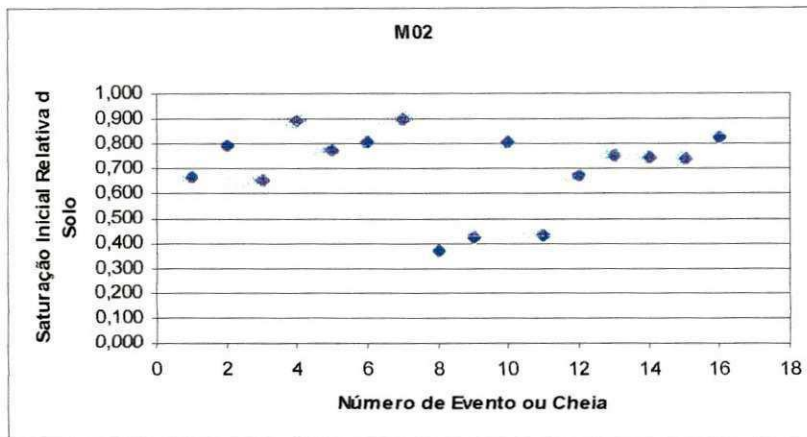


Figura 5.33. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número cheia para a microbacia 2(SJC).

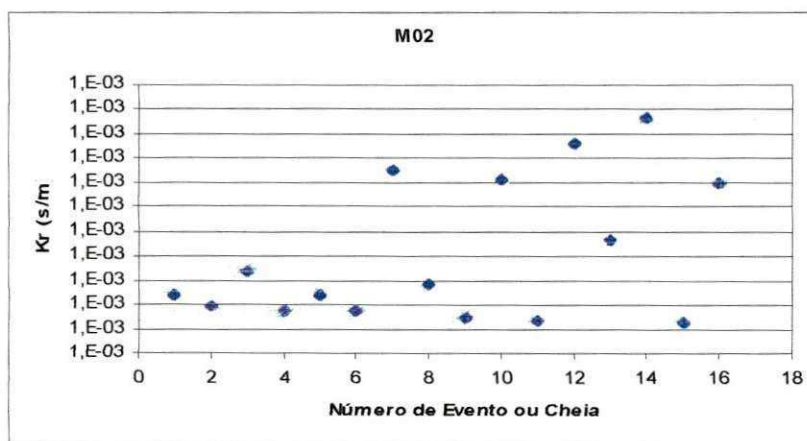


Figura 5.34. Valor do parâmetro K_r versus número da cheia para a microbacia 2(SJC).

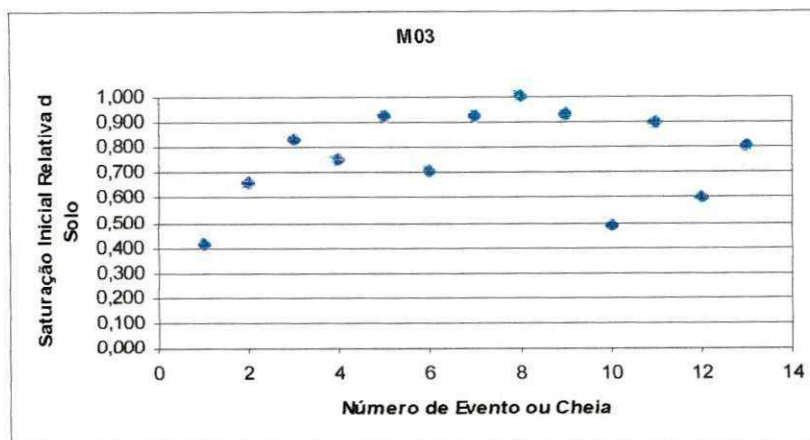


Figura 5.35. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a microbacia 3 (SJC).

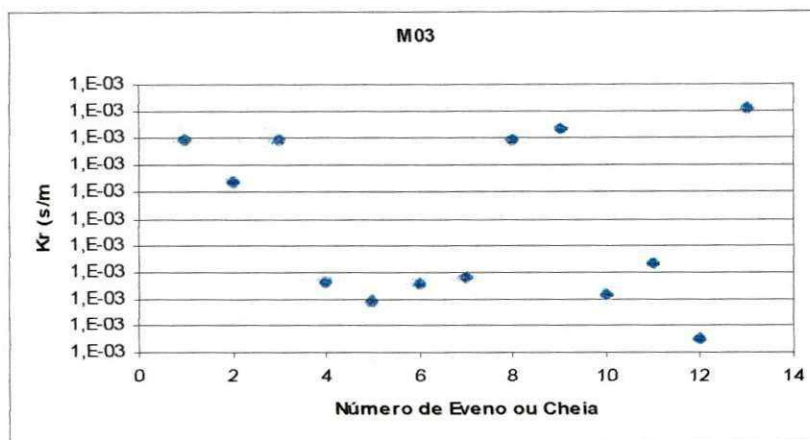


Figura 5.36. Valor do parâmetro K_r versus número da cheia para a microbacia 3(SJC).

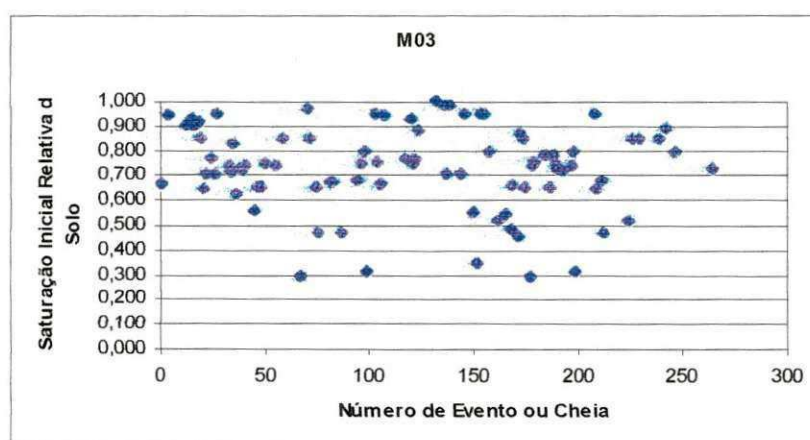


Figura 5.37. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número cheia para a microbacia 3 de Sumé.

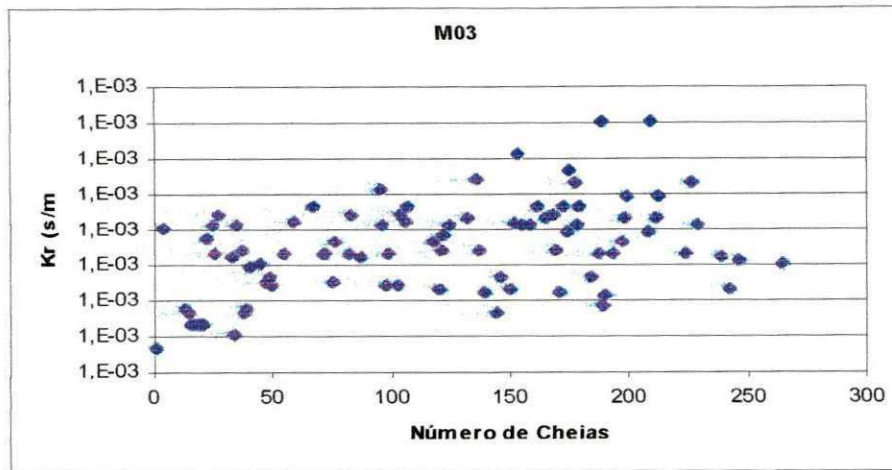


Figura 5.38. Valor do parâmetro K_r versus número da cheia para a microbacia 3 de Sumé.

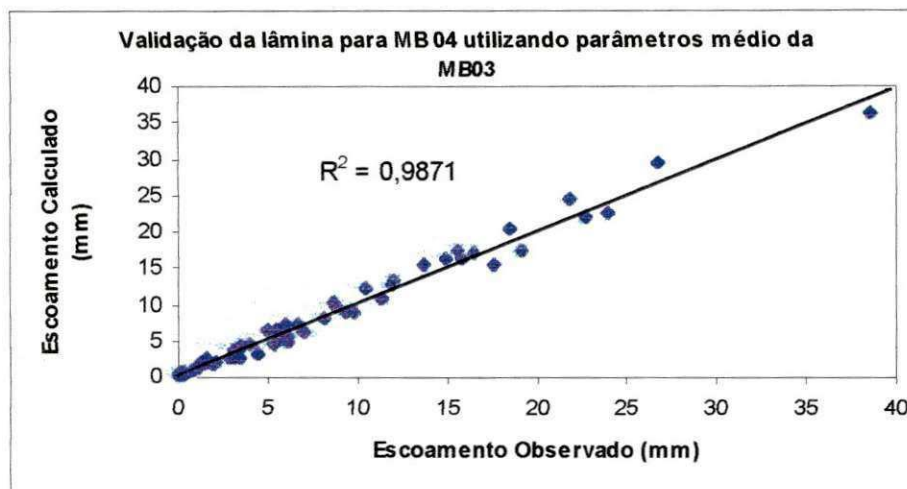


Figura 5.39. Comparação entre o valor da lâmina observada com a calculada usando os parâmetros médios obtidos na calibração da microbacia 3 de Sumé para a microbacia 4 de Sumé.

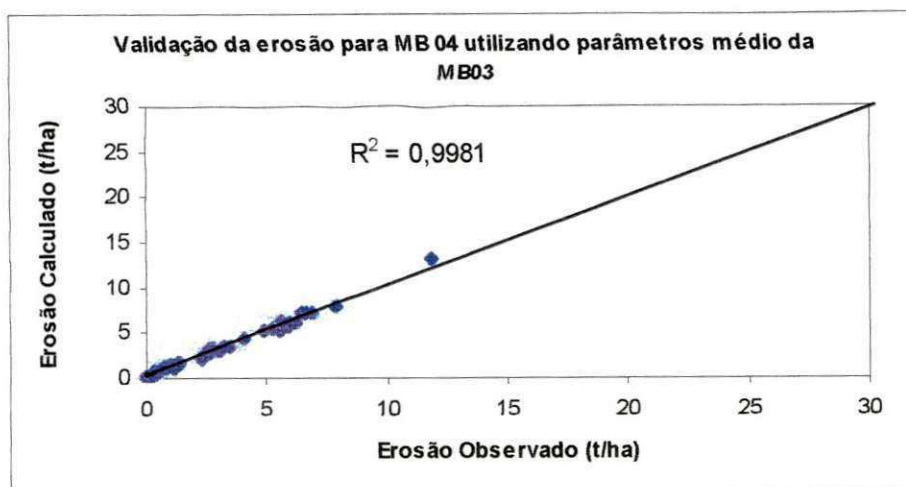


Figura 5.40. Comparação entre o valor da erosão observada com a calculada usando os parâmetros médios obtidos na calibração da microbacia 3 de Sumé para a microbacia 4 de Sumé.

As figuras 5.39 e 5.40 mostram os resultados da validação com os dados da microbacia 4 de BES, obtidos para os mesmos eventos da microbacia 3 também de BES. As respectivas figuras mostram as comparações entre os valores simulados e valores observados de escoamento e erosão respectivamente. O coeficiente da determinação para os valores simulados de escoamento foi superior a 98% enquanto para erosão o mesmo foi superior a 99% indicando um excelente desempenho.

5.3. Modelagem do Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas sub-bacias da BRS

A Bacia Representativa de Sumé, bem como as sub-bacias de Jatobá e Umburana, foram representadas no modelo por um conjunto de elementos planos e canais, levando-se em consideração o relevo (Figura 5.41) e a hidrografia e tipo de solo (Figura 5.42). A vegetação não foi levada em consideração neste processo de discretização devido à inexistência de mapas apropriados ou informações adequadas.

Devido à inexistência de mapas de relevo na escala de 1:25.000 com um intervalo nas curvas de nível de 10 m, foi necessário interpolar as curvas de nível com intervalo de 50 m utilizando um mapa na escala de 1: 100.000, por Lopes(2003), conforme mostrado na Figura 5.41.

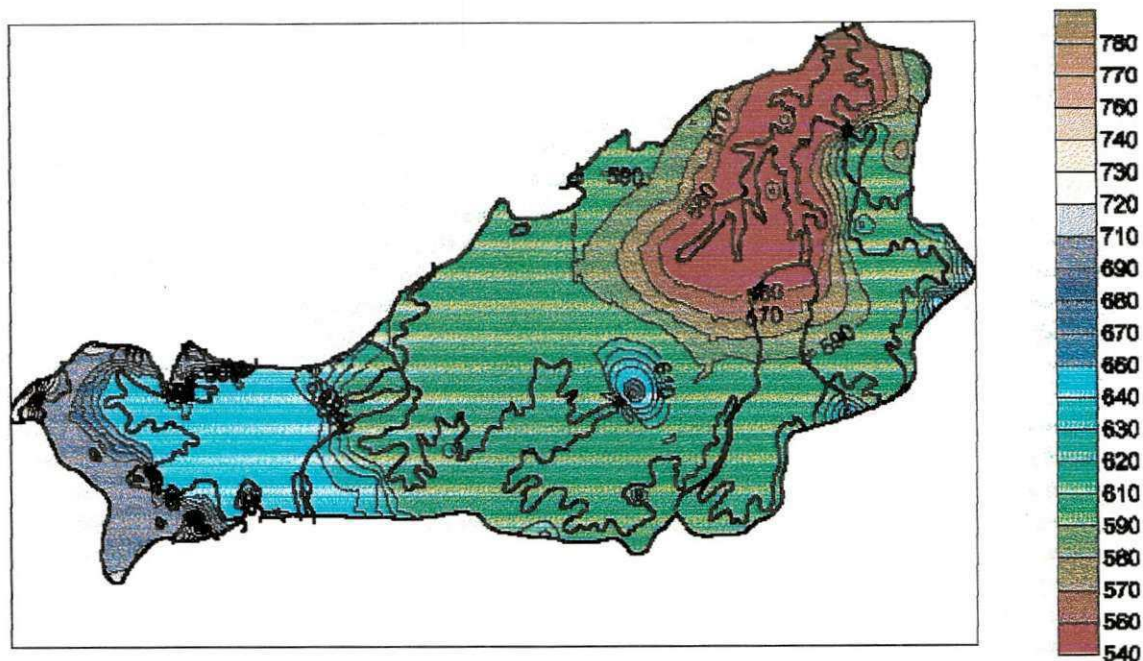


Figura 5.41. Mapa de Relevo da Bacia Representativa de Sumé.

As bacias foram discretizadas com o objetivo de tornar cada elemento plano ou canal o mais homogêneo possível, ou seja, com uma declividade constante e com um mesmo tipo de solo. As dimensões dos elementos foram determinadas através de medições no mapa. Cada elemento plano foi transformado em retângulos, cujas dimensões foram determinadas medindo-se as linhas de fluxo definidas pelas curvas de nível do mapa de relevo, cujo valor seria o comprimento do plano. A largura do plano foi determinada dividindo-se a área do elemento plano medida no mapa, pelo comprimento da linha de fluxo. As declividades dos elementos planos e canais foram determinadas pelo quociente entre a diferença de cota ao longo da linha de fluxo pelo comprimento da própria linha de fluxo. A determinação dos planos e canais na discretização das três sub-bacias está mostrada na Figura 5.43.

A sub-bacia de Umburana foi discretizada em 75 elementos, com 51 planos e 24 canais (Figura 5.44), a sub-bacia de Jatobá em 77 elementos, com 53 planos e 24 canais (Figura 5.45), e a Bacia Representativa de Sumé em 361 elementos, com 246 planos e 115 canais (Figura 5.46). As características geométricas e a seqüência de cálculo dos elementos discretizados estão apresentadas nas Tabelas 1 a 3 no Anexo 2.

5.3.1. Determinação dos Parâmetros do Modelo

Os parâmetros de infiltração foram definidos para cada tipo de solo da Bacia Representativa de Sumé. Os solos podzólicos vermelho amarelo equivalente eutrófico, litólicos eutróficos e bruno não-cálcico vértico podem ser classificados como solos franco argilo-arenosos, e os solos aluviais como sendo uma areia franca, segundo a classificação utilizada pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos para solos de acordo com a granulometria, ou seja, de acordo com as porcentagens de areia, silte, e argila presente nas amostras de solo. Dessa forma, os parâmetros de infiltração para os solos franco argilo-arenosos, com base nos estudos de Rawls et al. (1983) podem ser estabelecidos como: $\phi = 0,398$; $\lambda = 0,32$; e para os solos aluviais: $\phi = 0,437$; $\lambda = 0,55$.

O coeficiente de Manning foi adotado de acordo com os estudos de Figueiredo (1998a) nesta mesma área, como sendo 0,04, 0,067 e 0,067 para os planos das bacias de Umburana, Jatobá e BRS; respectivamente, e 0,033 para os canais das três bacias.

Os valores de condutividade hidráulica efetiva (K_e) foram calibrados, e os que obtiveram o melhor resultado na simulação do volume do escoamento superficial foram: 3,88 mm/h para o solo bruno não-cálcico vértico; 5,35 mm/h para o solo litólico eutrófico; 12,31 mm/h para o solo podzólico; 4,17 mm/h para associações de solos bruno não-cálcicos e litólicos eutróficos e mais de 50 mm/h para os solos aluviais.

A saturação inicial relativa do solo (S_i) foi calibrada para cada cheia para as três bacias. Como o programa WEPP não disponibiliza um critério ou procedimento para estabelecer a saturação inicial no seu corpo computacional, fez-se necessário calibrar este parâmetro desde as parcelas até as sub-bacias, estabelecendo como critério de consistência a chuva antecedente de cada evento de cheia. Optou-se por calibrar o valor de S_i e não utilizar um valor médio desse parâmetro como indicado por Lopes (2003), pelo fato desse parâmetro ter se mostrado bastante sensível no valor do escoamento superficial. Esse valor varia muito, principalmente quando o solo está com a umidade inicial baixa, ou seja, em condições secas.

Para a Bacia Representativa de Sumé foram apresentados nove eventos de cheia com dados chuva e o escoamento com o hidrograma (Cadier, 1982). É justamente nestes nove eventos observados que serão determinados os valores dos parâmetros ligados ao fluxo para um melhor entre os valores simulados e observados do escoamento superficial. O resultado da aplicação do modelo à Bacia Representativa de Sumé está mostrado na

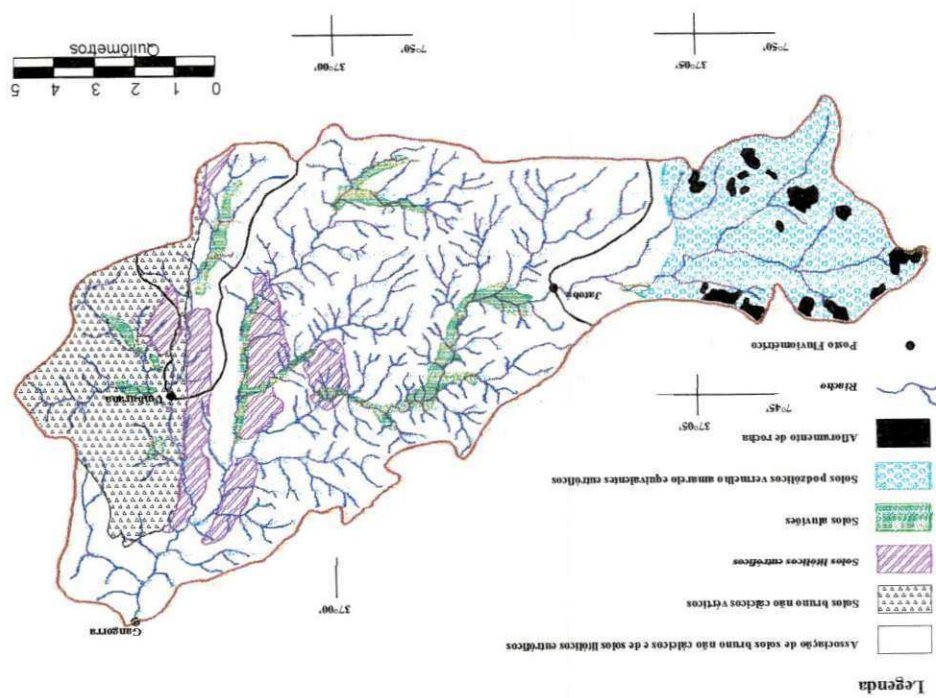
Tabela 5.11 junto com uma comparação com as lâminas simuladas por Lopes (2003), utilizando os modelos WESP e KINEROS2.

Tabela 5.11. Resultado da calibração da lâmina escoada na BRS.

Cheia	Bacia	P(mm)	Lo(mm)	WEPP	Sat	KINEROS2		WESP	
				Lc(mm)		G (mm)	Lc(mm)	N _s (mm)	Lc(mm)
1	Umburana	112,9	68,00	67,94	0,82	74	67,87	11	67,68
9	Umburana	37,0	11,40	11,45	0,71	86	11,40	26	11,47
11	Umburana	50,0	6,11	6,13	0,30	377	6,11	285	6,14
11	Jatobá	13,8	2,41	2,39	0,94	10	0,31	0,32	2,41
16	Jatobá	102,8	7,09	7,10	0,27	960	7,11	383	7,08
19	Jatobá	73,0	2,86	2,85	0,29	460	2,86	203	2,85
6	Gangorra	62,0	4,68	4,69	0,41	200	4,70	155	4,64
7	Gangorra	57,7	1,17	1,18	0,33	250	1,17	228	1,18
13	Gangorra	32,1	7,02	6,96	0,93	10	3,38	26	6,97

Os hidrogramas simulados e observados para as sub-bacias de Umburana, Jatobá e Gangorra utilizando o modelo WEPP, bem como, as comparações com os resultados obtidos com os modelos utilizados por Lopes (2003) estão mostradas nas figuras 5.47 a 5.55.

Figura 5.42. Mapa de Solos e Hidrografia da Bacia Representativa de Sumé



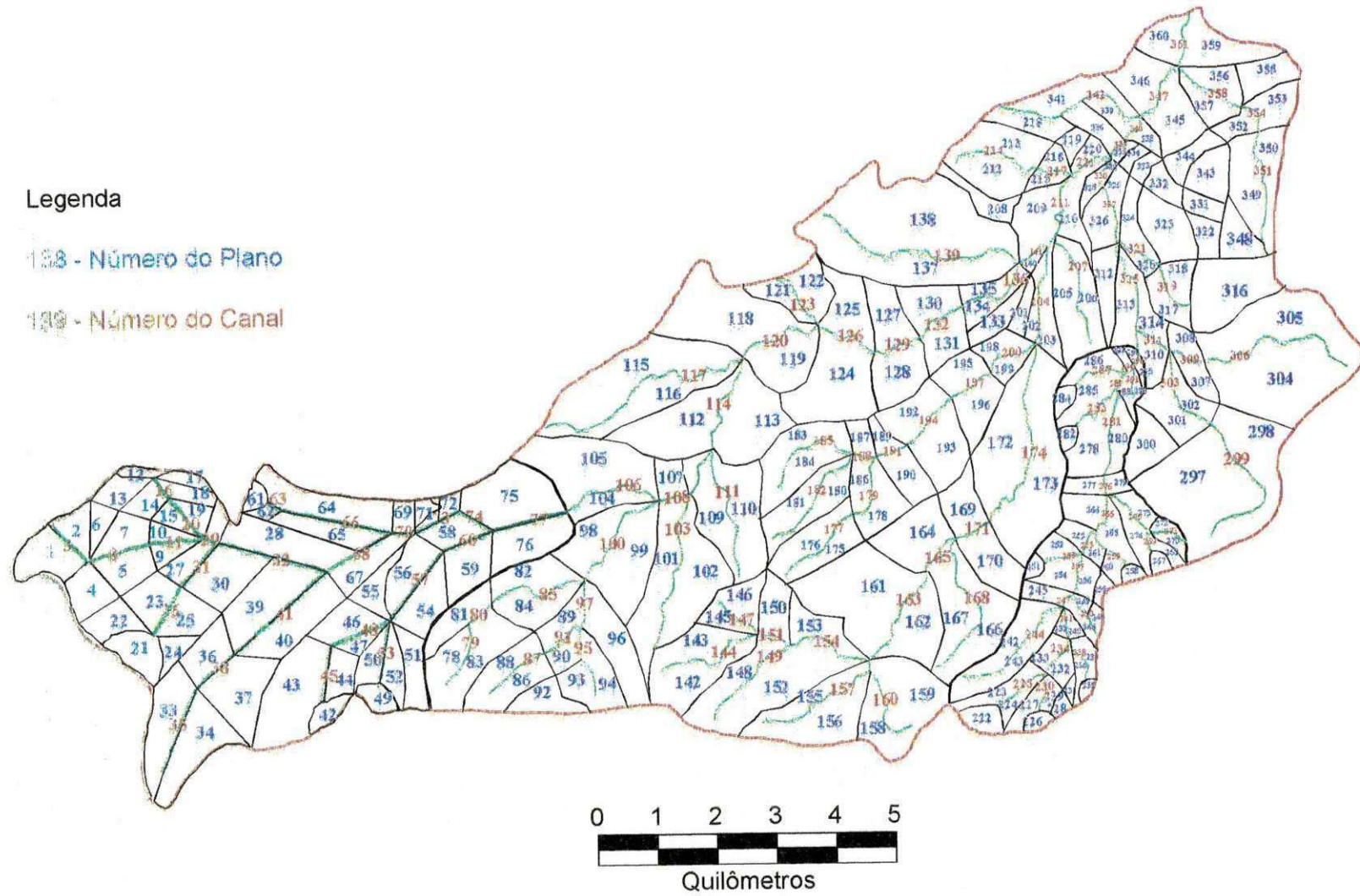


Figura 5.43. Determinação dos planos e canais na discretização da Bacia Representativa de Sumé.

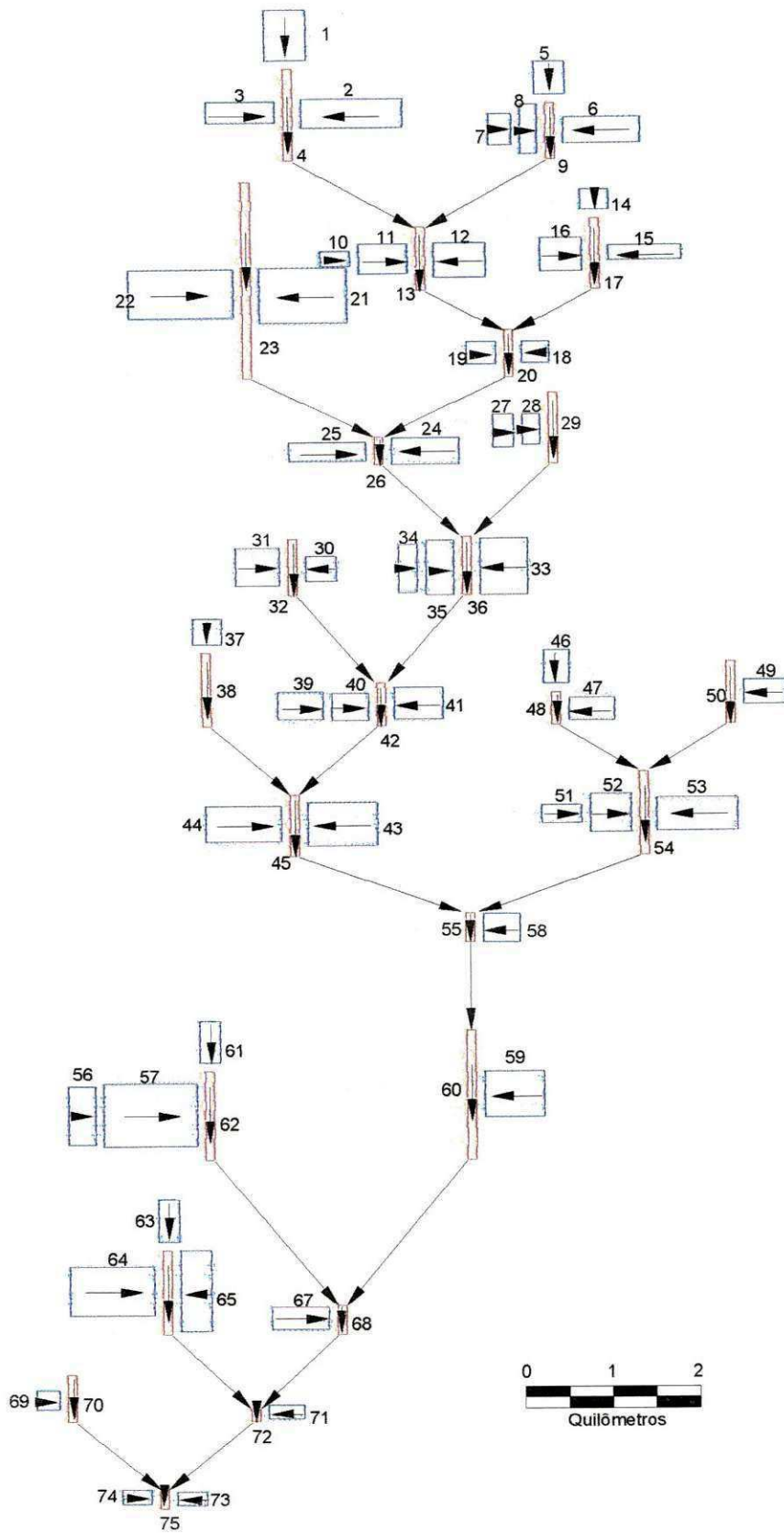


Figura 5.44. Discretização da bacia de Umburana em planos e canais.

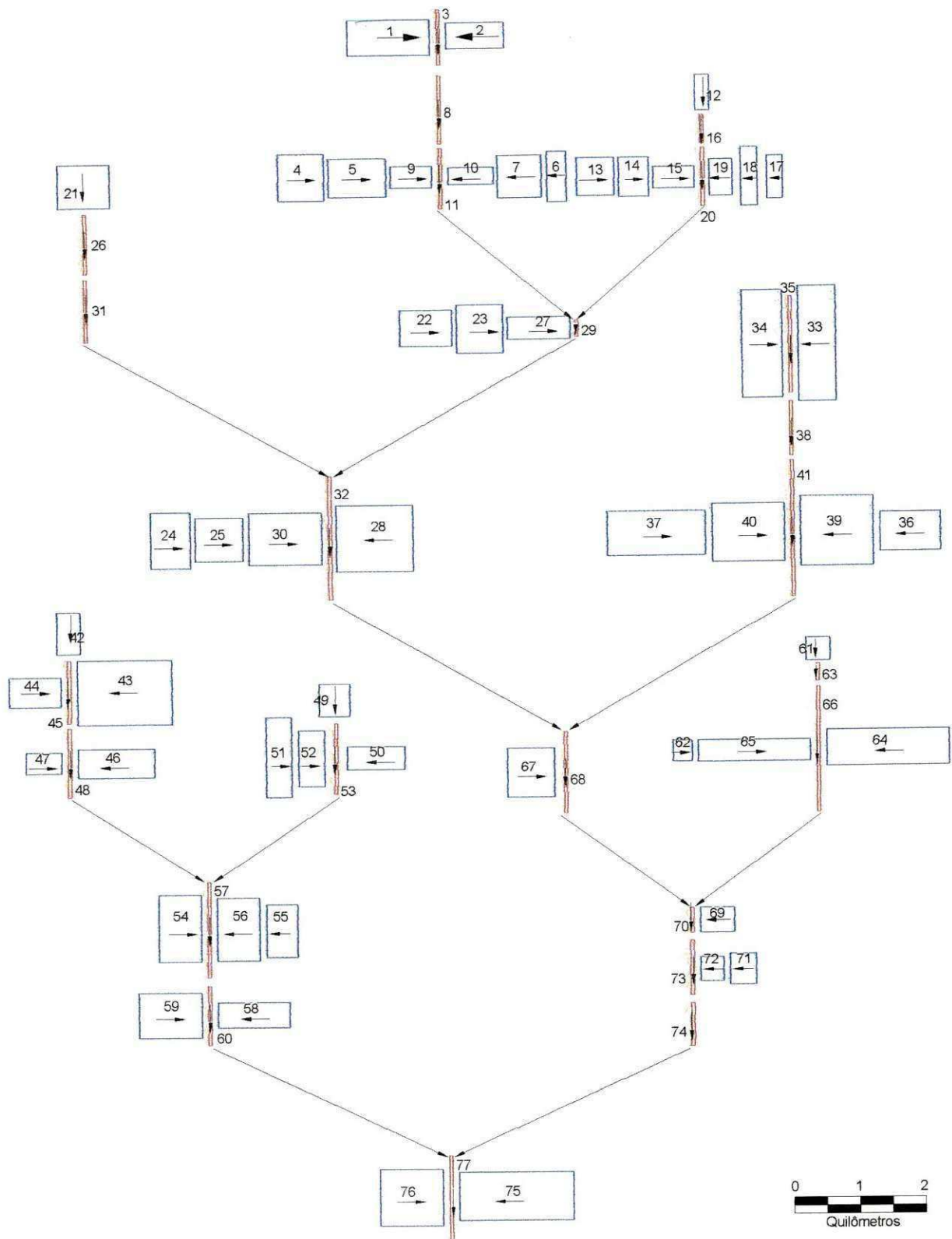


Figura 5.45. Discretização da bacia de Jatobá em planos e canais.

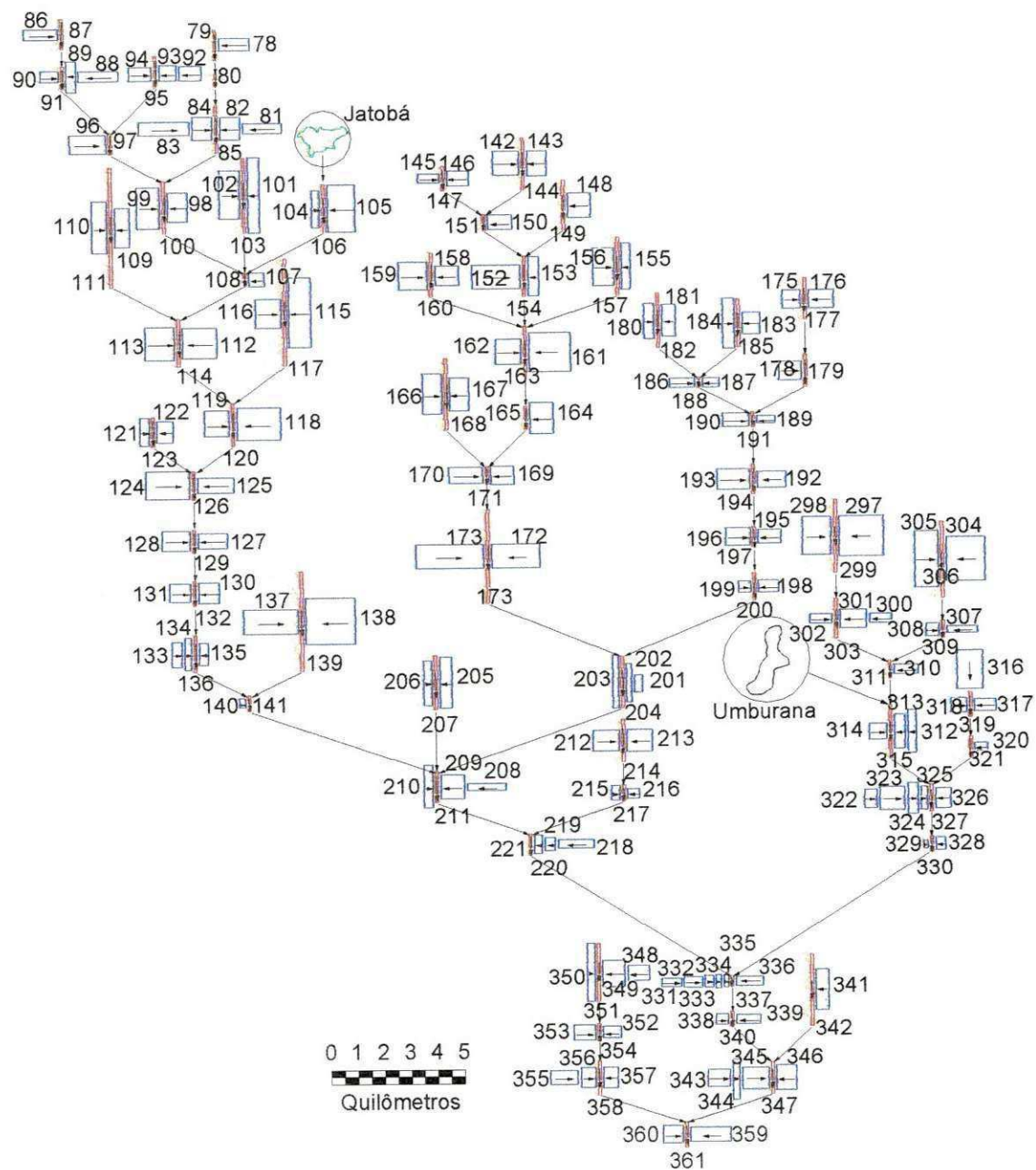


Figura 5.46. Discretização da Bacia Representativa de Sumé em planos e canais.

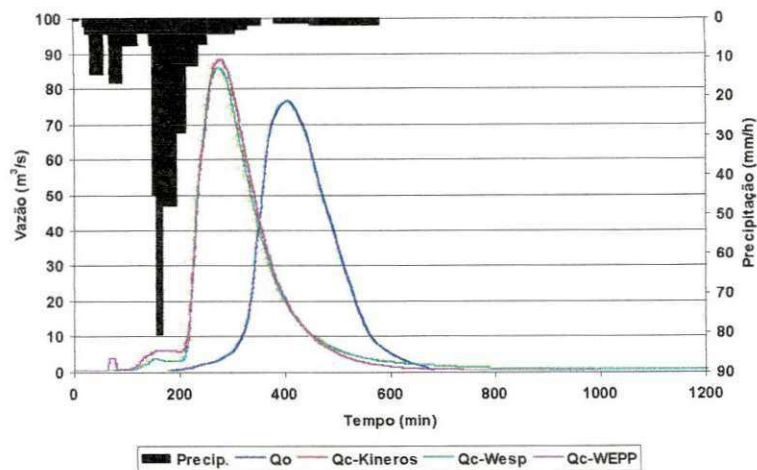


Figura 5.47. Hidrogramas observado e calculado pelo modelo WEPP e comparados com os modelos Kineros2 e WESP para a cheia 01 na sub-bacia de Umburana.

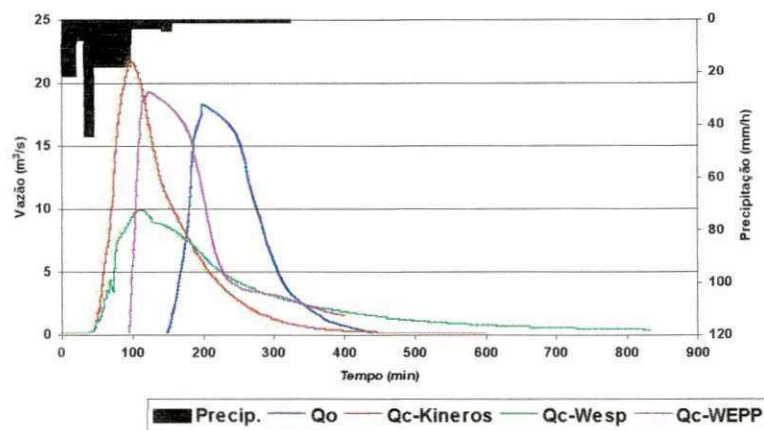


Figura 5.48. Hidrogramas observado e calculado pelo modelo WEPP e comparados com os modelos Kineros2 e WESP para a cheia 09 na sub-bacia de Umburana.

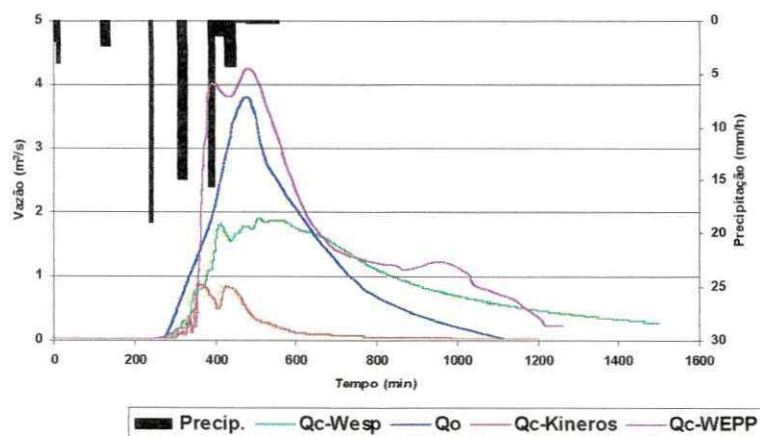


Figura 5.49. Hidrogramas observado e calculado pelo modelo WEPP e comparados com os modelos Kineros2 e WESP para a cheia 11 na sub-bacia de Umburana.

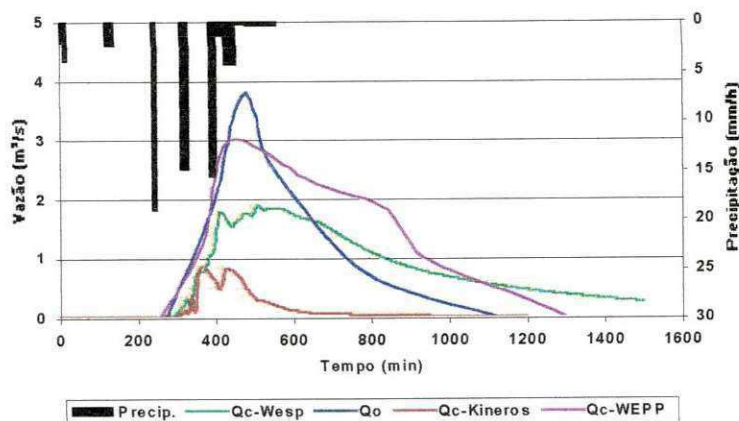


Figura 5.50. Hidrogramas observado e calculado pelo modelo WEPP e comparados com os modelos Kineros2 e WESP para a cheia 11 na sub-bacia de Jatobá.

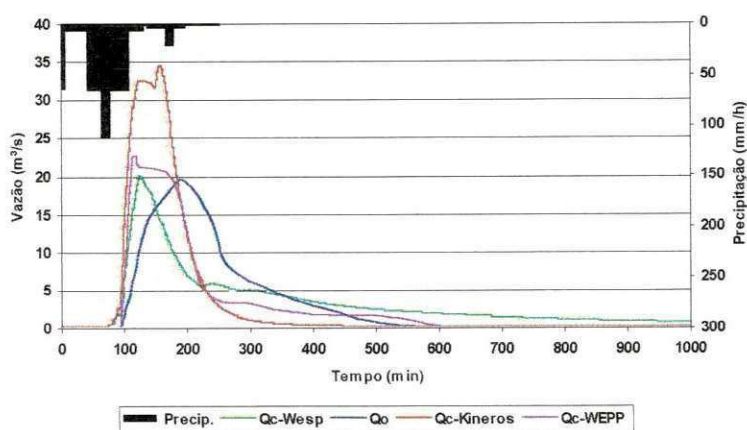


Figura 5.51. Hidrogramas observado e calculado pelo modelo WEPP e comparados com os modelos Kineros2 e WESP para a cheia 16 na sub-bacia de Jatobá.

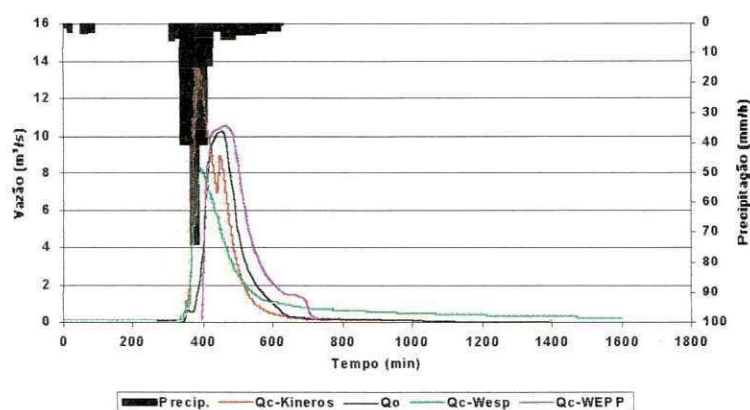


Figura 5.52. Hidrogramas observado e calculado pelo modelo WEPP e comparados com os modelos Kineros2 e WESP para a cheia 19 na sub-bacia de Jatobá.

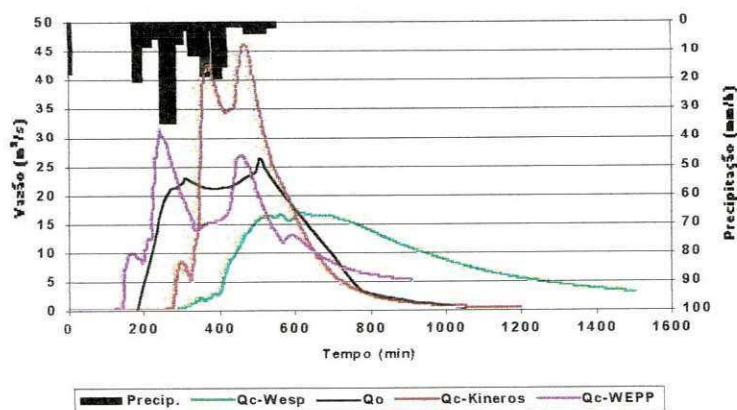


Figura 5.53. Hidrogramas observado e calculado pelo modelo WEPP e comparados com os modelos Kineros2 e WESP para a cheia 06 na sub-bacia de Gangorra.

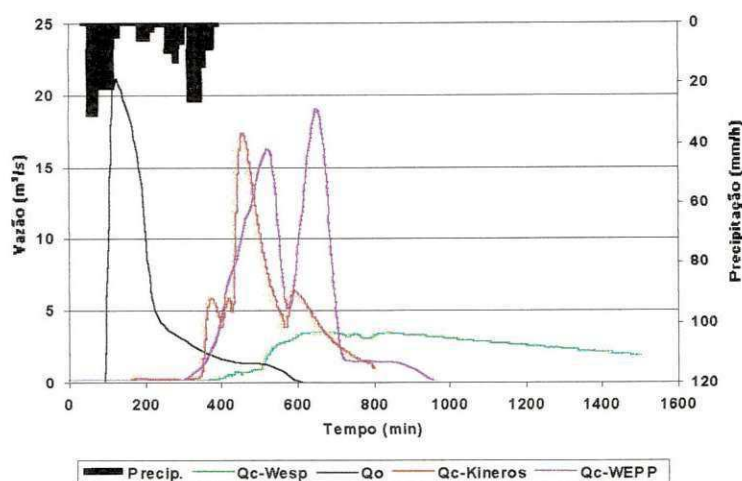


Figura 5.54. Hidrogramas observado e calculado pelo modelo WEPP e comparados com os modelos Kineros2 e WESP para a cheia 07 na sub-bacia de Gangorra.

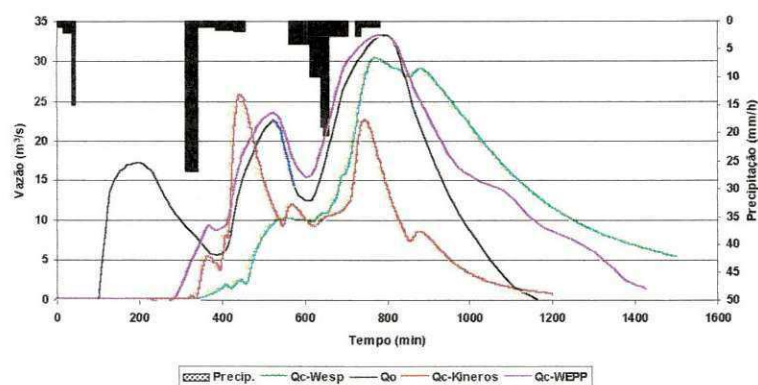


Figura 5.55. Hidrogramas observado e calculado pelo modelo WEPP e comparados com os modelos Kineros2 e WESP para a cheia 13 na sub-bacia de Gangorra.

A produção de sedimentos também foi simulada utilizando o modelo WEPP. No entanto, não existem dados observados de produção de sedimentos nas sub-bacias de Umburana, Jatobá e a bacia de Gangorra. Sendo assim, não tinha como ajustar os parâmetros de erosão do modelo WEPP. No entanto, de acordo com a literatura (Walling, 1983; Julien e Frenette, 1986), a produção (de sedimentos) acumulada anual média diminui com o aumento da área da bacia, portanto, a produção de sedimentos, em massa por unidade de área por ano, de uma parcela de erosão será maior do que às das microbacias, as quais serão por sua vez, maiores do que para as sub-bacias, desde que estas possuam as mesmas características de solo e cobertura vegetal. Dessa forma, a produção de sedimentos média para as parcelas de 100 m² e para as microbacias (tanto de São João do Cariri como às de Sumé) podem ser calculadas com base nos dados observados, e está mostrada na Tabela 5.12.

Portanto, a produção de sedimentos nas sub-bacias não deve superar a produção de sedimentos nas microbacias, que por sua vez não pode superar a produção de sedimentos nas parcelas. Dessa forma, foram feitas várias simulações da produção de sedimentos nas três sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé, alterando-se os parâmetros de erosão do, com o objetivo de avaliar os seus intervalos de variação, baseando-se nos valores de produção média observada para as parcelas e microbacias.

Os parâmetros adicionais referentes à produção de sedimentos utilizada no modelo WEPP foram:

a) Tamanho característico dos sedimentos (d): como não existem dados de granulometria dos solos das três sub-bacias, o diâmetro mediano foi considerado como sendo o mesmo utilizado nas simulações nas microbacias de Sumé, ou seja, d_{50} igual a 0,50 mm (Lopes, 2003);

b) Densidade relativa dos sedimentos (S_r): assumido como sendo igual a 2,65, o que corresponde à densidade específica do grão de quartzo.

c) Coeficiente para a tensão de cisalhamento crítica (δ): foi assumido como sendo o mesmo valor utilizado por Aragão (2000), tomando-se como referência o diâmetro mediano e o peso específico dos sedimentos, o que fornece δ igual a 0,047.

d) Parâmetro de erodibilidade nos planos (K_i): esse parâmetro foi inicialmente calibrado para as parcelas 1 e 2 de São João do Cariri e por seguinte nas parcelas 1 e 4 de Sumé. Nas parcelas 1 e 2 de São João do Cariri, calibrou-se o parâmetro para 37 eventos

da parcela 1 e validou-se esse parâmetro para a parcela 2, com mesmas condições de cobertura vegetal, respeitando o mesmo período de dados. Os valores desta calibração e simulação encontram-se nas Tabelas 5, 6a e 6b Anexo 1. Com o valor médio do parâmetro K_i , levou-se esse valor médio para a calibração do parâmetro K_r nas microbacias.

e) Parâmetro de erodibilidade nos canais (K_r): este parâmetro também varia de evento para evento. Inicialmente calibrou-se o parâmetro para as microbacias 1 e 2 de São João do Cariri. Com o valor médio da calibração de M02, simulou-se para a M03, haja vista que, M02 é uma sub-bacia da M03 (Tabela 16 Anexo1). Obteve-se com isso um valor médio do parâmetro, para a BESJC. Em seguida calibrou-se esse mesmo parâmetro para a microbacia 3 de Sumé e validou-se o valor desse parâmetro na microbacia 4. Com isso obteve-se o valor médio, tanto de São João do Cariri como de Sumé. Esse valor médio inicialmente foi utilizado para a simulação nas sub-bacias e bacia. Em seguida esse valor foi sendo alterado de acordo com seu valor-limite físico, como mostrado nas Tabelas 5.13-5.15.

Galvão (1990) e Santos (1994) afirmaram que a produção de sedimentos era pouco sensível a variação de K_r , e constatado neste estudo, então o parâmetro K_r foi variado de modo a analisar sua interferência na produção de sedimentos nas sub-bacias. O resultado da variação desse parâmetro no cálculo da produção de sedimentos está mostrado nas Tabelas 5.13 a 5.15, onde foram marcados os valores irrealis para a produção de sedimentos nas sub-bacias, de acordo com o mesmo procedimento adotado anteriormente na aplicação do modelo Kineros2 para a simulação da produção de sedimentos.

Tabela 5.12. Produção de Sedimento média anual para as parcelas e microbacias da BES e BESJC.

Experimento	Produção de Sedimento (kg/ha/ano)	Cobertura Vegetal
M01 - SJC	5.160	Desmatada
M02 - SJC	3.120	Desmatada
M03 - SJC	680	Desmatada
M03 - Sumé	22.513	Desmatada
M04 - Sumé	22.484	Desmatada
Parcela 01- SJC	151.887	Desmatada
Parcela 02 - SJC	86.667	Cobertura Nativa/Desmatada
Parcela 01 - Sumé	35.449	Desmatada
Parcela 04 - Sumé	49.437	Desmatada

Tabela 5.13. Valores do parâmetro *Kr* e produção de sedimentos para a sub-bacia de Umburana com os possíveis valores irrealis marcados.

Umburana - cheia 01			Umburana - cheia09			Umburana - cheia 11		
Kr (s/m)	Ec (kg/ha)	Acréscimo(%)	Kr (s/m)	Ec (kg/ha)	Acréscimo(%)	Kr (s/m)	Ec (kg/ha)	Acréscimo(%)
1,0E-03	947	-	1,0E-03	348	-	1,0E-03	24	-
1,0E-02	947	0,00	1,0E-02	348	0,00	1,0E-02	24	0,00
1,0E-01	1.165	23,02	1,0E-01	547	57,18	1,0E-01	24	0,00
1,0E+00	2.670	129,18	1,0E+00	1.024	87,20	1,0E+00	42	75,00
1,0E+01	6.347	137,72	1,0E+01	2.674	161,13	1,0E+01	86	104,76
1,0E+02	15.477	143,85	1,0E+02	7.664	186,61	1,0E+02	203	136,05
1,0E+03	38.454	148,46	1,0E+03	23.577	207,63	1,0E+03	500	146,31
1,0E+04	102.477	166,49	1,0E+04	95.441	304,81	1,0E+04	1.489	197,80
1,0E+05	366.767	257,90	1,0E+05	1.254.789	1.214,73	1,0E+05	4.657	212,76
1,0E+06	1.454.544	296,59	1,0E+06	23.554.777	1.777,19	1,0E+06	16.479	253,85

Tabela 5.14. Valores do parâmetro *Kr* e produção de sedimentos para a sub-bacia de Jatobá com os possíveis valores irrealis marcados.

Jatoba - cheia 11			Jatoba - cheia 16			Jatoba - cheia 19		
Kr (s/m)	Ec (kg/ha)	Acréscimo(%)	Kr (s/m)	Ec (kg/ha)	Acréscimo(%)	Kr (s/m)	Ec (kg/ha)	Acréscimo(%)
1,0E-03	0,65	-	1,0E-03	1.024	-	1,0E-03	280	-
1,0E-02	0,88	35,38	1,0E-02	1.024	0,00	1,0E-02	280	0,00
1,0E-01	1,36	54,55	1,0E-01	1.024	0,00	1,0E-01	280	0,00
1,0E+00	2,21	62,50	1,0E+00	1.024	0,00	1,0E+00	280	0,00
1,0E+01	3,96	79,19	1,0E+01	1.024	0,00	1,0E+01	280	0,00
1,0E+02	7,35	85,61	1,0E+02	1.024	0,00	1,0E+02	280	0,00
1,0E+03	13,68	86,12	1,0E+03	1.024	0,00	1,0E+03	280	0,00
1,0E+04	26,69	95,10	1,0E+04	1.230	20,12	1,0E+04	311	11,07
1,0E+05	1.254,0	4.598,39	1,0E+05	11.478	833,17	1,0E+05	425	36,66
1,0E+06	184.365	14.602,15	1,0E+06	254.874	2.120,54	1,0E+06	36.997	8.605,18

Tabela 5.15. Valores do parâmetro K_r e produção de sedimentos para a sub-bacia de Gangorra com os possíveis valores irrealis marcados.

Gangorra - cheia 06			Gangorra - cheia 07			Gangorra - cheia 13		
K_r (s/m)	E_c (kg/ha)	Acréscimo(%)	K_r (s/m)	E_c (kg/ha)	Acréscimo(%)	K_r (s/m)	E_c (kg/ha)	Acréscimo(%)
1,0E-03	95	-	1,0E-03	15	-	1,0E-03	166	-
1,0E-02	95	0,00	1,0E-02	15	0,000	1,0E-02	166	0,000
1,0E-01	95	0,00	1,0E-01	15	0,000	1,0E-01	166	0,000
1,0E+00	95	0,00	1,0E+00	15	0,000	1,0E+00	166	0,000
1,0E+01	95	0,00	1,0E+01	15	0,000	1,0E+01	166	0,000
1,0E+02	95	0,00	1,0E+02	15	0,000	1,0E+02	166	0,000
1,0E+03	95	0,00	1,0E+03	15	0,000	1,0E+03	166	0,000
1,0E+04	133	40,00	1,0E+04	20	33,333	1,0E+04	415	150,000
1,0E+05	190	42,86	1,0E+05	20	0,000	1,0E+05	415	0,000
1,0E+06	274	44,21	1,0E+06	20	0,000	1,0E+06	415	0,000

CAPÍTULO 6

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A relação entre os parâmetros do modelo WEPP e a umidade do solo foi testada utilizando diversos índices, relacionados basicamente com a precipitação antecedente. Um dos objetivos da procura por uma relação entre os parâmetros do modelo WEPP e os índices era estimar o valor dos parâmetros principais do modelo a partir de uma informação de fácil obtenção, disponível antes do evento. Não foi possível estabelecer neste estudo uma relação definitiva que possa fornecer os valores dos parâmetros principais do modelo WEPP. Entretanto, a partir dos estudos de Lopes (2003), em que uma relação entre o parâmetro G (valor efetivo do potencial de capilaridade do modelo KINEROS) e um índice de umidade foi proposta é possível se obter o valor deste parâmetro principal do modelo. Deve salientar que a relação proposta precisa ser confirmada e aperfeiçoada com dados adicionais não somente da região de Sumé, mas em São João do Cariri.

Inicialmente, tanto para parcelas quanto para as microbacias de São João do Cariri, utilizou-se apenas os dados de 1999-2002, pois os dados de 2003 estavam ainda na fase de processamento. Assim, os processos de calibração e simulação em São João do Cariri foram realizados com estes dados. Com disponibilidade de dados de 2003, utilizou-se estes dados também. Primeiramente testou-se a validação dos resultados de calibração anterior através de simulação dos eventos de 2003 e o resultado foi bastante satisfatório como pode ser visto nas Tabelas 19 a 23 Anexo 1. Em seguida reuniu-se os dados de todo o período de 2003, tanto para as parcelas quanto para as microbacias, para realizar uma calibração dos parâmetros do modelo, como pode ser vista nas Tabelas 24 a 28 Anexo 1. O objetivo deste procedimento foi obtenção de uma melhor estimativa dos parâmetros e suas faixas de variabilidade, já que o número de eventos registrados até 2002 não foi grande. Entretanto, a simulação dos eventos de 2003 com os parâmetros calibrados com poucos dados contribuiu para verificar o grau de confiabilidade dos parâmetros estimados.

Dentre as calibrações realizadas para o período de 1999-2003 de São João do Cariri, pode-se concluir que se obteve resultados bastante satisfatórios. Esses bons resultados deve-se ao fato da consistência dos parâmetros dos modelos, que não variaram muito de eventos para evento, o que mostra a robustez do modelo.

Outro motivo que nos leva a boa confiabilidade do modelo é o fato dos valores dos parâmetros K_i e K_r estarem dentro do intervalo disposto por Nearing (1995), tanto para parcelas quanto microbacias e apenas poucos valores, menos de 5 (cinco) por cento, terem ficado de fora deste intervalo. Apesar desses intervalos de valores serem representativas as regiões norte-americanas, a calibração destes parâmetros serviu para que verificássemos a variabilidade dos mesmos dentro da região, pois cada região possui características físico-climática individual.

6.1. Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas Parcelas

Os resultados obtidos na modelagem do escoamento superficial, em termos do parâmetro de saturação inicial relativa do solo (S_i), e na produção de sedimentos, em termos do parâmetro K_i , estão resumidos abaixo:

a) Para a parcela 1 (Desmatada): De um total de 96 eventos simulados, o modelo não conseguiu simular o escoamento superficial em 06 eventos. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,66. O parâmetro K_e ficou em torno de 3,86 mm/h e o parâmetro K_i ficou em torno de $6,14 \times 10^5$ kg.s/m⁴.

b) Para a parcela 2 (Desmatada): De um total de 96 eventos simulados, sendo que, 44 eventos forma simulados para a condição em que a parcela estava com cobertura nativa, o modelo não conseguiu gerar o escoamento superficial em 2 eventos e os 52 eventos na qual a parcela encontrava-se desmatada, em apenas 1 evento o modelo não conseguiu simular o escoamento superficial. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,69. O parâmetro K_e ficou em torno de 3,44 mm/h e o parâmetro K_i ficou em torno de $5,86 \times 10^5$ kg.s/m⁴.

c) Para a parcela 1 – Sumé (Desmatada): De um total de 215 eventos simulados, o modelo não conseguiu simular o escoamento superficial observado em 44 eventos. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,72. O parâmetro K_e ficou em torno de 3,50 mm/h e o parâmetro K_i ficou em torno de $5,20 \times 10^5$ kg.s/m⁴.

d) Para a parcela 4 - Sumé (Desmatada): De um total de 215 eventos simulados, o modelo não conseguiu gerar satisfatoriamente o escoamento superficial observado para

43 eventos. Para simulação nesta parcela utilizou-se os valores dos parâmetros calibrados na parcela 01 de Sumé que seria um processo de validação. Os resultados são bastantes satisfatório que reforçam a aplicabilidade destes parâmetros em outros locais com condições físico-climáticas semelhantes.

Pode-se observar que tanto para a parcela 01 como para parcela 04, de Sumé, ficou um número significativo de eventos em que o modelo não conseguiu gerar respostas. Lopes (2003) também encontrou essa dificuldade, e foram em maioria dos casos, nos mesmos eventos de cheias. A razão para esta situação não está clara e merece estudos complementares.

6.1.1. Escoamento Superficial

Pela aplicação do modelo WEPP às duas parcelas da Bacia Experimental de São João do Cariri e às duas da Bacia Experimental de Sumé, pode-se observar que os valores da saturação inicial relativa do solo são bastante altos. Apesar desse parâmetro representar a umidade inicial relativa do solo, ele não parece ser o valor médio real da saturação inicial relativa do solo em campo. Valores altos como estes não são esperados, em alguns eventos numa região semi-árida, cujo solo permanece muito seco a maior parte do ano. São Várias as possíveis explicações para tais valores desta saturação inicial. Alguns deles são discutidos a seguir.

Uma explicação para o valor aparentemente alto encontrado nas simulações para o parâmetro S_i pode ter sido a fixação do potencial capilar médio Ψ igual a 260 mm. Este parâmetro depende das características do solo e também varia com a umidade. Woolhiser et al. (1990), baseado nos estudos de Rawls et al. (1983), indicam valores médios desse parâmetro de acordo com o tipo de solo, e recomenda que utilizem este valor médio quando não estão disponíveis dados de campo. Caso tivéssemos pares de valores da condutividade hidráulica e do potencial mátrico do solo, poderíamos calcular Ψ pela Equação 3.1. Como não se dispunha desse valor, foi utilizado o valor recomendado por Woolhiser et al. (1990). Sendo assim, o valor de $\Psi = 260$ mm, pode não ser correspondente a condição de umidade normal do solo da Bacia Experimental de Sumé e de São João do Cariri. Na realidade, alguns fatores influenciam a variação deste parâmetro como a mudança nas condições de umidade que ocorrem de evento para evento. O parâmetro Ψ é bastante sensível às condições de umidade do solo e aos valores do potencial mátrico. Este parâmetro atinge valores altos para solos secos e valores baixos para solos saturados. A rápida recuperação da capacidade de infiltração do solo de Sumé e

São João do Cariri, associado ao fato de que os eventos não são contínuos, faz com que a umidade do solo e o potencial de sucção na frente de molhamento variem de evento para evento, que reflete na variação de Ψ ; selagem ou redução da capacidade de infiltração da superfície do terreno, influenciando na formação do escoamento (Foster, 1982; Shultz, 1985): a selagem consiste numa camada de solo fino que cobre a superfície “fechando” os poros e impedindo que a água de chuva atinja as camadas mais internas, através de infiltração. Nesta condição a camada superficial rapidamente satura, propiciando o rápido escoamento superficial. Como consequência, o modelo responde com baixos valores de Ψ ; características dos extratos que compõem o solo (Molinier et al., 1989 e Montenegro, 1990): os horizontes que compõem o solo da Bacia Experimental de Sumé possuem características diferentes entre si sendo, portanto, não homogêneo. O primeiro tem textura franco-areno-argilosa e porosidade que pode facilitar a infiltração. O segundo possui uma textura franco-argilo-arenosa e porosidade relativamente menor que induz a distribuição horizontal da água que infiltra. O modelo de infiltração considera o solo como sendo homogêneo o que contradiz com o encontrado na prática induzindo variações no valor do parâmetro; o modelo de Green e Ampt considera uma frente de molhamento homogênea. O aparecimento de caminhos preferenciais, formado por fendas no solo, raízes e pequenas rochas, fazem com que a água atinja as camadas mais internas de maneira heterogênea, existentes nas camadas do solo da Bacia Experimental de Sumé (Molinier et al., 1989; Montenegro, 1990). Assim como no caso anterior, este comportamento é contrário às hipóteses do modelo, e, portanto resultam na variabilidade do parâmetro Ψ . Além dos caminhos preferenciais, Montenegro (1990) cita possíveis circulações laterais no topo do horizonte vértico do solo de Sumé e por fim a inexistência de uma rotina de atualização contínua da umidade do solo durante os intervalos entre os eventos: como o modelo não contempla a referida rotina se faz necessária à calibração deste parâmetro para cada evento, o que resulta numa variação grande do parâmetro entre as condições extremas do solo, seco ou saturado.

6.1.2. Produção de Sedimentos

Em relação à produção de sedimentos, o modelo WEPP conseguiu simular um bom número de eventos para as parcelas de São João do Cariri e um número bastante razoável para as parcelas de Sumé.

Apesar de existirem valores na literatura sobre o parâmetro K_i (Nearing et al., 1995), esses valores são mais representativos para as regiões norte-americanas e levando-se em conta que a região estudada é bastante diferente da maioria das regiões americanas, preferiu-se calibrar o parâmetro para as parcelas e microbacias e verificar sua variabilidade dentro da região.

Dessa forma, para as parcelas, os intervalos de variação do parâmetro K_i podem ser recomendados para áreas sem cobertura vegetal, já que o mesmo variou entre 10^5 a 10^6 para as parcelas desmatadas de São João do Cariri e para as parcelas de Sumé.

O modelo de erosão do WEPP representou razoavelmente bem a produção de sedimentos, se comparado ao modelo KINEROS2, haja vista, os resultados medidos aproximam razoavelmente bem dos resultados medidos, e os parâmetros ligados a erosão não varia muito de evento a evento, o que mostra a confiabilidade do modelo. Um motivo por isso acontecer deve-se ao fato da equação de capacidade de transporte adota, no modelo WEPP utiliza-se à equação de Yalin (1963) e o modelo KINEROS2 à equação de Engelund e Hasen (1967). Faz-se necessário uma investigação mais detalhada sobre a produção de sedimento, pois a alta complexidade dos processos de erosão, transporte e deposição, fazem com que sempre tenha algo a se investigar.

6.2. Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas Microbacias

Os resultados obtidos na modelagem do escoamento superficial, em termos do parâmetro de saturação inicial relativa do solo (S_i) e da produção de sedimentos, K_r , estão resumidos abaixo:

a) Para a microbacia 1 (BESJC): De um total de 42 eventos simulados, o modelo não conseguiu simular o escoamento superficial em 16 eventos. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,723. O parâmetro K_e ficou em torno de 3,88 mm/h e o parâmetro K_r , ficou em torno de $1,0829 \times 10^{-3}$ s/m.

b) Para a microbacia 2 (BESJC): De um total de 42 eventos simulados, o modelo não conseguiu gerar o escoamento superficial em 22 eventos. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,71. O parâmetro K_e ficou em torno de 3,81 mm/h e o parâmetro K_r ficou em torno de $1,0850 \times 10^{-3}$ s/m.

c) Para a microbacia 3 (BESJC): De um total de 42 eventos simulados, o modelo não conseguiu simular o escoamento superficial em 25 eventos. A média do parâmetro S_i

ficou em torno de 0,78. O parâmetro K_e ficou em torno de 5,31 mm/h e o parâmetro K_r ficou em torno de $1,1092 \times 10^{-3}$ s/m.

d) Para a microbacia 3 (BES): De um total de 105 eventos simulados, o modelo não conseguiu simular o escoamento superficial em 16 eventos. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,78. O parâmetro K_e ficou em torno de 4,11 mm/h e o parâmetro K_r ficou em torno de $1,1092 \times 10^{-3}$ s/m.

e) Para a microbacia 4 (BES): De um total de 97 eventos simulados, o modelo não conseguiu gerar o escoamento superficial em 8 eventos. Para essa microbacia utilizou-se os parâmetros calibrados na microbacia 03 de Sumé para fazer a validação, para com isso percebermos melhor o comportamento dos parâmetros em relação ao escoamento superficial e na produção de sedimento.

Pode-se observar que tanto para as microbacias 1, 2 e 3 da BESJC, ficou um grande número de eventos sem simulação, são eventos que o modelo não conseguiu gerar respostas. Essa dificuldade deve-se a dois fatos mais precisamente: existiu uma perda dos dados observados na lâmina escoada e a existência de eventos não trabalhados, pois não houve a decantação necessária para procedermos à quantificação do sedimento produzido, diferentemente do que acontecerá nas parcelas de Sumé.

6.2.1. Escoamento Superficial

Novamente os valores médios da saturação inicial relativa do solo parecem altos para um solo franco argilo-arenoso numa região semi-árida. Os possíveis motivos para essa ocorrência foram discutidos no contexto das parcelas. Entretanto, os valores de parâmetro são consistentes e, portanto deve representar a situação real.

O modelo também manteve a coerência entre os valores médios do parâmetro S_i nas microbacias 1, 2 e 3 que são todas desmatadas e estão localizadas muito próximas. Obteve-se um valor médio de 0,74.

Para a microbacia 3 de Sumé, o valor médio do parâmetro S_i foi de 0,74, exatamente igual à média obtida nas três microbacias de São João do Cariri, como as duas regiões são hidrologicamente semelhantes, isso mostra que o modelo tem uma boa representatividade no tocante a base física do processo. Para a microbacia 4 de Sumé, utilizou-se os parâmetros calibrados para microbacia 3, para validação, usando os parâmetros médios da microbacia 3 de Sumé.

6.2.2. Produção de Sedimentos

O modelo WEPP conseguiu simular a produção de sedimentos em uma boa parte dos eventos nas microbacias 1, 2 e 3 da BESJC. Na microbacia 1, em 16 eventos não foi possível calibrar os parâmetros. Na microbacia 2, 22 eventos não foi possível calibrar a produção de sedimentos. Na microbacia 3, 25 eventos não foi possível calibrar a produção de sedimentos. Um dos motivos pelo qual o modelo não conseguiu gerar resposta deve-se ao fato dos parâmetros inerentes ao processo de erosão, dentro de seus limites superiores e inferiores, não geraram uma resposta satisfatória, seus valores ficaram muito acima do esperado.

Para as microbacias de Sumé, os resultados foram os seguintes: na microbacia 3 em 16 eventos não foi possível calibrar a produção de sedimentos; na microbacia 4 que foi feita a validação com os parâmetros médios da microbacia 3 de Sumé, o valor da produção de sedimentos calculada superestimou a observada, em 24 eventos, subestimou em 45 e igualou em 16. Isso reforça a conclusão de que os parâmetros calibráveis do modelo WEPP estão bem representado e possui uma boa robustez para a área em estudo, o que nos leva a confiabilidade de estudos futuros, em que essas sejam hidrologicamente semelhantes as de São João do Cariri e de Sumé.

O intervalo de variação do parâmetro K_r foi investigado, percebendo uma variação do parâmetro que se mostrou pouco sensível. Para todas as microbacias onde foram feitas calibrações o parâmetro médio foi de $1,10 \times 10^{-3}$ s/m.

A seguir utilizaremos a Bacia Representativa de Sumé para uma investigação melhor deste parâmetro, bem como sua estimativa para essa região.

6.3. Simulação do Escoamento Superficial e Erosão nas Sub-bacias de BRS.

6.3.1. Escoamento Superficial

Das nove cheias analisadas, em somente uma o volume do escoamento superficial não foi bem simulado com o modelo WEPP: a cheia nº 07 na bacia de Gangorra (BRS), isso devido a uma defasagem do hidrograma observado com o calculado. O motivo que pode ter causado essa diferença ainda não ficou bastante claro neste estudo é um ponto que merece uma observação mais detalhada.

Comparando-se especificamente essa cheia com as demais, observa-se que o hidrograma do início do escoamento está defasado do observado. Mas em comparação aos modelos WESP e KINEROS2 estudados anteriormente por Lopes (2003), nota-se o mesmo

comportamento, ou seja, o tempo de resposta para o início do escoamento é praticamente o mesmo, não sendo possível verificar a precisão do registro do hidrograma observado, a consistência dos resultados dos modelos devem ser considerada como prova positiva deles.

Um fato que deve ser levado em conta é que apesar da presença de áreas cultivadas, principalmente na bacia de Jatobá, a representação do volume não foi má. Sabe-se que a presença de áreas cultivadas afeta diretamente no processo de infiltração, o que poderia ter causado uma redução no volume total calculado. Associado a isso existe também o fato dos eventos possuírem apenas dados de precipitação média e sem informação sobre sua distribuição sobre a bacia, que num modelo distribuído introduziria distorções.

No entanto, em todas as cheias, o volume de escoamento superficial observado foi bem simulado pelo modelo WEPP (Tabela 5.11). Os parâmetros da saturação inicial relativa do solo S_i precisou ser calibrado para cada evento, devido a grande variação na condição da umidade do solo entre os eventos utilizados para simulação.

Todavia, alguns hidrogramas obtidos com o modelo WEPP apresentam curvas de recessão muito longas, resultado da conservação apenas do volume do escoamento.

Observou-se também que o modelo WEPP superestimou as vazões geradas. Em comparação ao modelo WESP, o modelo WEPP superestimou um pouco em alguns eventos e praticamente igualou em outros. A ligeira superestimação do modelo KINEROS2 em relação aos modelos WESP e WEPP deve-se ao fato da taxa de infiltração calculada pelo modelo de infiltração do Kineros2, pela equação de Smith e Parlange (1978), ser sempre inferior à taxa de infiltração calculada pelo modelo de infiltração do WEPP e WESP, através da equação de Green e Ampt (1911). Para um solo franco argilo-arenoso, de acordo com os estudos de Rawls et al. (1983), tem-se que o valor do potencial efetivo de capilaridade do solo $G = 260$ mm, a umidade efetiva de saturação do solo $\theta_s = 0,330$. Utilizando um valor de $K_s = 3,5$ mm/h e um valor da umidade inicial do solo de $\theta_i = 0,20$, o que corresponde a uma saturação inicial relativa $S_i = 0,50$, o que é bem inferior aos valores encontrados com o WEPP, Tabela 6.1 mostra a comparação entre essas taxas de infiltração dos três modelos e a Figura 6.1 o comportamento da curva de capacidade de infiltração.

Tabela 6.1. Comparação entre a taxa de infiltração calculada pelo modelo Kineros2 e pelo modelo WESP.

<i>I</i> (mm)	<i>f_c</i> (Kineros) (mm/h)	<i>f_c</i> (WESP) (mm/h)	<i>f_i</i> (WEPP) (mm/h)
5	38,4	39,9	39,3
10	20,3	21,7	20,8
15	14,2	15,6	14,9
20	11,2	12,6	12,0
25	9,4	10,8	9,7
30	8,2	9,6	8,8
35	7,4	8,7	8,2
40	6,7	8,1	7,3
45	6,2	7,5	6,8
50	5,9	7,1	6,6
55	5,5	6,8	6,3
60	5,3	6,5	5,8

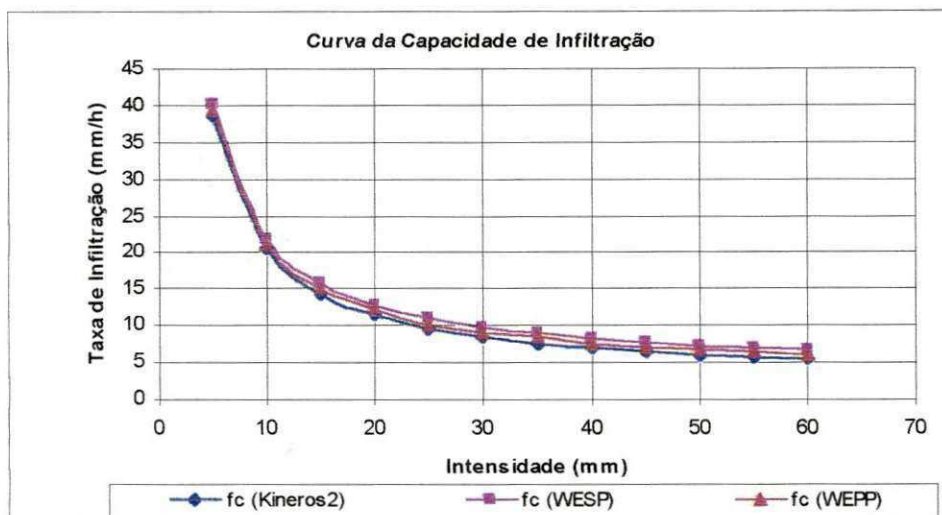


Figura 6.1 – Curva da capacidade de infiltração para os modelos Kineros2, WESP e WEPP.

6.3.2. Produção de Sedimentos

Como pode ser observado nas Tabelas 5.13, 5.14 e 5.15 o valor possível do parâmetro K_r varia na ordem de 10^{-3} a 10^6 conforme o indicado por (Nearing et al., 1995). Nos eventos de Umburana, os valores reais admissíveis para os eventos são da ordem de 10^3 e para os eventos de Jatobá e Gangorra os valores dos eventos são da ordem de 10^6 , o que leva à conclusão de que o valor deste parâmetro para a região do cariri paraibano deverá ficar nesse intervalo da grandeza. A grande faixa de variação também indica a pequena sensibilidade deste parâmetro.

Comparando os resultados fornecidos pelo modelo WEPP com os modelos WESP e Kineros2, percebe-se que a produção de sedimentos prevista pelo modelo WEPP é sempre superior a do modelo Kineros2 e sempre inferior ao valor fornecido pelo modelo WESP. Isso se deve principalmente ao fato de que nos modelos WEPP e WESP não existem um limite para a concentração de sedimentos no fluxo, como existe no modelo Kineros2. (Lopes, 2003)

6.4. Efeito de Escala sobre os parâmetros do Modelo WEPP

Analisando a variação do valor do parâmetro relacionado ao escoamento superficial e à erosão do modelo WEPP, em relação à área da bacia ou área simulada, verificou-se que os parâmetros K_e , K_i e K_r sofrem o efeito de escala.

Para as microbacias de São João do Cariri e de Sumé, os parâmetros K_e , K_i e K_r variaram de 3,81 a 7,39 mm/h, 4,00 a 6,00 x 10⁶ kg.s/m⁴ e 10⁻³ a 10⁻² s/m, respectivamente, indicando a variação inerente numa pequena da área, torno de 0,5 ha das microbacias. Logo se percebe que para áreas de tamanho e homogêneos, os valores dos parâmetros sofreram mudança, o que nos leva a concluir que existe o efeito de escala nestes parâmetros.

Nas simulações da produção de sedimentos nas sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé, os parâmetros K_e , K_i e K_r assumiram valores ainda maiores do que nas escalas menores. Nas sub-bacias (Umburana e Jatobá) e na Bacia Representativa (Gangorra) as variações dos parâmetros foram de 30 a 60 mm/h, 10⁸ a 10⁹ kg.s/m⁴ e 10⁻³ a 10⁶ s/m respectivamente. A Figura 6.2 mostra a variação do parâmetro K_e com o tamanho da área. Percebe-se que o parâmetro que reflete a erosão do solo por impacto das gotas de chuva sofre efeito de escala, com o aumento do seu valor das áreas menores para as áreas maiores, até a escala da sub-bacia de Gangorra. Estudo anterior com o modelo Kineros2, (Lopes, 2003), mostrou que o aumento de escala para as sub-bacias se dava até a escala da sub-bacia de Jatobá. Após isso, o parâmetro sofria uma diminuição.

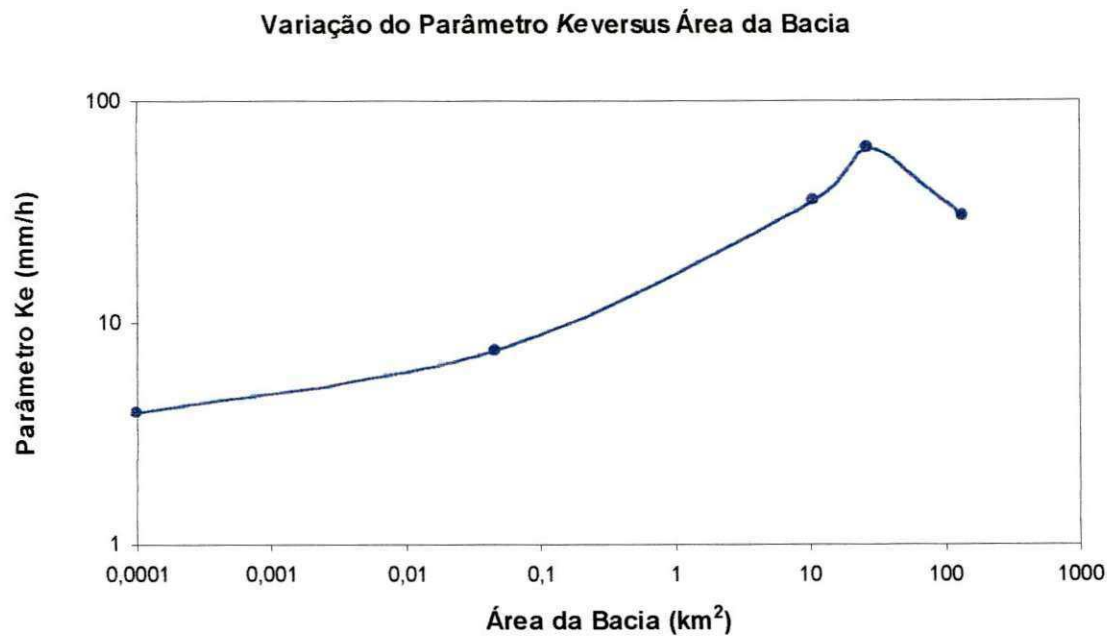


Figura 6.2. Variação do parâmetro K_e com a escala da bacia.

Em relação ao parâmetro de condutividade hidráulica efetiva do solo K_e , este não deverá variar com a área da bacia, pois esse é um parâmetro físico que depende do tipo e das condições de umidade do solo. No entanto, foi constatado que existe efeito de escala sobre esse parâmetro, conforme pode ser visto na Figura 6.2. Não foi possível calibrar o volume escoado nas sub-bacias admitindo um valor médio do potencial capilar médio Ψ , como indicado por Woolhiser et al. (1990), baseado nos estudos de Rawls et al. (1983). Os valores encontrados para o parâmetro K_e nas simulações do escoamento superficial para as sub-bacias são, em sua maioria, superior aos encontrados por Aragão (2000) e Lopes (2003), pode-se concluir que o parâmetro K_e também sofre efeito de escala, não pelo simples tamanho da área, mas devido à heterogeneidade e não linearidade dos processos que aumentam com o tamanho da bacia.

Variação do Parâmetro K_i versus Área da Bacia

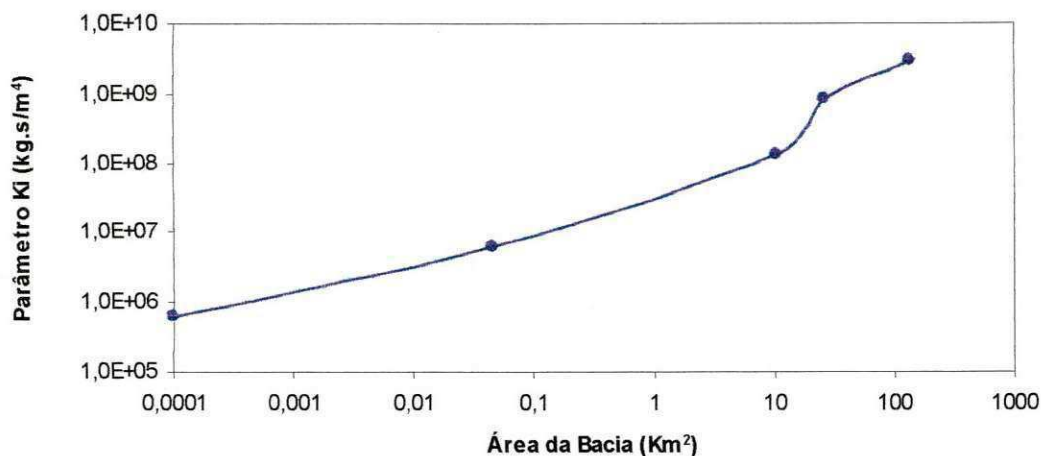


Figura 6.3. Variação do parâmetro K_i com a escala da bacia.

Em relação ao parâmetro de erodibilidade nos planos pelo impacto das gotas de chuva, o parâmetro K_i apresenta efeitos de escala, demonstrando ser bastante sensível, com variações notáveis de parcela para as microbacias e de microbacias para as sub-bacias.

Variação do Parâmetro K_r versus Área da Bacia

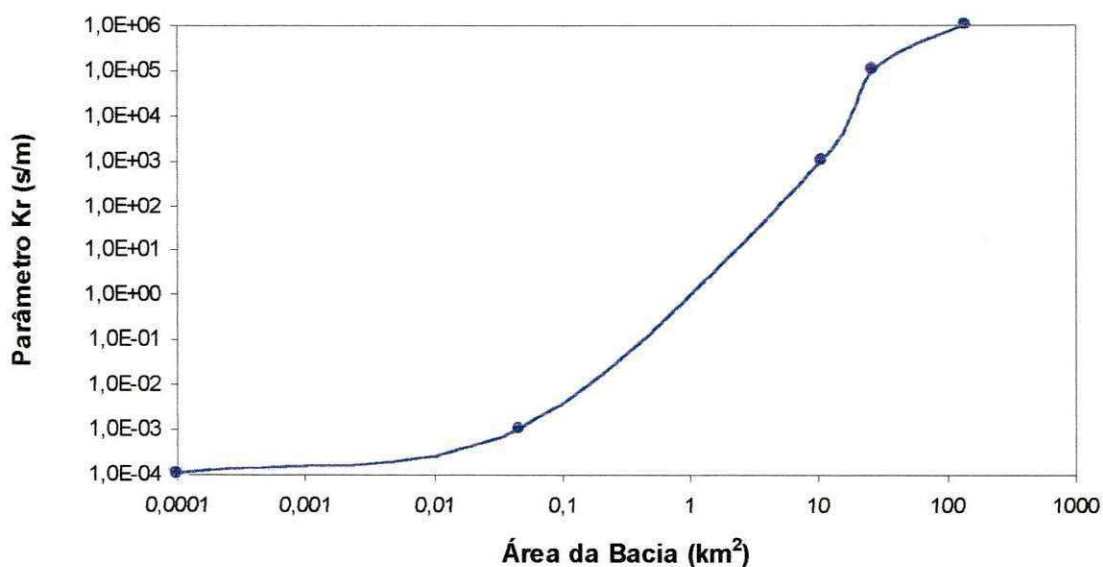


Figura 6.4. Variação do parâmetro K_r com a escala da bacia.

Analisando os valores do parâmetro relacionado à erosão nos canais do modelo WEPP, parâmetro K_r , percebe-se que também existe efeito de escala (Figura 6.3) sobre este

parâmetro. Para as microbacias percebeu-se o efeito, mesmo que num grau pequeno, entre as microbacias 02 e 03 de SJC. Este fenômeno é realmente significativo pelo fato da microbacia 02 ser uma sub-bacia da 03, a diferença nos valores de parâmetro, pode ser apenas de escala, pois, não há variações em outros fatores hidro-climatológicos. Nas simulações da produção de sedimentos nas sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé, o parâmetro K_r assumiu valores ainda maiores do que nas escalas menores. Sendo assim, percebe-se claramente que o parâmetro que reflete a erosão do solo nos canais sofre efeito de escala, aumentando das escalas menores para as escalas maiores. Observou-se que o efeito de escala resultou no aumento dos valores dos parâmetros das escalas menores para as escalas maiores, até a escala da sub-bacia de Jatobá, e diminuiu um pouco para a bacia de Gangorra como mostrado na Figura 2.6.

CAPÍTULO 7

7.0. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O modelo WEPP foi aplicado a quatro parcelas (duas em São João do Cariri e duas em Sumé) e cinco microbacias das Bacias Experimentais de Sumé (M03 e M04) e de São João do Cariri (M01, M02 e M03), bem como, a três sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé. Com base nesses estudos, as seguintes conclusões podem ser feitas.

7.1. Conclusões

As principais conclusões advindas deste trabalho são:

a) O modelo mostrou-se bastante confiável com resultados robustos, tanto para o escoamento superficial como para a produção de sedimento, em nível da região semi-árida paraibana;

b) O modelo possui a desvantagem de ser muito exaustivo quanto ao processo de concepção do banco de dados e de sua calibração, mas todo trabalho é compensado pelo bom resultado gerado pelo modelo;

c) Os parâmetros principais dos modelos (K_e , K_i e K_r), calibrados neste estudo, variaram numa pequena faixa entre os eventos de precipitação, sendo evidente um valor predominante de cada um destes parâmetros. Em poucos eventos houve uma variação grande dos principais parâmetros. A variação nas características do solo na superfície e subsuperfície, a grande variação da umidade do solo na superfície e nas camadas inferiores e os efeitos residuais dos eventos anteriores são considerados como os fatores principais causadores desta variação;

d) Nas escalas maiores, o modelo WEPP, em alguns eventos, subestima os picos de vazão dos mesmos. Fato explicado quando se leva em conta a equação de infiltração do modelo. A taxa de infiltração calculada pela equação de Green e Ampt (1911) foi utilizada no modelo WEPP;

e) Para áreas de tamanhos homogêneos, o modelo não mostrou o efeito de escala nos seus parâmetros, mas quando se aplicou os mesmos a áreas de tamanhos heterogêneos, nota-se claramente a presença marcante do efeito de escala inerente aos parâmetros do modelo;

f) O parâmetro K_i sofre efeito de escala. Isso pode ser visto devido à variação deste nas calibrações das parcelas para as microbacias.

g) O parâmetro K_r também sofre efeito de escala, variando entre 10^{-3} a 10^6 em toda a sub-bacia;

h) O parâmetro K_r assumiu um comportamento sempre crescente em relação a área da bacia, bem diferente do que foi estudado por Lopes (2003) que tinha um crescimento até a sub-bacia de Jatobá e decrescia para a bacia representativa de Gangorra;

i) O efeito da cobertura vegetal foi estudado apenas para nível de parcelas, onde nesta pode-se ver, mesmo que para um pequeno número de eventos, o efeito protetivo da mesma nos processos de escoamento superficial e de erosão.

7.2. Recomendações

Com base nos resultados obtidos no presente estudo, as seguintes recomendações podem ser feitas:

a) Investigar os fatores que contribuem para a variação dos parâmetros de erosão, K_i e K_r , na erosão nos planos e canais, respectivamente;

b) Aprofundar as investigações sobre a existência de uma relação entre os parâmetros de erosão e índices que reflitam as condições físicas do solo na bacia;

c) Discretizar em um número inferior de elementos planos e canais, as bacias de médio a grande porte, com o objetivo de verificar o menor número possível de elementos para cada bacia, com os quais, a modelagem do escoamento superficial não fique comprometida;

d) Fazer um estudo comparativo para outras regiões de diferentes climas, com os modelos WEPP, WESP e KINEROS2, para poder avaliar qual modelo responde melhor as diferentes regiões, e obter modelo (s) que represente (m) da melhor forma possível os processos físicos de diferentes regiões.

8.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, M. B., Bathurst, J. C., Cunge, J. A., O'Connell, P. E. e Rasmussen, J. (1986a). An introduction to the European Hydrological System - Système Hydrologique Européen, "SHE", 1: History and Philosophy of a Physically-Based, Distributed Modelling System. *J. Hydrol.*, 87: 45-59.
- Abbott, M. B., Bathurst, J. C., Cunge, J. A., O'Connell, P. E. e Rasmussen, J. (1986b). An Introduction to the European Hydrological System - Système Hydrologique Européen, "SHE", 2: Structure of a Physically-Based, Distributed Modelling System. *J. Hydrol.*, 87: 61-77.
- Alonso, C. V., Neibling, W. H. e Foster, G. R. (1981). Estimating Sediment Transport Capacity in Watershed Modeling. *Trans. Am. Soc. Agric. Engrs.*, 24(5), 1211-1220, 1226.
- Aragão, R. (2000). Estimativa dos Parâmetros do Modelo Distribuído WESP com os Dados da Bacia Experimental de Sumé - PB. Dissertação de mestrado, DEC/CCT/UFPB.
- Aragão, R., Srinivasan, V. S., Lopes W.T.A. e Silva, A. F. (2002). Avaliação do Modelo CHDM utilizando dados de uma bacia experimental no semi-árido nordestino. VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió - AL.
- Audry, P., Cadier, E., Leprun, J. C. e Molinier, M. (1987). Dinâmica da água e das matérias em um ecossistema representativo do Nordeste Brasileiro. Condições de extrapolação espacial na escala regional. Recife, ATP-PIREN, ORSTOM.
- Bathurst, J. C. (1986a). Physically-Based Distributed Modelling of an Upland Catchment Using the Système Hydrologique Européen. *J. Hydrol.*, 87: 79-102.
- Bathurst, J. C. (1986b). Sensitivity Analysis of the Système Hydrologique Européen for an Upland Catchment. *J. Hydrol.*, 87: 103-123.
- Bathurst, J. C. e Purnama, A. (1991). Design and Application of a Sediment and Contaminant Transport Modelling System. IAHS, Proceedings of the Vienna Symposium, Publ. 203, 305-313.

- Bathurst, J.C. e O'Connell, P.E. (1992). Future of Distributed Modelling: The Système Hydrologique Européen. *Hydrological Processes*, V.6: 265-277. John Wiley & Sons, Ltda.
- Bathurst, J. C., Wicks, J. M. e O'Connell, P. E. (1995). The SHE/SHESED Basin Scale Water Flow and Sediment Transport Modelling System. In: V.P. Singh (editor). *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, United States.
- Beasley, D. B. (1977) ANSVTERS: A mathematical model the effects of land use and management on water quality. Ph.D. Thesis, Purdue University, West Lafayette, IN, 266p.
- Bennett, J. P. (1974). Concepts of mathematical modeling of sediment yield. *Water Resources Research*, 10(3): 485-492.
- Beven, K. (1989). Changing Ideas in Hydrology - The Case of Physically Based Models. *J. Hydrol.*, 105: 157-172.
- Beven, K. and O'Connell, P.E. (1982). On the Role of Physically-Based Distributed Modelling in Hydrology. Institute of Hydrology, Report 81, Wallingford.
- Borah, D.K., C.V. Alonso e S.N. Prasad. 1981. Stream Channel Stability, Appendix I. Single Event Numerical Model for Routing Water and Sediment on Small Catchments. USDA Sedimentation Laboratory, Oxford, MS.
- Bosch, J.M.; Hewlett, J.D., (1982). A review of catchment experiments to determine the effect to vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 55: 2 - 23.
- Bouwer, H. (1966). Rapid Field Measurements of Air Entry Value and Hydraulic Conductivity of Soil as Significant Parameters in Flow System Analysis. *Water Resour. Res.*, 2(4), 729-738.
- Brooks, R. H. e Corey, A. T. (1964). Hydraulic Properties of Porous Media. *Hydrol. Paper* n° 3, Colorado State Univ., Fort Collins.
- Bjorneberg, D.L, Trout, T.J., Sojka, R.E.e Asae, J.K.(1999). Evaluating WEPP Predicted Infiltration, Runoff and Soil Erosion for Furrow Irrigation. *Transactions of the ASAE* 42(6): 1733-1741.

- Bruijnzeel, L.A. (1990). Hydrology of Moist Tropical Forest and Effects of Conversion: A State of Knowledge Review. IHP. IAHS. UNESCO. 224p.
- Bruijnzeel, L.A. (1996). Predicting the hydrological impacts of tropical Forest conversion: The need for integrated research. Capítulo 2 de "Amazonian Deforestation and Climate" Eds: Gash J H C, Nobre C A, Roberts J M e Victoria R L John Wiley & Co: Chichester, Inglaterra.
- Burch, G .J.; Bath, R. K.; Moore, I. D. e O'Loughlin E. M. (1987). Comparative hydrological behaviour of forest and cleared catchments in southeastern Australia. *J. Hydrology* 90 19-42.
- Burman, R. D., and Black, R. D. (1970), "The Inference of Intake and Hydraulic Roughness Parameters from Plot Runoff Using Kinematic Wave Theory,". *Transactions, ASAE*, Vol. 13, n° 4, 1970 pp.479 – 481.
- Cadier, E. e Freitas, B. J. (1982). Bacia Representativa de Sumé: Primeira Estimativa dos Recursos de Água. Recife, SUDENE. 195p.
- Cadier, E., Freitas, B. J. e Leprun J. C. (1983). Bacia Experimental de Sumé-PB: Instalação e Primeiros Resultados. Recife, SUDENE, 87p.
- Carter, C. E., Greer, J. D., Braud, H. J., Floyd, J. M. Raindrop characteristics in south central United States. *Transactions of the ASAE*, v.17, n.6, p.1033-1037, 1974.
- Chaves, H. M. L.(1996). Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. In: Alvarez V. H.; Fontes, L. E.; Fontes, M. P. F. (Eds.). *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa: SBCS, UFV, DPS, 1996. p. 731-750.
- Chow, V. T. (1959). *Open-channel hydraulics*. Tokyo, McGraw-Hill, New York, 680p.
- Chow, V. T., Maidment. D. R. e Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering, Singapore, 572p.
- Chu, S. T. (1978). Infiltration During an Unsteady Rain. *Water Resources Research*, 14(3):461-466.
- Cook, H. L. (1936). The nature and controlling variables of the water erosion process. *Soil Science Society American proc.* 1: 487-494.

- Corradini, C., Melone, F. e Smith, R. E. (1994). Modeling infiltration during complex rainfall sequences. *Water Resources Research*, 30(10), 2777-2784.
- Crawford, Norman H., and Anthony S. Donigian, Jr. 1973. *Pesticide Transport and Runoff Model for Agricultural Lands*. United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development: Washington, DC. EPA-660/2-74-013.
- Croley, T. E. H. (1982). Unsteady Overland Sedimentation. *Journal of Hydrology*, 56:325-346. Apud Lopes (1987).
- Davis, S. S. (1978). *Deposition on Non-uniform Sediment by Overland Flow on Concave Slopes*. M. Sc. Thesis. West Lafayette, Purdue University, 137p. Apud Lopes (1987).
- Eigel, J. D., Moore, I. D. (1983). A Simplified technique for measuring raindrop size and distribution. *Transactions of the ASAE*, v.26, n.4, p.1079-1084.
- Einstein, H. A. (1968). Deposition of Suspended Particles in a Gravel Bed. *Journal of the Hydraulics, Proc. ASCE*, 94(HY5): 1197-1205. Apud Lopes (1987).
- Ellison, W. D. (1947) Soil erosion studies. *Agricultural Engineering*, Vol. 28.
- Engelund, F. e Hansen, E. (1967). *A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams*. Teknisk Forlag, Copenhagen.
- Engman, E.T. (1986). Roughness Coefficients for Routing Surface Runoff. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol.112, N°1. p- 39-53.
- Figueiredo, E. E. (1998a). *Scale Effects and Land Use Change Impacts in Sediment Yield Modelling in a Semi-arid Region of Brazil*, Ph.D Thesis, Department of Civil Engineering, University of Newcastle upon Tyne, Newcastle, UK.
- Figueiredo, E. E. (1998b). *Estimativa de Parâmetros Físicos do Solo da Bacia Representativa de Sumé com Base na Textura*. Anais em CDROM do IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Campina Grande, Paraíba, ABRH.
- Figueiredo, E. E. e Srinivasan, V. S. (1999). *Avaliação dos Impactos do uso do solo e da Influência dos Açudes sobre o Escoamento para o açude Sumé - PB*. CD-ROM, Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte - MG.
- Flanagan, D.C. e M.A. Nearing (Eds). (1995). *USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation*. NSERL Report No. 10. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. West Lafayette, Indiana.

- Fleming, G. & Al Kadhimi, A. (1982) Sediment modeling and data sources: a compromise in assessment. In: Walling, D. E. Recent developments in the explanation and prediction of erosion and sediment yield. Exeter, IAHS, p. 251-259. IAHS publication 137.
- Foster, G. R., Huggins, L. F., and Meyer, L. D.(1968), "Simulation of Overland Flow on Short Field Plots,". *Water Resources Research*, Vol. 4, N° 4, N°6, 1968, pp 1179 – 1187.
- Foster, G. R. (1982). Modelling the erosion process. In: Haan, C. T.; Johnson, H. P. e Brakensiek, D. L., Ed. *Hydrologic modeling of small watersheds*, St. Joseph, American Society Agricultural Engineers, p. 297-380.
- Frere M. H., Onstad C. A. Et Holtan H. N., 1975. ACTMO, an agricultural chemical transport model. U. S. Department of Agriculture, ARS-H-3. 54 p.
- Galvão, C. O. (1990). Modelagem do Escoamento Superficial e da Erosão do Solo em Microbacias. Dissertação de mestrado, DEC/CCT/UFPB.
- Gomes, H. P., Srinivasan, V. S., Cadier, E. e Galvão, C.O. (1987). Um Estudo Experimental do Escoamento Superficial e Erosão na Região Semi-Árida Paraibana. *Anais do VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos - ABRH*, Salvador, Brasil.
- Green, W. H. e Ampt, G. A. (1911). *Studies on Soil Physics*, 1. The Flow of Air and Water Through Soils. *Journal Agr. Sci.*, 4(1): 1-24.
- Guerra, A. J. T., Silva, A. S. e Botelho, R. G. M. (1999). *Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Horton, R. E. (1933). The Role of Infiltration in the Hydrologic Cycle. *Trans. Am. Geophys. Union*, 14: 446-460.
- Hsia e Koh (1983). Water yield resulting from clearcutting a small hardwood basin in central Taiwan. In; *Hydrology of humid Tropical Regions*, Keller, R. (ed.) IAHS publication n. 140, p215 – 220.
- Hudson, N. *Soil conservation*. Ithaca: Cornell University Press, 1977. 320p.
- Huggins, L. F. e Monke, E. J.(1966), "The Mathematical Simulation of the Hydrology of small Watersheds," *Technical Report N° 1*, Purdue University Water Resources Research Center, West Lafayette, IN, 1966, 130 pp.

- Ibiza, D. (1983). Um modèle Simplifié de Calcul des Écoulements Mensuels par Bilan Hydrique; Application: Variation de Quelques Paramètres Hydrologiques d'après L'aspect des Bassins. Cahiers ORSTOM, sér. Hydrologie, (1): 3-22.
- Julien, P. Y. e Frenette, M. (1986). Scale Effects in Predicting Soil Erosion. IAHS, Publ., 159, pp. 253-259.
- Lacerda, H. B.J. (2002). Um Estudo dos Efeitos de Escala e Uso do Solo na Parametrização do Modelo NAVMO com Dados de Bacias do Cariri Paraibano. Dissertação de Mestrado, DEC/CCT/UFPB.
- King, M. D., Y. J. Kaufman, W. P. Menzel e D. Tanre', 1992: Remote sensing of cloud, aerosol, and water vapor properties from the Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS). IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 30, 2-27.
- Kinnell, P. I. A. Rainfall intensity-kinetic energy relationships for soil loss prediction. Soil Sci. Am. J., v.45, n. 1, p.153-155, 1981.
- Kleeberg, H. B., Overland, H. e Paus, B. (1989). NAVMO, Version 1.1, Nieseschlag – Abfluss – Verdunstung Modell. Documentation. Universität der Bundeswehr München, Alemanha.
- Knisel, W.G. 1980. CREAMS, a field scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems. USDA Conservation Research Rept. No. 26.
- Lal, R., (1983) Deforestation of tropical rainforest and hydrological problems. In: Tropical Agricultural Hydrology, R. Lal e E. W. Russell (eds.) J. Wiley, New York, 131 – 140
- Lanna, A E. & Schwarzbach, M. (1989) MODHAC - modelo hidrológico auto calibrável. Porto Alegre, IPH/UFRS. Apud Galvão (1990).
- Lane, L. J. e Shirley, E. D. (1985). Erosion and Sediment Yield Equations: Solutions for Overland Flow. West Lafayette, 22p. Apud Lopes (1987).
- Lane, L. J. e Woolhiser, D. A. (1977). Simplifications of Watershed Geometry Affecting in Simulating of Surface Runoff. Journal of Hydrology 35:173-190.
- Laws, J. O. Measurements of the fall velocity of water drops and raindrops. Transaction, American Geophysical Union, v.22, n. 2, p.709-721, 1941.

- Leonard, R.A., W.G. Knisel e D.A. Still. 1987. GLEAMS: Groundwater loading effects on agricultural management systems. *Trans. ASAE* 30(5):1403-1428.
- Leprun, J. C. (1981) A erosão, a conservação e manejo do solo no Nordeste Brasileiro; balanço, diagnóstico e novas linhas de pesquisa. Recife, SUDENE/ORSTOM, 107 p.
- Leprun, J. C. (1983) Relatório do fim do convênio de conservação e manejo de solo no Nordeste Brasileiro (1982-1983). Recife, SUDENE/ORSTOM, 290 p.
- Li, L., Kawano, H. Simulating water-drop movement from noncircular sprinkler nozzles. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.121, n.2, p.152-158, 1995.
- Lopes, V. L. (1987). A numerical model of watershed erosion and sediment yield. Tucson, PhD Dissertation, University of Arizona, EUA.
- Lopes, V. L. (1995). CHDM: Catchment Hydrology Distributed Model. Version 3.0. Computer Freeware and Documentation. School of Renewable Natural Resources. University of Arizona; Tucson, AZ.
- Lopes, W.T.A., Srinivasan V. S., Figueiredo, E. E., e Silva, J. B.(2002). Modelagem Hidrossedimentológica em microbacias da Região Semi-Árida da Paraíba. VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió – AL.
- Lopes, W. T.A. ,(2003). Efeito de Escala na Modelagem Hidrossedimentológica na Região Semi-Árida da Paraíba. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, 174 pp.
- Oliveira, R. A. Distribuição de gotas por tamanho e perfil de precipitação de um aspersor fixo. Viçosa, MG: UFV, 1991. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- McCuen, R. H. (1982). A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods. University of Maryland, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. USA.
- McCulloch, J. S. G., Robinson, M. (1993). History of Forest Hydrology. *Journal of Hydrology*. v. 150. p. 189-216.
- Mehta, A. J. (1983). Characterization Tests for Cohesive Sediments. In: Shen, H. W. *Frontiers in hydraulic Engineering*, Cambridge, Mass., ASCEM, pp. 79-84. Apud Lopes (1987).
- Mein, R. G. e Larson, C. L. (1973). Modeling Infiltration During a Steady Rain. *Water Resources Research*. 9(2): 384-394.

- Meyer, L. D. e Wischmeier, W. H. (1969). Mathematical Simulation of the Process of Soil Erosion by Water. *Trans. of the ASAE* 12(6): 754-758, 762.
- Molinier, M., Audry, P., Desconnets, J. C. e Leprun, J. C. (1988). Dinâmica da Água e das Matérias em Um Ecossistema Representativo do Nordeste Brasileiro. Condições de Extrapolação Espacial na Escala Regional. Relatório de Andamento dos Trabalhos. ORSTOM, Recife.
- Molinier, M.; Audry, P. e Leprun, J. C. (1989b). Modelagem do Escoamento Superficial e da Infiltração de um Solo Bruno do Nordeste Semi-árido. In: *Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Foz do Iguaçu, ABRH. Vol. 1, pp. 432-443.
- Molinier, M.; Audry, P.; Desconnets, J. C. e Leprun, J. C. (1989a). Dinâmica da Água e das Matérias em um Ecossistema Representativo do Nordeste Brasileiro. Condições de Extrapolação Espacial na Escala Regional. Relatório de andamento dos trabalhos. ORSTOM, Recife.
- Molinier, M; Galvão, C. O. e Gomes, H. P. (1987). Determinação do escoamento de uma bacia hidrográfica através das técnicas de simulação de chuva. In: *Anais do VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídrico*, Salvador, ABRH, Vol. 2, p. 530-544.
- Montenegro, J. P. B. (1990). Caracterização Hidrológica da Infiltração e do Escoamento Superficial em uma Microparcela sem Vegetação do Cariri. Dissertação de Mestrado, DEM/CT/UFPB.
- Montenegro, J. P. B. e Silans, A. M. B. P. (1991). Caracterização Hidrológica da Infiltração e do Escoamento Superficial em uma Microparcela sem Vegetação do Cariri. *Anais do IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Rio de Janeiro. Vol. 1 pp. 233-243.
- Musgrave, G.W. (1947). The Quantitative Evaluation of Factors in Water Erosion: A First Approximation. *J. Soil and Water Cons.*, 2(3):133-138.
- Nouvelot, J. F. (1974). Planificação da Implantação de Bacias Representativas: Aplicação à Área da SUDENE. SUDENE, Recife.
- Pereira, J. A. (1997). Modelagem do Escoamento Superficial e da Erosão em Microbacias na Bacia Experimental de Sumé – PB. Dissertação de Mestrado, DEC/CCT/UFPB.

- Philip, J. R. (1957). The Theory of Infiltration: 1. The Infiltration Equation and its Solution, Soil Science. Vol. 83, nº 5, pp. 345-357.
- Philip, J. R. (1969). The Theory of Infiltration. In: Advances in Hydrosience. Editado por V. T. Chow, Vol. 5: 215-296.
- Pickels(1931) G. W.; Run – off Investigation in Central Illionois, University of Illionois Engineering Experiment Station, Bulletin 232, Vol.32, nº3.Sentember (1931).
- Pimentel da Silva, L. e EWEN, J. (2000). Modelagem Hidrológica para Grandes Bacias Hidrográficas: a Necessidade de Novas Metodologias. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 5. nº 5, pp.81-92.
- Powell, M. J. D. (1964). An Efficient Method for Finding the Minimum of Several Variables without Calculating Derivatives. Computer Journal, Vol. 7, pp. 155-162.
- Pritchett (1979), W. L. Properties and Management of Forest Soils. John Wiley, New York, 500p.
- Rawls, W. J. e Brakensiek, D. L. (1989). Estimation of Soil Water Retention and Hydraulic Properties. In: H. J. Morel-Seytoux (editor). Unsaturated Flow in Hydrologic Modeling Theory and Practice, 275-300, Kluwer Academic Publisher.
- Rawls, W. J., Brakensiek, D. L. e Miller, N. (1983). Green-Ampt Infiltration Parameters from Soils Data. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. Vol. 109, nº. 01, 99 62-70.
- Rawls, W. J., Brakensiek, D. L. e Saxton, K.E. (1982). Estimation of Soil Water Properties. Transactions of the ASAE. pp. 1316-1320.
- Rovey, E. W.; Woolhiser, D. A. e Smith, R. E. (1977). A distributed kinematic model of upland watersheds. Fort Collins, Colorado State University, 52p. Hydrologic Papers 93.
- Ree, W. O., Wimberley, F. L., and Crow, F. R., (1977). "Manning's n and the Overland Flow Equation," Transactions, ASAE, Voll. 20, N° 1, 1977, pp. 89 – 95.
- Reis, J. G. (1988) Desertificação no Nordeste, SUDENE/DPG/PRN, Recife, 40p.
- Santos, C. A. G. (1994). Runoff-erosion Process Modeling and Determination of Model Parameters. M.Sc. Dissertation, Department of Civil Engineering, Ehime University. Japan.

- Santos, C. A. G. (1997). Application of Runoff-Erosion Model for a Semiarid Area in Brazil. Ph.D Thesis, Ehime University, Japan.
- Saxton, K. E., Rawls, W. J., Rosemberger, J. S. e Papendick, R. I. (1986). Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture. Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 50, 1031-1036.
- Shih, S. F. e Rahi, G. S (1982). Seasonal Variations of Mannig's Roughness Coefficient in a Subtropical Marsh. Transactions of the ASAE, pp. 116 – 119.
- Simanton, J. R., Hawkins, R. H., Saravi, M. M. e Renard, K. G. (1996). Runoff Curve Number Variation with Drainage Area, Walnut Gulch, Arizona. Transactions of the ASAE, Vol. 39(4): 1391-1394.
- Simons, D. B. e Sentürk, F. (1992) Sediment transport technology. Fort Collins, Water Resources Publications, 807p.
- Singh, V.P. (1995). Watershed Modelling. In: V.P. Singh (editor). Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publication, Highlands Ranch, Colorado, United States.
- Smith, R. E. e Parlange, J. Y. (1978). A Parameter-Efficient Hydrologic Infiltration Model. Water Res. Res., 14(3): 533-538.
- Smith, R. E. e Woolhiser, D. A.. (1981) A kinematic model for surface mine sediment yield. Trans. of Ani. Soc. Agr. Eng., 24 (6): 1508-1514. Apud Lopes 1987.
- Smith, R. E., Corradini, C. e Melone, F. (1993). Modeling Infiltration for Multistorm Runoff Events. Water Resources Research, 29(1): 133-144.
- Sorooshian, S., e Gupta, V.K. (1995). Model Calibration. In: V.P.Singh (editor). Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, United States.
- Srinivasan. V. S. e Galvão, C. O. (1994). Previsão do Escoamento Superficial e da Erosão do Solo através do Modelo Hidrodinâmico WESP. In: Anais do II Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Fortaleza, ABRH, Vol 1. pp. 231-240.
- Srinivasan, V. S. e Galvão, C. O. (1995). Evaluation of Runoff and Erosion Loss in Microbasins utilizing the Hydrodynamic Model WESP. Advances in Engineering Software. Elsevier Applied Science. Vol. 22, nº 2, pp. 79-85.

- Srinivasan, V. S. e Galvão, C. O. (2003). Bacia Experimental de Sumé: Descrição e dados coletados. Campina Grande-PB: UFCG/CNPq, vol. 1, p.129.
- Srinivasan, V. S., Gomes, H. P.; Leprun, J. C. e Silva, I. G. (1988). Erosion studies in Sumé, a Semi-arid Region in Northeast of Brazil. In: Sediment Budgets (Proceedings of the Porto Alegre Symposium), Porto Alegre, IAHS. Publ. nº 174.
- Stillmunkes, R. T. e James, L. G. Impact energy of water droplets from irrigation sprinklers. Transactions of the ASAE, v.25, n. 1, p. 130-133, 1982.
- Streeter, V. L. e Wylie, E. B. (1982). Mecânica dos Fluidos. McGraw-Hill, São Paulo. 585p.
- Tiscareno-Lopez, M., A Bayesian-Monte Carlo (1994). Approach to Assess Uncertainties in Process-Based, Continuous Simulation Models. Ph.D.Dissertation, University of Arizona, Tucson, AZ.
- Tossell, R. W., Wall, G. J., Rudra, R. P. The Guelph rainfall simulator. II. A comparison of natural and simulated rainfall characteristics. Canadian Agricultural Engineering, v.32, n.2, p.215-223, 1990.
- Tucci, C. E. M. (1993). Hidrologia: Ciência e Aplicação. Organizado por Carlos E. M. Tucci. Porto Alegre: Ed. da UFRGS/ABRH/EDUSP, Porto Alegre, 943p.
- Tucci, C. E. M. e Clarke R.T.(1997). Impacto da Mudança da Cobertura Vegetal no Escoamento: Revisão.
- Tucci, C. E. M. (1998). Modelos hidrológicos. Ed. da UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 668p.
- Tucci, C. E. M. (2001). Modelos hidrológicos. Ed. da UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 677p.
- Wade, J. C. e Heady, E. O. (1978). Measurement of Sediment Control Impacts on Agriculture. Water Resour. Res., 14: 1-8.
- Wagner, C. S., Massambarni, O. Análise da relação intensidade de chuva-energia cinética de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. R. Bras. Ci. Solo, v. 12, n. 3, p.197-203, 1988.
- Walling, D. E. (1983). The Sediment Delivery Problem. Journal of Hydrol., 65: 209-237.
- Whisler, F. D. e Bouwer, H. (1970). Comparison of Methods for Calculating Vertical Drainage and Infiltration for Soils. J. Hydrology. 10 (1): 1-19.

Williams, J.R. e Berndt, H.D. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. *Am. Soc. Agric. Eng.*, 20:1100-1104, 1977.

Williams, J.R., C.A. Jones e P.T. Dyke. 1984. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. *Trans. ASAE* 27(1):129-144.

Wischmeier, W. H., Smith, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Transaction, American Geophysical Union*, v. 39, n. 2, p. 285-280, 1958.

Wischmeier, W. H. e Smith, D. D. (1960). A universal Soil-loss Equation to Guide Conservation Farm Planning. 7th Int. Cong. Soil Sci. *Trans. I*: 418-425.

Woolhiser, D. A. (1975). "Simulation of Unsteady Overland Flow," Ch. 12, *Unsteady Flow in Open Channels*, Vol. II, K. Mahmood and V. Yevjevich, Eds., Ater Resources Publication, Fort Collins, CO, 1975.

Woolhiser, D. A., Smith, R. E. e Goodrich, D. C. (1990). *KINEROS: A Kinematic Runoff and Erosion Model: Documentation and User Manual*. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-77, 130 pp.

Woolhiser, D. A., Smith, R.E. e Giraldez, J. -V. (1996). Effects of Spatial Variability of Saturated Hydraulic Conductivity on Hortonian Overland Flow. *Water Res. Res.*, Vol. 32, n^o. 3, pp 671-678.

ANEXO 1 – Valores dos parâmetros S_i , K_e e K_i para todos os eventos utilizados para as parcelas e microbacias da BESJC e BES.

Tabela 1. Valores dos parâmetros S_i para todos os eventos utilizados para a parcela 1 da BESJC.

Nº Cheias	Data	Chuva	S_i	Nº Cheias	Data	Chuva	S_i	Nº Cheias	Data	Chuva	S_i
1	14/03/99	21,0	0,359	29	11/04/00	16,7	0,5839	61	02/07/01	5,3	0,64
2	18/03/99	10,2	0,634	30	12/04/00	61,0	0,649	62	20/07/01	10,0	0,64
3	01/05/99	11,4	0,741	31	16/04/00	21,0	0,617	63	03/08/01	11,0	0,370
4	05/05/99	7,1	0,806	32	17/04/00	9,0	0,828	64	12/08/01	4,3	0,645
5	14/05/99	8,6	0,339	33	25/04/00	5,6	0,361	65	22/08/01	6,8	0,752
6	22/05/99	10,8	0,394	34	28/04/00	2,9	0,416	68	29/12/01	9,4	0,817
7	06/06/99	18,0	0,399	35	05/05/00	21,7	0,421	69	01/01/02	17,8	0,350
9	24/12/99	26,0	0,719	36	18/05/00	15,2	0,741	70	02/01/02	28,2	0,405
10	29/12/99	8,5	0,718	37	23/05/00	7,9	0,74	71	04/01/02	40,0	0,410
11	07/01/00	71,0	0,709	38	06/06/00	2,3	0,731	72	06/01/02	10,5	0,730
12	09/01/00	30,7	0,485	39	26/06/00	12,3	0,507	73	10/01/02	7,2	0,729
13	16/01/00	32,0	0,207	40	11/07/00	16,4	0,229	74	11/01/02	4,7	0,720
14	21/01/00	31,1	0,678	41	15/07/00	5,8	0,7	75	22/01/02	4,3	0,496
15	15/02/00	68,0	0,759	42	22/07/00	6,1	0,781	76	03/02/02	72,0	0,218
16	17/02/00	29,6	0,939	43	26/07/00	15,4	0,961	77	05/02/02	5,4	0,689
17	17/02/00	13,1	0,699	44	02/08/00	14,2	0,721	78	10/02/02	12,2	0,770
18	18/02/00	7,0	0,644	45	08/08/00	14,9	0,666	80	12/02/02	31,0	0,950
19	22/02/00	17,3	0,705	49	08/03/01	25,0	0,727	81	13/02/02	6,0	0,710
20	24/02/00	2,8	0,769	50	09/03/01	4,5	0,791	82	15/02/02	66,0	0,655
21	01/03/00	13,4	0,939	51	11/03/01	9,0	0,961	83	04/03/02	17,0	0,716
22	02/03/00	7,9	0,483	52	14/03/01	5,0	0,505	84	06/03/02	52,0	0,780
23	19/03/00	38,6	0,745	53	18/03/01	14,2	0,767	85	08/03/02	4,0	0,950
24	29/03/00	23,2	0,5839	54	27/03/01	39,0	0,6059	86	18/03/02	7,0	0,494
25	30/03/00	19,7	0,649	55	30/03/01	24,2	0,671	88	06/05/02	80,0	0,756
26	31/03/00	35,6	0,617	57	02/04/01	7,0	0,639	89	10/05/02	3,0	0,595
27	01/04/00	17,0	0,745	59	13/06/01	15,4	0,651	90	26/05/02	7,6	0,660
28	08/04/00	20,6	0,5839	60	27/06/01	32,6	0,64	92	07/06/02	12,0	0,628

Tabela 2. Valores dos parâmetros S_i para todos os eventos utilizados para a parcela 2 da BESJC.

Nº Cheias	Data	Chuva	Si	Nº Cheias	Data	Chuva	Si	Nº Cheias	Data	Chuva	Si
1	14/03/99	21,0	0,415	22	02/03/00	7,9	0,42	70	02/01/02	28,2	0,455
2	18/03/99	10,2	0,47	23	19/03/00	38,6	0,475	71	04/01/02	40,0	0,460
3	01/05/99	11,4	0,475	24	29/03/00	23,2	0,48	72	06/01/02	10,5	0,780
4	05/05/99	7,1	0,795	25	30/03/00	19,7	0,8	73	10/01/02	7,2	0,765
5	14/05/99	8,6	0,78	26	31/03/00	35,6	0,785	74	11/01/02	4,7	0,670
6	22/05/99	10,8	0,685	27	01/04/00	17,0	0,79	75	22/01/02	4,3	0,546
7	06/06/99	18,0	0,561	28	08/04/00	20,6	0,66	76	03/02/02	72,0	0,268
9	24/12/99	26,0	0,283	29	11/04/00	16,7	0,288	77	05/02/02	5,4	0,739
10	29/12/99	8,5	0,754	30	12/04/00	61,0	0,759	78	10/02/02	12,2	0,720
11	07/01/00	71,0	0,735	31	16/04/00	21,0	0,74	80	12/02/02	31,0	0,950
12	09/01/00	30,7	0,965	32	17/04/00	9,0	0,97	81	13/02/02	6,0	0,760
13	16/01/00	32,0	0,775	35	05/05/00	21,7	0,78	82	15/02/02	66,0	0,705
14	21/01/00	31,1	0,72	43	26/07/00	15,4	0,725	83	04/03/02	17,0	0,766
15	15/02/00	68,0	0,781	52	14/03/01	5,0	0,786	84	06/03/02	52,0	0,830
16	17/02/00	29,6	0,845	53	18/03/01	14,2	0,85	85	08/03/02	4,0	1,000
17	17/02/00	13,1	1,00	54	27/03/01	39,0	1,00	86	18/03/02	7,0	0,544
18	18/02/00	7,0	0,559	57	02/04/01	7,0	0,564	88	06/05/02	80,0	0,806
19	22/02/00	17,3	0,821	59	13/06/01	15,4	0,826	89	10/05/02	3,0	0,645
20	24/02/00	2,8	0,660	60	27/06/01	32,6	0,6649	90	26/05/02	7,6	0,710
21	01/03/00	13,4	0,73	69	01/01/02	17,8	0,400	92	07/06/02	12,0	0,678

Tabela 3. Valores dos parâmetros S_i para todos os eventos utilizados para a parcela 1 da BES.

Nº Cheias	Ano	Mês	Dia	S_i	Nº Cheias	Ano	Mês	Dia	S_i	Nº Cheias	Ano	Mês	Dia	S_i
1	1982	3	31	0,420	89	1985	4	5	0,600	177	1988	3	24	0,913
2	1982	4	15	0,695	90	1985	4	6	0,330	178	1988	4	5	1,000
3	1982	4	23	1,000	91	1985	4	7	0,931	179	1988	4	8	1,000
4	1982	4	23	0,820	92	1985	4	8	0,737	180	1988	4	12	0,490
5	1982	4	24	0,684	93	1985	4	10	0,040	181	1988	4	13	0,837
6	1982	5	1	0,000	94	1985	4	11	0,650	182	1988	4	15	0,720
7	1982	5	2	0,925	95	1985	4	12	0,660	183	1988	4	19	0,786
8	1982	5	5	0,802	96	1985	4	14	0,819	184	1988	4	20	0,881
9	1982	5	7	0,867	97	1985	4	15	0,000	185	1988	4	22	0,742
10	1982	5	8	1,000	98	1985	4	22	0,000	186	1988	4	30	0,849
11	1982	5	10	0,400	99	1985	4	24	1,000	187	1988	5	6	0,913
12	1982	5	12	0,455	100	1985	4	26	0,650	188	1988	6	23	0,798
13	1983	2	3	0,839	101	1985	4	27	0,550	189	1988	7	9	0,929
14	1983	2	5	0,460	102	1985	4	29	0,913	190	1988	7	13	1,000
15	1983	2	6	0,703	103	1985	5	3	0,924	191	1988	7	16	0,900
16	1983	2	7	0,780	104	1985	5	4	0,860	192	1988	7	25	0,897
17	1983	2	12	0,779	105	1985	5	8	0,872	193	1989	1	12	0,865
18	1983	2	17	0,770	106	1985	6	5	0,150	194	1989	1	13	0,840
19	1983	2	19	0,859	107	1985	6	11	0,000	195	1989	1	19	0,928
20	1983	3	23	0,546	108	1985	6	12	0,000	196	1989	2	15	0,615
21	1983	3	27	0,268	109	1985	7	13	0,000	197	1989	3	1	1,000
22	1983	4	6	0,839	110	1985	12	7	0,830	198	1989	3	22	0,847
23	1983	5	10	0,871	111	1985	12	14	0,717	199	1989	3	25	0,770
24	1984	1	7	0,841	112	1986	1	2	0,590	200	1989	3	27	0,885
25	1984	2	7	0,923	113	1986	2	5	0,860	201	1989	3	28	0,730
26	1984	2	14	1,000	114	1986	2	6	0,923	202	1989	3	29	0,885
27	1984	2	29	0,948	115	1986	2	7	0,730	203	1989	4	1	0,905
28	1984	3	8	0,839	116	1986	2	12	0,882	204	1989	4	2	0,725
29	1984	3	10	0,900	117	1986	2	13	0,694	205	1989	4	5	0,871
30	1984	3	11	0,045	118	1986	2	26	0,465	206	1989	4	6	0,773

Continuação da Tabela 3. Valores dos parâmetros S_i para todos os eventos utilizados para a parcela 1 da BES.

Nº Cheias	Ano	Mês	Dia	Si	Nº Cheias	Ano	Mês	Dia	Si	Nº Cheias	Ano	Mês	Dia	Si
31	1984	3	22	0,760	119	1986	2	28	0,000	207	1989	4	7	0,879
32	1984	3	23	0,828	120	1986	3	2	0,352	208	1989	4	8	0,770
33	1984	3	26	0,805	121	1986	3	3	0,341	209	1989	4	16	0,807
34	1984	4	2	0,219	122	1986	3	4	0,738	210	1989	4	21	0,705
35	1984	4	3	0,886	123	1986	3	5	0,788	211	1989	4	23	1,000
36	1984	4	4	0,930	124	1986	3	8	0,669	212	1989	4	27	0,850
37	1984	4	5	0,797	125	1986	3	13	0,700	213	1989	5	3	1,000
38	1984	4	14	0,887	126	1986	3	21	0,655	214	1989	5	4	0,598
39	1984	4	15	1,000	127	1986	3	22	0,920	215	1989	5	9	0,859
40	1984	4	18	0,544	128	1986	3	24	0,770	216	1989	5	11	0,040
41	1984	4	19	0,065	129	1986	3	30	0,580	217	1989	5	12	0,650
42	1984	4	20	1,000	130	1986	4	7	0,822	218	1989	6	11	0,660
43	1984	4	22	0,699	131	1986	4	8	0,557	219	1989	6	12	0,819
44	1984	4	23	1,000	132	1986	4	9	0,220	220	1989	6	13	0,000
45	1984	4	26	0,806	133	1986	4	13	0,871	221	1989	6	18	0,000
46	1984	5	19	0,933	134	1986	4	14	0,842	222	1989	6	30	1,000
47	1984	5	20	0,820	135	1986	4	15	0,932	223	1989	7	3	0,650
48	1984	5	21	0,000	136	1986	4	21	0,913	224	1989	7	4	0,550
49	1984	5	23	1,000	137	1986	4	22	0,866	225	1989	7	5	0,913
50	1984	5	24	1,000	138	1986	4	30	0,125	226	1989	7	6	0,924
51	1984	5	25	0,850	139	1986	5	6	0,120	227	1989	7	7	0,860
52	1984	7	17	1,000	140	1986	6	12	0,385	228	1989	7	8	0,872
53	1984	8	25	1,000	141	1986	7	16	0,813	229	1989	9	20	0,150
54	1984	8	30	0,000	142	1986	7	20	1,000	230	1989	12	7	0,000
55	1985	1	25	1,000	143	1986	11	24	1,000	231	1989	12	8	0,000
56	1985	1	27	1,000	144	1987	2	7	0,890	232	1989	12	16	0,000
57	1985	2	3	1,000	145	1987	2	8	0,677	233	1989	12	22	0,830
58	1985	2	4	0,710	146	1987	2	12	0,650	234	1989	12	23	0,717
59	1985	2	5	0,760	147	1987	2	13	0,845	235	1989	12	24	0,590
60	1985	2	10	0,940	148	1987	3	2	0,890	236	1989	12	27	0,860

Continuação da Tabela 3. Valores dos parâmetros S_i para todos os eventos utilizados para a parcela 1 da BES.

Nº Cheias	Ano	Mês	Dia	S_i	Nº Cheias	Ano	Mês	Dia	S_i	Nº Cheias	Ano	Mês	Dia	S_i
61	1985	2	11	0,950	149	1987	3	3	0,845	237	1990	2	8	0,923
62	1985	2	12	0,550	150	1987	3	10	0,610	238	1990	2	9	0,730
63	1985	2	13	0,870	151	1987	3	12	0,782	239	1990	2	10	0,882
64	1985	2	14	0,930	152	1987	3	15	0,768	240	1990	2	25	0,694
65	1985	2	16	0,946	153	1987	3	28	0,580	241	1990	2	26	0,465
66	1985	2	17	0,000	154	1987	4	4	0,880	242	1990	4	7	0,000
67	1985	2	18	0,930	155	1987	5	2	0,765	243	1990	4	27	0,352
68	1985	2	19	0,749	156	1987	6	1	0,842	244	1990	4	28	0,341
69	1985	2	20	0,917	157	1987	6	6	0,909	245	1990	4	30	0,738
70	1985	2	21	0,930	158	1987	6	28	1,000	246	1990	5	18	0,788
71	1985	2	27	1,000	159	1987	6	29	1,000	247	1990	5	28	0,669
72	1985	3	2	1,000	160	1987	7	4	0,840	248	1990	5	2	0,700
73	1985	3	3	1,000	161	1987	7	9	0,640	249	1990	7	2	0,655
74	1985	3	4	1,000	162	1988	1	20	0,670	250	1990	7	6	0,920
75	1985	3	18	0,879	163	1988	2	14	0,896	251	1990	7	13	0,770
76	1985	3	19	1,000	164	1988	2	15	0,950	252	1990	8	24	0,580
77	1985	3	23	1,000	165	1988	2	23	0,628	253	1990	10	19	0,822
78	1985	3	24	0,550	166	1988	2	24	0,842	254	1991	1	22	0,557
79	1985	3	25	0,710	167	1988	2	25	0,800	255	1991	1	23	0,220
80	1985	3	26	1,000	168	1988	3	2	0,889	256	1991	2	5	0,950
81	1985	3	27	0,817	169	1988	3	9	0,775	257	1991	2	6	0,628
82	1985	3	29	0,643	170	1988	3	11	0,620	258	1991	5	15	0,842
83	1985	3	30	0,000	171	1988	3	12	0,830	259	1991	3	11	0,800
84	1985	3	31	0,940	172	1988	3	14	0,829	260	1991	3	29	0,889
85	1985	4	1	1,000	173	1988	3	15	0,858	261	1991	5	4	0,775
86	1985	4	3	0,760	174	1988	3	19	0,823	262	1991	5	6	0,620
87	1985	4	3	0,898	175	1988	3	21	0,899	263	1991	5	18	0,830
88	1985	4	4	0,931	176	1988	3	23	0,937	264	1991	5	19	0,829

Tabela 4. Valores dos parâmetros S_i para todos os eventos utilizados para a parcela 4 da BES.

Nº Cheias	Ano	S_i	Nº Cheias	Ano	S_i	Nº Cheias	Ano	S_i
4	1982	0,593	88	1985	0,881	170	1988	0,340
12	1982	0,765	89	1985	0,940	171	1988	0,783
13	1983	0,686	90	1985	0,810	172	1988	0,810
16	1983	0,641	91	1985	0,879	173	1988	0,780
17	1983	0,859	93	1985	0,878	174	1988	0,725
19	1983	0,337	95	1985	0,940	175	1988	0,690
20	1983	0,425	96	1985	0,690	177	1988	0,620
21	1983	0,831	98	1985	0,820	178	1988	0,470
22	1983	0,534	99	1985	0,695	179	1988	0,768
25	1984	0,771	100	1985	0,040	181	1988	0,420
26	1984	0,666	101	1985	0,880	183	1988	0,610
27	1984	0,698	103	1985	0,800	184	1988	0,830
31	1984	0,320	104	1985	0,882	185	1988	0,810
32	1984	0,742	106	1985	0,770	186	1988	0,705
33	1984	0,865	107	1985	0,560	187	1988	0,780
35	1984	0,872	108	1985	0,790	188	1988	0,640
36	1984	0,940	109	1985	0,770	189	1988	0,380
37	1984	0,940	110	1985	0,310	190	1988	0,757
38	1984	0,855	111	1985	0,685	191	1988	0,854
39	1984	0,940	113	1986	0,660	193	1989	0,520
40	1984	0,793	114	1986	0,821	194	1989	0,718
41	1984	0,875	115	1986	0,796	195	1989	0,600
42	1984	0,720	116	1986	0,440	197	1989	0,710
44	1984	0,877	117	1986	0,823	198	1989	0,440
45	1984	0,836	118	1986	0,660	199	1989	0,710
46	1984	0,420	119	1986	0,650	200	1989	0,114
47	1984	0,840	120	1986	0,693	201	1989	0,640
49	1984	0,834	121	1986	0,825	202	1989	0,855
50	1984	0,838	122	1986	0,700	204	1989	0,900
51	1984	0,855	123	1986	0,823	205	1989	0,855
52	1984	0,551	124	1986	0,540	208	1989	0,865
53	1984	0,328	125	1986	0,640	209	1989	0,340
55	1985	0,580	130	1986	0,300	210	1989	0,813
57	1985	0,621	131	1986	0,640	211	1989	0,883
58	1985	0,880	132	1986	0,810	212	1989	0,655
59	1985	0,740	134	1986	0,755	213	1989	0,732
60	1985	0,340	135	1986	0,832	214	1989	0,802
61	1985	0,832	136	1986	0,446	215	1989	0,580
62	1985	0,874	137	1986	0,750	216	1989	0,778
63	1985	0,780	138	1986	0,760	217	1989	0,940
65	1985	0,862	139	1986	0,740	218	1989	0,756
66	1985	0,787	143	1986	0,610	223	1989	0,853
67	1985	0,820	144	1987	0,690	224	1989	0,870
68	1985	0,940	146	1987	0,722	226	1989	0,540
69	1985	0,940	149	1987	0,690	227	1989	0,845

Continuação da Tabela 4. Valores dos parâmetros S_i para todos os eventos utilizados para a parcela 4 da BES.

Nº Cheias	Ano	S_i	Nº Cheias	Ano	S_i	Nº Cheias	Ano	S_i
70	1985	0,840	150	1987	0,597	228	1989	0,875
71	1985	0,689	151	1987	0,820	229	1989	0,210
72	1985	0,827	152	1987	0,640	239	1990	0,706
74	1985	0,808	154	1987	0,790	240	1990	0,530
75	1985	0,490	155	1987	0,655	241	1990	0,728
76	1985	0,810	158	1987	0,789	242	1990	0,747
78	1985	0,847	159	1987	0,870	243	1990	0,710
80	1985	0,270	163	1988	0,350	245	1990	0,840
82	1985	0,852	164	1988	0,530	252	1990	0,771
83	1985	0,805	165	1988	0,711	253	1990	0,230
84	1985	0,885	166	1988	0,518	254	1991	0,613
85	1985	0,842	167	1988	0,832	263	1991	0,680
87	1985	0,860	169	1988	0,710	264	1991	0,810

Tabela 5. Calibração dos parâmetros K_e e K_i para a parcela 1 da BESJC.

Data	Eventos	L_o (mm)	L_c (mm)	E_o (t/ha)	E_c (t/ha)	K_e (mm/h)	$K_i \cdot 10^5$ (Kgs/m ⁴)
08/03/01	1	8,61	8,60	0,222	0,221	4,73	4,36
09/03/01	2	0,01	0,01	0,000	0,006	3,04	5,22
11/03/01	3	4,98	5,00	0,088	0,088	3,72	4,17
14/03/01	4	2,70	2,70	0,007	0,007	4,81	3,55
18/03/01	5	8,07	8,08	0,072	0,074	4,58	12,35
27/03/01	6	23,44	23,45	0,845	0,845	2,05	13,24
30/03/01	7	0,13	0,13	0,001	0,009	0,70	1,14
02/04/01	8	3,67	3,66	0,338	0,338	3,34	5,39
13/06/01	9	6,60	6,60	0,097	0,097	3,73	6,65
27/06/01	10	18,80	18,80	0,220	0,223	6,41	11,25
02/07/01	11	0,15	0,15	0,001	0,001	3,63	6,41
20/07/01	12	0,90	0,90	0,008	0,007	3,73	6,28
03/08/01	13	0,45	0,44	0,007	0,007	4,73	6,46
12/08/01	14	0,09	0,10	0,000	0,003	1,52	4,25
22/08/01	15	1,42	1,41	0,005	0,005	1,81	5,65
29/12/01	16	4,65	4,65	0,193	0,192	4,51	4,65
01/01/02	17	4,95	4,95	0,058	0,057	5,96	6,25
02/01/02	18	22,92	22,93	0,303	0,301	3,74	3,96
04/01/02	19	32,37	32,38	0,360	0,360	2,43	14,52
06/01/02	20	6,60	6,58	0,095	0,095	4,14	4,65
10/01/02	21	3,75	3,76	0,101	0,100	2,95	2,40
11/01/02	22	3,36	3,35	0,048	0,047	3,05	3,94
22/01/02	23	1,28	1,27	0,044	0,045	2,96	8,45
03/02/02	24	29,67	29,67	1,163	1,161	1,95	1,36
05/02/02	25	1,35	1,35	0,040	0,040	5,25	1,47
10/02/02	26	2,18	2,18	0,999	0,998	4,22	4,62
12/02/02	27	13,56	13,55	1,137	1,140	6,06	7,46

Continuação da Tabela 5. Calibração dos parâmetros K_e e K_i para a parcela 1 da BESJC.

13/02/02	28	0,90	0,90	0,027	0,025	5,24	3,16
15/02/02	29	28,32	28,33	0,716	0,717	2,08	1,05
04/03/02	30	5,10	5,10	0,617	0,615	3,82	2,36
06/03/02	31	32,37	32,37	1,276	1,279	4,96	7,24
08/03/02	32	2,25	2,25	0,059	0,060	5,25	2,47
18/03/02	33	2,73	2,75	0,129	0,130	3,32	1,474
06/05/02	34	27,06	27,07	0,588	0,588	5,72	12,15
10/05/02	35	0,02	0,03	0,000	0,001	4,25	6,44
26/05/02	36	0,07	0,06	0,000	0,001	4,58	7,44
07/06/02	37	2,15	2,14	0,051	0,050	3,82	8,41
Média						3,86	5,86

Tabela 6a. Calibração dos parâmetros K_e e K_i para a parcela 2 da BESJC com vegetação.

Eventos	Lo (mm)	Lc (mm)	Eo (t/ha)	Ec (t/ha)	Ke (mm/h)	Ki*10 ⁵ (Kgs/m4)
1	-	3,21	-	1,648	3,64	3,44
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	0,04	0,05	0,001	0,001	5,11	4,24
5	0,06	0,06	0,000	1,254	3,22	4,46
6	2,62	2,61	0,016	0,015	5,57	3,46
7	-	3,57	-	1,547	3,42	3,25
8	0,10	0,10	0,001	0,001	4,36	3,68
9	0,08	0,08	0,000	0,006	2,11	3,44
10	0,15	0,15	0,001	0,004	7,31	3,00
11	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-
Média					4,34	3,62

Tabela 6b. Calibração dos parâmetros K_e e K_i para a parcela 2 da BESJC desmatada.

Eventos	Lo (mm)	Lc (mm)	Eo (t/ha)	Ec (t/ha)	Ke (mm/h)	Ki*10 ⁵ (Kgs/m4)
13	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-
15	0,13	0,13	0,005	0,005	3,63	4,25
16	2,84	2,85	0,020	0,020	3,47	4,44
17	1,95	1,94	0,041	0,041	3,53	5,14
18	8,10	8,10	0,090	0,090	3,14	4,67
19	31,05	31,00	0,078	0,078	1,78	11,39
20	0,90	0,90	0,038	0,038	3,54	4,54
21	3,08	3,10	0,015	0,015	2,47	4,15
22	3,29	3,30	0,035	0,035	3,44	4,15
23	0,75	0,75	0,016	0,016	4,45	6,41
24	28,35	28,35	0,535	0,535	2,64	5,47
25	1,24	1,25	0,022	0,020	3,46	5,69

26	20,25	20,25	0,439	0,440	3,89	4,35
27	13,47	13,46	0,246	0,245	3,78	4,24
28	0,83	0,84	0,017	0,015	3,47	6,14
29	27,00	27,00	0,106	0,105	2,77	3,98
30	3,60	3,60	0,233	0,233	3,85	3,20
31	28,13	28,12	0,737	0,738	4,23	6,23
32	2,10	2,10	0,023	0,022	4,21	6,47
33	2,32	2,31	0,036	0,035	3,68	5,46
34	15,24	15,25	0,080	0,080	5,82	12,36
35	0,02	0,02	0,000	0,009	1,67	11,25
36	0,02	0,03	0,000	0,008	3,64	8,17
37	1,25	1,24	0,008	0,008	2,46	9,17
Média					3,44	6,14

Tabela 7. Calibração dos parâmetros K_e e K_i para a parcela 1 da BES.

ventos	Data	Lo (mm)	Lc (mm)	Eo (t/ha)	Ec (t/ha)	Ke (mm/h)	Ki*105(kgs/m4)
1	31/03/82	0,10	0,10	0,003	0,003	4,2	1,21
4	23/04/82	14,40	14,42	0,574	0,575	7,62	3,33
13	03/02/83	0,04	0,04	0,004	0,004	4,5	2,14
15	06/02/83	0,12	0,11	0,001	0,001	3,51	2,10
16	07/02/83	17,90	17,90	0,829	0,830	3,5	5,32
17	12/02/83	0,28	0,28	0,009	0,010	4,21	1,36
19	19/02/83	1,21	1,22	0,117	0,117	3,5	2,31
20	23/03/83	0,07	0,07	0,003	0,003	3,5	1,34
21	27/03/83	0,25	0,25	0,034	0,035	3,5	5,48
22	06/04/83	6,26	6,25	0,572	0,572	7,8	5,47
25	07/02/84	6,43	6,43	0,667	0,667	3,6	5,66
26	14/02/84	1,18	1,18	0,081	0,080	1	3,36
27	29/02/84	10,94	10,95	1,490	1,490	3,8	6,24
30	11/03/84	21,48	21,48	3,018	3,018	3,65	2,69
31	22/03/84	3,48	3,49	0,997	0,997	3,34	5,54
32	23/03/84	2,66	2,66	0,210	0,210	3,47	2,36
33	26/03/84	1,91	1,90	0,332	0,332	5,21	3,65
34	02/04/84	0,02	0,02	0,000	0,000	3,5	1,02
35	03/04/84	5,19	5,20	0,181	0,180	2,2	2,14
37	05/04/84	7,80	7,81	0,251	0,251	3,3	3,17
38	14/04/84	0,11	0,11	0,003	0,003	2,23	3,54
39	15/04/84	2,79	2,78	0,258	0,257	1,98	7,76
41	19/04/84	4,88	4,90	1,346	0,345	2,62	6,54
42	20/04/84	56,79	56,80	12,843	12,850	2,24	14,32
44	23/04/84	5,51	5,50	0,001	0,001	2,21	3,5
45	26/04/84	1,73	1,74	0,622	0,622	1,54	5,62
47	20/05/84	6,05	6,05	1,978	1,978	1,36	4,6
49	23/05/84	12,58	12,58	3,030	3,030	6,51	7,66
50	24/05/84	7,84	7,84	1,536	1,540	3,7	6,21
55	25/01/85	7,74	7,74	0,734	0,735	3,9	4,02
57	03/02/85	4,86	4,89	0,747	0,747	3,64	4,33
59	05/02/85	20,70	20,70	4,334	4,335	6,9	5,03
67	18/02/85	34,87	34,86	8,658	8,660	7,5	8,35
71	27/02/85	8,82	8,83	2,373	2,370	5,8	2,47
72	02/03/85	1,12	1,13	0,181	0,181	3,65	1,36
75	18/03/85	1,54	1,54	0,177	0,177	2,7	2,25

Continuação da Tabela 7. Calibração dos parâmetros K_e e K_i para a parcela 1 da BES.

ventos	Data	Lo (mm)	Lc (mm)	Eo (t/ha)	Ec (t/ha)	Ke (mm/h)	Ki*105(kgs/m4)
76	19/03/85	12,50	12,50	6,309	6,309	2,98	14,15
82	29/03/85	1,56	1,55	0,485	0,485	3,64	4,65
83	30/03/85	8,05	8,04	2,776	2,776	2,75	8,36
84	31/03/85	7,91	7,90	1,827	1,827	6,32	5,36
87	03/04/85	4,06	4,08	0,600	0,600	6,21	4,21
95	12/04/85	18,24	18,25	0,298	0,299	5,59	4,3
96	14/04/85	12,80	12,80	1,442	1,442	3,77	6,02
98	22/04/85	3,56	3,57	0,492	0,493	3,11	3,64
99	24/04/85	7,86	7,85	0,857	0,858	2,64	3,69
103	03/05/85	1,06	1,06	0,321	0,321	2,54	3,54
104	04/05/85	1,29	1,30	0,379	0,379	2,98	3,69
106	05/06/85	3,89	3,90	0,187	0,187	2,8	2,89
107	11/06/85	11,70	11,70	1,904	1,904	4,3	4,87
109	13/07/85	0,77	0,77	0,182	0,182	4,36	2,14
110	07/12/85	3,67	3,68	5,381	5,381	5,47	10,36
111	14/12/85	17,09	17,10	4,048	4,050	2,47	10,24
118	26/02/86	7,78	7,77	0,392	0,392	6,51	4,13
120	02/03/86	4,20	4,20	0,120	0,120	7,21	2,63
121	03/03/86	1,27	1,26	0,078	0,078	3,78	2,13
122	04/03/86	7,74	7,74	0,383	0,383	2,15	4,35
124	08/03/86	13,58	13,59	0,520	0,520	6,89	5,36
132	10/04/86	8,94	8,95	0,489	0,489	3,69	5,21
136	21/04/86	17,93	17,92	1,622	1,620	2,43	7,26
137	22/04/86	4,62	4,62	0,211	0,210	6,3	3,36
139	06/05/86	1,27	1,26	0,031	0,031	3,5	2,11
144	07/02/87	2,59	2,58	0,237	0,237	3,52	3,96
146	12/02/87	1,75	1,76	0,347	0,347	3,2	4,28
150	10/03/87	1,34	1,33	0,079	0,079	3,72	2,39
151	12/03/87	1,30	1,31	0,068	0,070	3,65	2,35
152	15/03/87	13,62	13,62	0,388	0,389	3,95	5,36
153	28/03/87	25,73	25,73	3,870	3,870	6,94	13,24
155	02/05/87	4,50	4,49	1,082	1,082	3,4	1,36
158	28/06/87	5,10	5,00	0,614	0,614	2,87	5,41
162	20/01/88	7,70	7,70	1,642	1,642	2,34	4,25
163	14/02/88	44,83	44,82	6,905	6,905	2,69	4,62
164	15/02/88	18,02	18,01	0,735	0,735	3,24	5,41
165	23/02/88	2,16	2,16	0,892	0,892	4,07	5,21
168	02/03/88	7,90	7,90	0,601	0,600	2,72	4,36
169	09/03/88	3,98	3,99	0,451	0,450	2,78	4,35
170	11/03/88	33,01	33,00	3,835	3,835	4,54	12,15
171	12/03/88	0,15	0,16	0,008	0,008	3,66	2,36
172	14/03/88	7,09	7,10	2,723	2,723	3,95	7,24
173	15/03/88	21,84	21,85	3,638	3,638	3,02	11,36
174	19/03/88	0,35	0,35	0,072	0,072	2,33	2,67
175	21/03/88	12,87	12,86	3,860	3,860	2,03	9,36
177	24/03/88	13,13	13,13	2,375	2,375	2,08	8,24
178	05/04/88	8,82	8,82	4,405	4,405	2,31	11,52
179	08/04/88	7,94	7,94	1,463	1,463	2,3	5,31
181	13/04/88	18,60	18,60	4,366	4,365	1,04	7,15
183	19/04/88	12,87	12,86	3,354	3,354	2,05	6,88
184	20/04/88	1,46	1,45	0,135	0,135	2,33	5,66
187	06/05/88	8,04	8,05	1,624	1,624	3,07	5,94
188	23/06/88	15,60	15,60	3,073	3,073	2	8,22
189	09/07/88	29,39	29,40	3,370	3,370	3,92	6,63
190	13/07/88	1,41	1,40	0,068	0,068	3,1	2,11

Continuação da Tabela 7. Calibração dos parâmetros K_e e K_i para a parcela 1 da BES.

ventos	Data	Lo (mm)	Lc (mm)	Eo (t/ha)	Ec (t/ha)	Ke (mm/h)	Ki*105(kgs/m4)
193	12/01/89	4,51	4,50	-	-	3,7	-
195	19/01/89	7,79	7,80	-	-	2,61	-
197	01/03/89	8,10	8,10	-	-	1,65	-
198	22/03/89	17,20	17,20	-	-	2,3	-
199	25/03/89	18,25	18,25	-	-	2,3	-
203	01/04/89	1,22	1,22	-	-	2,2	-
208	08/04/89	16,30	16,31	-	-	1,15	-
209	16/04/89	24,51	24,52	-	-	3,95	-
211	23/04/89	1,03	1,02	-	-	3,89	-
212	27/04/89	7,99	8,01	1,564	1,564	2,08	7,87
215	09/05/89	4,10	4,11	0,893	0,893	1,1	5,12
224	04/07/89	2,86	2,85	0,210	0,210	1,08	5,85
226	06/07/89	19,90	19,90	6,137	6,135	2	12,64
229	20/09/89	14,70	14,70	2,797	2,795	2,33	6,39
238	09/02/90	16,33	16,33	2,282	2,285	1,24	6,24
239	10/02/90	3,29	3,30	1,679	1,680	7,36	6,16
240	25/02/90	2,73	2,72	2,791	2,790	5,14	7,28
241	26/02/90	4,99	5,00	0,351	0,351	3,69	4,25
242	07/04/90	3,23	3,23	0,996	1,000	1,2	5,24
246	18/05/90	7,80	7,80	0,565	0,565	3,4	2,14
264	19/05/91	4,98	4,98	0,468	0,468	1,1	5,38
Média						3,48	5,20

Tabela 8. Simulação com os parâmetros médios de K_e e K_i obtidos na P01 da BES para a P04 da BES.

Eventos	Data	Chuva (mm)	Lo (mm)	Lc (mm)	Eo (t/ha)	Ec (t/ha)	Ke (mm/h)	Ki*105(kgs/m ⁴)
1	31/03/82	16,7	0,090	0,16	0,003	0,001	3,48	5,20
4	23/04/82	43,7	13,332	16,24	2,044	1,687	3,48	5,20
13	03/02/83	14,2	0,470	0,54	0,012	0,009	3,48	5,20
15	06/02/83	10,2	0,090	0,13	0,000	0,000	3,48	5,20
16	07/02/83	44,5	12,225	12,25	0,739	0,987	3,48	5,20
17	12/02/83	5,7	1,390	1,62	0,134	0,063	3,48	5,20
19	19/02/83	8,2	1,340	1,36	0,072	0,034	3,48	5,20
20	23/03/83	16,8	0,160	0,17	0,004	0,001	3,48	5,20
21	27/03/83	8,6	1,050	1,06	0,088	0,136	3,48	5,20
22	06/04/83	26,1	8,010	10,12	1,961	2,314	3,48	5,20
25	07/02/84	18,9	8,050	8,23	1,992	2,347	3,48	5,20
26	14/02/84	7,7	0,260	0,14	0,034	0,027	3,48	5,20
27	29/02/84	26,4	11,242	11,36	4,908	6,214	3,48	5,20
30	11/03/84	32	15,499	16,03	4,630	4,021	3,48	5,20
31	22/03/84	19,4	4,410	4,26	2,250	2,874	3,48	5,20
32	23/03/84	9,7	2,090	2,08	0,717	0,447	3,48	5,20
33	26/03/84	7,6	3,620	2,68	4,747	3,952	3,48	5,20
34	02/04/84	9,7	0,030	0,03	0,001	0,000	3,48	5,20
35	03/04/84	25	5,500	4,39	2,359	1,524	3,48	5,20
37	05/04/84	16,9	8,220	7,11	1,285	0,853	3,48	5,20
38	14/04/84	4,9	1,370	0,06	0,262	0,163	3,48	5,20
39	15/04/84	9	5,362	1,88	0,659	1,223	3,48	5,20
41	19/04/84	12,4	8,210	5,02	2,106	3,647	3,48	5,20
42	20/04/84	82,2	54,245	50,14	24,520	36,214	3,48	5,20
44	23/04/84	12,3	7,540	5,87	2,458	3,654	3,48	5,20
45	26/04/84	7,4	3,530	1,06	0,935	1,324	3,48	5,20
47	20/05/84	10,8	6,230	4,23	4,584	4,024	3,48	5,20
49	23/05/84	27,2	15,710	18,63	14,336	16,365	3,48	5,20
50	24/05/84	17,3	7,900	8	0,330	0,787	3,48	5,20
55	25/01/85	30,9	6,160	3,57	1,122	0,897	3,48	5,20
57	03/02/85	13,6	2,860	2,35	0,856	0,741	3,48	5,20
59	05/02/85	34,8	20,907	25,54	11,980	10,654	3,48	5,20
67	18/02/85	48,4	42,602	18,47	3,798	5,321	3,48	5,20
71	27/02/85	32,8	11,200	5,64	5,183	3,301	3,48	5,20
72	02/03/85	9,7	3,670	2,88	1,317	0,321	3,48	5,20
75	18/03/85	19,8	2,430	11,03	0,468	0,214	3,48	5,20
76	19/03/85	23,5	12,454	10,86	4,493	6,317	3,48	5,20
82	29/03/85	8,1	1,080	1,36	0,273	0,412	3,48	5,20
83	30/03/85	20,2	10,894	8,64	1,956	5,312	3,48	5,20
84	31/03/85	15,1	9,184	11,61	1,822	2,365	3,48	5,20
87	03/04/85	5,8	3,580	5,23	0,255	0,184	3,48	5,20
95	12/04/85	45,7	33,022	35,14	3,757	3,254	3,48	5,20
96	14/04/85	31,4	13,644	14,25	2,775	3,647	3,48	5,20
98	22/04/85	27,9	4,950	3,03	0,059	0,041	3,48	5,20
99	24/04/85	23,1	10,079	6,55	1,514	1,254	3,48	5,20

Cont. da Tabela 8. Simulação com os parâmetros médios de K_e e K_i obtidos na P01 da BES para a P04 da BES.

Eventos	Data	Chuva (mm)	Lo (mm)	Lc (mm)	Eo (t/ha)	Ec (t/ha)	Ke (mm/h)	Ki*105(kgs/m ²)
103	03/05/85	4,2	2,350	0,87	0,125	0,077	3,48	5,20
104	04/05/85	4,8	2,690	1,01	0,596	0,366	3,48	5,20
106	05/06/85	34,9	7,830	3,24	1,445	1,054	3,48	5,20
107	11/06/85	40,7	15,955	16,74	15,591	14,334	3,48	5,20
109	13/07/85	14,2	2,520	3,06	0,323	0,123	3,48	5,20
110	07/12/85	26,5	7,181	8,54	0,270	2,364	3,48	5,20
111	14/12/85	46,4	20,450	15,29	3,680	6,387	3,48	5,20
118	26/02/86	33,1	10,577	13,36	0,505	0,368	3,48	5,20
120	02/03/86	17,5	1,070	4,21	0,093	0,054	3,48	5,20
121	03/03/86	10,7	0,500	1,96	0,029	0,014	3,48	5,20
122	04/03/86	9,8	6,140	5,03	0,281	0,203	3,48	5,20
124	08/03/86	33,2	18,160	20,13	0,819	1,036	3,48	5,20
132	10/04/86	27,2	12,710	13,11	0,699	0,702	3,48	5,20
136	21/04/86	34,5	14,790	12,94	2,035	2,987	3,48	5,20
137	22/04/86	10,3	3,150	6,77	0,195	0,128	3,48	5,20
139	06/05/86	19,3	3,290	3,3	0,056	0,032	3,48	5,20
144	07/02/87	11,5	2,841	2,87	0,244	0,188	3,48	5,20
146	12/02/87	9,4	1,344	1,03	0,292	0,221	3,48	5,20
150	10/03/87	16,2	1,300	1,52	0,228	0,163	3,48	5,20
151	12/03/87	5	0,636	0,852	0,049	0,031	3,48	5,20
152	15/03/87	27,2	11,843	13,77	0,558	1,047	3,48	5,20
153	28/03/87	63,6	14,777	22,86	7,211	11,365	3,48	5,20
155	02/05/87	19,6	6,429	5,38	1,583	0,654	3,48	5,20
158	28/06/87	24,9	5,974	4,33	11,432	12,247	3,48	5,20
162	20/01/88	24,6	5,695	4,87	1,520	1,470	3,48	5,20
163	14/02/88	71,3	41,805	37,16	7,351	6,112	3,48	5,20
164	15/02/88	32,1	19,854	16,88	3,138	3,647	3,48	5,20
165	23/02/88	12,2	1,482	2,54	0,300	0,300	3,48	5,20
169	09/03/88	15,4	5,345	3,14	0,222	0,166	3,48	5,20
170	11/03/88	45,6	29,870	33,36	4,389	9,356	3,48	5,20
171	12/03/88	4,7	0,158	0,23	0,015	0,006	3,48	5,20
172	14/03/88	3,8	6,249	7,63	3,029	5,217	3,48	5,20
173	15/03/88	31,3	21,676	19,89	4,299	9,244	3,48	5,20
174	19/03/88	7,3	1,308	0,24	0,126	0,064	3,48	5,20
175	21/03/88	24,2	11,825	10,25	3,233	7,145	3,48	5,20
177	24/03/88	22,1	11,933	9,68	4,300	7,360	3,48	5,20
178	05/04/88	22,1	8,292	6,34	3,568	9,368	3,48	5,20
179	08/04/88	16,4	7,012	5,27	2,515	2,874	3,48	5,20
181	13/04/88	29,8	13,871	10,68	4,214	7,214	3,48	5,20
183	19/04/88	23	8,740	6,09	2,889	4,036	3,48	5,20
184	20/04/88	5,5	1,266	1,07	0,127	0,301	3,48	5,20
187	06/05/88	16	8,136	6,68	1,900	2,331	3,48	5,20
188	23/06/88	34,3	16,756	13,09	3,905	6,334	3,48	5,20
189	09/07/88	55,1	24,339	28,02	5,218	8,658	3,48	5,20
190	13/07/88	10,3	0,302	0,206	0,009	0,003	3,48	5,20
193	12/01/89	23,4	3,522	4,96	0,193	0,109	3,48	5,20
195	19/01/89	14,4	5,816	4,64	0,615	0,336	3,48	5,20
197	01/03/89	16,4	7,969	4,21	1,752	1,119	3,48	5,20
198	22/03/89	30,6	15,821	12,67	7,307	6,066	3,48	5,20

Cont. da Tabela 8. Simulação com os parâmetros médios de K_e e K_i obtidos na P01 da BES para a P04 da BES.

Eventos	Data	Chuva (mm)	Lo (mm)	Lc (mm)	Eo (t/ha)	Ec (t/ha)	Ke (mm/h)	Ki*105(kgs/m ⁴)
199	25/03/89	34,6	16,798	13,63	4,149	5,667	3,48	5,20
203	01/04/89	14,9	3,982	1,09	0,249	0,163	3,48	5,20
208	08/04/89	27	12,211	9,39	2,456	4,369	3,48	5,20
209	16/04/89	39,8	23,088	25,13	4,138	3,025	3,48	5,20
211	23/04/89	7,6	3,117	4,06	0,269	0,174	3,48	5,20
212	27/04/89	27,1	7,969	6,03	0,975	1,654	3,48	5,20
215	09/05/89	13,1	2,430	1,71	0,184	0,144	3,48	5,20
224	04/07/89	9,4	3,967	1,69	0,235	0,545	3,48	5,20
226	06/07/89	30,7	14,835	11,54	3,648	9,365	3,48	5,20
229	20/09/89	39,4	10,581	8,36	1,661	2,365	3,48	5,20
238	09/02/90	35,8	14,356	11,55	2,165	2,978	3,48	5,20
239	10/02/90	9,1	1,967	4,2	0,605	0,991	3,48	5,20
240	25/02/90	11,3	1,336	4,23	0,056	0,236	3,48	5,20
241	26/02/90	11,6	3,390	4,28	0,082	0,070	3,48	5,20
242	07/04/90	15,2	4,457	3,17	0,720	0,744	3,48	5,20
264	19/05/91	12,3	5,368	2,58	0,309	0,414	3,48	5,20

Tabela 9. Valores dos parâmetros S_i para todos os eventos utilizados para a microbacia 01 da BESJC.

Cheias	Data	Chuva	S_i	Cheias	Data	Chuva	S_i
19	22/02/00	17,3	0,675	57	02/04/01	7,0	0,859
22	02/03/00	7,9	0,800	59	13/06/01	15,4	0,480
23	19/03/00	38,6	0,664	60	27/06/01	32,6	0,723
24	29/03/00	23,2	0,905	69	01/01/02	17,8	0,800
25	30/03/00	19,7	0,782	70	02/01/02	28,2	0,820
26	31/03/00	35,6	0,847	71	04/01/02	40,0	0,684
27	01/04/00	17,0	0,980	72	06/01/02	10,5	0,925
28	08/04/00	20,6	0,380	73	10/01/02	7,2	0,802
29	11/04/00	16,7	0,435	74	11/01/02	4,7	0,867
30	12/04/00	61,0	0,819	75	22/01/02	4,3	1,000
31	16/04/00	21,0	0,440	76	03/02/02	72,0	0,400
32	17/04/00	9,0	0,683	77	05/02/02	5,4	0,455
33	25/04/00	5,6	0,760	78	10/02/02	12,2	0,839
35	05/05/00	21,7	0,715	80	12/02/02	31,0	0,460
36	18/05/00	15,2	0,840	81	13/02/02	6,0	0,703
43	26/07/00	15,4	0,704	82	15/02/02	66,0	0,780
44	02/08/00	14,2	0,945	83	04/03/02	17,0	0,779
49	08/03/01	25,0	0,822	84	06/03/02	52,0	0,770
51	11/03/01	9,0	0,887	85	08/03/02	4,0	0,859
53	18/03/01	14,2	1,000	86	18/03/02	7,0	0,546
54	27/03/01	39,0	0,420	88	06/05/02	80,0	0,268
55	30/03/01	24,2	0,475	-	-	-	-

Tabela 10. Valores dos parâmetros S_i para todos os eventos utilizados para a microbacia 02 da BESJC.

Cheias	Data	Chuva	S_i
69	01/01/02	17,8	0,659
70	02/01/02	28,2	0,784
71	04/01/02	40,0	0,648
72	06/01/02	10,5	0,889
73	10/01/02	7,2	0,766
74	11/01/02	4,7	0,801
75	22/01/02	4,3	0,896
76	03/02/02	72,0	0,364
77	05/02/02	5,4	0,419
78	10/02/02	12,2	0,803
80	12/02/02	31,0	0,424
81	13/02/02	6,0	0,667
82	15/02/02	66,0	0,744
83	04/03/02	17,0	0,743
84	06/03/02	52,0	0,734
85	08/03/02	4,0	0,823
86	18/03/02	7,0	0,710
88	06/05/02	80,0	0,690

Tabela 11. Valores dos parâmetros S_i para todos os eventos utilizados para a microbacia 03 da BESJC.

Cheias	Data	Chuva	S_i
69	01/01/02	17,8	0,719
70	02/01/02	28,2	0,844
71	04/01/02	40,0	0,708
72	06/01/02	10,5	0,949
73	10/01/02	7,2	0,826
74	11/01/02	4,7	0,861
75	22/01/02	4,3	0,956
76	03/02/02	72,0	0,424
77	05/02/02	5,4	0,479
78	10/02/02	12,2	0,863
80	12/02/02	31,0	0,484
81	13/02/02	6,0	0,727
82	15/02/02	66,0	0,804
83	04/03/02	17,0	0,803
84	06/03/02	52,0	0,794
85	08/03/02	4,0	0,883
86	18/03/02	7,0	0,770
88	06/05/02	80,0	0,750

Tabela 12. Valores dos parâmetros S_i para todos os eventos utilizados para a microbacia 03 da BES.

Cheias	Data	Chuva	S_i	Cheias	Data	Chuva	S_i	Cheias	Data	Chuva	S_i
1	31/03/82	16,7	0,665	76	19/03/85	23,5	0,464	168	02/03/88	20,6	0,476
4	23/04/82	43,7	0,940	82	29/03/85	8,1	0,668	169	09/03/88	15,4	0,655
13	03/02/83	14,2	0,900	83	30/03/85	20,2	0,667	171	12/03/88	4,7	0,455
15	06/02/83	10,2	0,929	87	03/04/85	5,8	0,468	172	14/03/88	3,8	0,864
16	07/02/83	44,5	0,900	95	12/04/85	45,7	0,677	174	19/03/88	7,3	0,845
17	12/02/83	5,7	0,900	96	14/04/85	31,4	0,746	175	21/03/88	24,2	0,646
19	19/02/83	8,2	0,914	98	22/04/85	27,9	0,789	177	24/03/88	22,1	0,290
20	23/03/83	16,8	0,843	99	24/04/85	23,1	0,310	178	05/04/88	22,1	0,734
21	27/03/83	8,6	0,645	103	03/05/85	4,2	0,944	179	08/04/88	16,4	0,747
22	06/04/83	26,1	0,700	104	04/05/85	4,8	0,747	184	20/04/88	5,5	0,777
25	07/02/84	18,9	0,766	106	05/06/85	34,9	0,665	187	06/05/88	16	0,646
26	14/02/84	7,7	0,705	107	11/06/85	40,7	0,940	188	23/06/88	34,3	0,774
27	29/02/84	26,4	0,948	118	26/02/86	33,1	0,765	189	09/07/88	55,1	0,744
33	26/03/84	7,6	0,736	120	02/03/86	17,5	0,929	190	13/07/88	10,3	0,723
34	02/04/84	9,7	0,712	121	03/03/86	10,7	0,746	193	12/01/89	23,4	0,715
35	03/04/84	25	0,826	122	04/03/86	9,8	0,764	197	01/03/89	16,4	0,736
37	05/04/84	16,9	0,625	124	08/03/86	33,2	0,880	198	22/03/89	30,6	0,789
38	14/04/84	4,9	0,723	132	10/04/86	27,2	0,998	199	25/03/89	34,6	0,310
39	15/04/84	9	0,714	136	21/04/86	34,5	0,980	208	08/04/89	27	0,944
41	19/04/84	12,4	0,735	137	22/04/86	10,3	0,700	209	16/04/89	39,8	0,644
45	26/04/84	7,4	0,556	139	06/05/86	19,3	0,980	211	23/04/89	7,6	0,674
47	20/05/84	10,8	0,648	144	07/02/87	11,5	0,705	212	27/04/89	27,1	0,464
49	23/05/84	27,2	0,648	146	12/02/87	9,4	0,948	224	04/07/89	9,4	0,515
50	24/05/84	17,3	0,743	150	10/03/87	16,2	0,546	226	06/07/89	30,7	0,844
55	25/01/85	30,9	0,735	152	15/03/87	27,2	0,347	229	20/09/89	39,4	0,844
59	05/02/85	34,8	0,845	153	28/03/87	63,6	0,944	239	10/02/90	9,1	0,844
67	18/02/85	48,4	0,290	155	02/05/87	19,6	0,946	242	07/04/90	15,2	0,884
71	27/02/85	32,8	0,964	158	28/06/87	24,9	0,791	246	18/05/90	16,2	0,789
72	02/03/85	9,7	0,844	162	20/01/88	24,6	0,513	264	19/05/91	12,3	0,720
75	18/03/85	19,8	0,650	165	23/02/88	12,2	0,543	-	-	-	-

Tabela 13. Calibração do parâmetro K_r para a microbacia 01 da BESJC, para um valor médio de $K_i = 6,00 \times 10^5 \text{ kgs/m}^4$.

Eventos	Chuva (mm)	Lo (mm)	Lc (mm)	Eo (t/ha)	Ec (t/ha)	Ke (mm/h)	Kr(s/m)x10 ⁻³	
11	5,3	-	-	-	-	-	-	
12	10,0	-	-	-	-	-	-	
13	11,0	-	-	-	-	-	-	
14	4,3	-	-	-	-	-	-	
15	6,8	-	-	-	-	-	-	
16	9,4	-	-	-	-	-	-	
17	17,8	0,18	0,18	0,004	0,004	3,85	1,0785	
18	28,2	0,74	0,74	0,003	0,003	4,31	1,0744	
19	40,0	1,29	1,29	0,007	0,007	3,09	1,0846	
20	10,5	0,63	0,62	0,003	0,003	4,01	1,0714	
21	7,2	0,16	0,16	0,000	0,001	3,88	1,0734	
22	4,7	0,67	0,66	0,007	0,005	4,54	1,0712	
23	4,3	0,06	0,06	0,002	0,001	4,66	1,0724	
24	72,0	16,08	16,08	0,030	0,030	4,89	1,1005	
25	5,4	0,03	0,03	0,000	0,002	3,91	1,0744	
26	12,2	1,68	1,69	0,011	0,010	2,33	1,0734	
27	31,0	8,48	8,48	0,074	0,075	2,50	1,0994	
28	6,0	0,05	0,05	0,001	0,002	2,97	1,0714	
29	66,0	21,91	21,90	0,206	0,205	1,26	1,1069	
30	17,0	0,10	0,10	0,001	0,003	3,11	1,0879	
31	52,0	22,78	22,79	0,150	0,150	3,74	1,1112	
32	4,0	0,09	0,10	0,003	0,002	3,88	1,0711	
33	7,0	0,04	0,04	0,001	0,003	4,60	1,0724	
34	80,0	3,98	3,98	0,009	0,010	8,33	1,0978	
35	3,0	-	-	-	-	-	-	
36	7,6	-	-	-	-	-	-	
37	12,0	-	-	-	-	-	-	
						Média	3,88	1,0829

Tabela 14. Calibração do parâmetro K_r para a microbacia 02 da BESJC, para um valor médio de $K_i = 6,00 \times 10^5 \text{ kgs/m}^4$.

Eventos	Chuva (mm)	Lo (mm)	Lc (mm)	Eo (t/ha)	Ec (t/ha)	Ke (médio)	Kr(s/m)x10 ⁻³
11	5,3	-	-	-	-	-	-
12	10,0	-	-	-	-	-	-
13	11,0	-	-	-	-	-	-
14	4,3	-	-	-	-	-	-
15	6,8	-	-	-	-	-	-
16	9,4	-	-	-	-	-	-
17	17,8	0,002	0,035	0,005	0,005	3,81	1,0765
18	28,2	0,110	1,045	0,014	0,013	4,30	1,0744
19	40,0	0,112	0,112	0,032	0,031	3,85	1,0815
20	10,5	0,098	0,098	0,003	0,003	4,00	1,0736
21	7,2	0,028	0,028	0,000	0,004	3,83	1,0766
22	4,7	0,019	0,019	0,000	0,002	4,52	1,0733
23	4,3	-	-	-	-	-	-
24	72,0	0,827	0,825	0,065	0,065	4,85	1,1023
25	5,4	0,018	0,019	0,000	0,008	3,91	1,0788
26	12,2	0,184	0,185	0,050	0,048	2,31	1,0722
27	31,0	0,216	0,215	0,005	0,005	2,45	1,1002
28	6,0	0,009	0,010	0,000	0,006	2,95	1,0714
29	66,0	2,307	2,308	0,090	0,090	1,24	1,1077
30	17,0	0,002	0,002	0,000	0,003	3,09	1,0880
31	52,0	1,943	1,945	0,015	0,015	3,70	1,1130
32	4,0	0,006	0,005	0,000	0,002	3,84	1,0711
33	7,0	-	-	-	-	-	-
34	80,0	1,024	1,025	0,012	0,012	8,29	1,0995
35	3,0	-	-	-	-	-	-
36	7,6	-	-	-	-	-	-
37	12,0	-	-	-	-	-	-
Média						3,81	1,0850

Tabela 15. Calibração do parâmetro K_r para a microbacia 03 da BESJC, para um valor médio de $K_i = 6,00 \times 10^5 \text{ kgs/m}^4$.

Eventos	Chuva (mm)	Lo (mm)	Lc (mm)	Eo (t/ha)	Ec (t/ha)	Ke (mm/h)	Kr(s/m)x10 ⁻³
11	5,3	-	-	-	-	-	-
12	10,0	-	-	-	-	-	-
13	11,0	-	-	-	-	-	-
14	4,3	-	-	-	-	-	-
15	6,8	-	-	-	-	-	-
16	9,4	-	-	-	-	-	-
17	17,8	-	-	-	-	-	-
18	28,2	0,090	0,091	0,002	0,001	6,20	1,1245

para um valor médio de $K_i = 6,00 \times 10^5 \text{ kgs/m}^4$.

Eventos	Chuva (mm)	Lo (mm)	Lc (mm)	Eo (t/ha)	Ec (t/ha)	Ke (mm/h)	Kr(s/m)x10 ⁻³
19	40,0	0,960	0,960	0,004	0,003	7,08	1,1165
20	10,5	0,060	0,060	0,000	0,001	7,65	1,1245
21	7,2	0,010	0,010	0,000	0,001	7,77	1,0979
22	4,7	-	-	-	-	-	-
23	4,3	-	-	-	-	-	-
24	72,0	0,260	0,260	0,005	0,002	11,13	1,0944
25	5,4	0,010	0,009	0,000	0,001	6,45	1,0976
26	12,2	0,270	0,271	0,005	0,003	4,71	1,0989
27	31,0	0,270	0,269	0,011	0,008	6,14	1,1246
28	6,0	-	-	-	-	-	-
29	66,0	2,460	2,465	0,023	0,023	10,17	1,1266
30	17,0	0,010	0,010	0,000	0,010	5,05	1,0954
31	52,0	2,490	2,500	0,007	0,008	6,31	1,1012
32	4,0	0,001	0,001	0,000	0,004	6,14	1,0875
33	7,0	-	-	-	-	-	-
34	80,0	1,190	1,200	0,003	0,003	11,20	1,1303
35	3,0	-	-	-	-	-	-
36	7,6	-	-	-	-	-	-
37	12,0	-	-	-	-	-	-
Média						7,39	1,1092

Tabela 16. Simulação com os parâmetros médios da microbacia 02 da BESJC para a microbacia 03 da BESJC.

Eventos	Chuva (mm)	Lo (mm)	Lc (mm)	Eo (t/ha)	Ec (t/ha)	Ke (mm/h)	Kr(s/m)x10 ⁻³
11	5,3	-	-	-	-	-	-
12	10,0	-	-	-	-	-	-
13	11,0	-	-	-	-	-	-
14	4,3	-	-	-	-	-	-
15	6,8	-	-	-	-	-	-
16	9,4	-	-	-	-	-	-
17	17,8	-	-	-	-	-	-
18	28,2	0,09	0,257	0,002	0,035	3,81	1,0850
19	40,0	0,96	1,678	0,004	0,036	3,81	1,0850
20	10,5	0,06	0,097	0,000	0,002	3,81	1,0850
21	7,2	0,01	0,084	0,000	0,003	3,81	1,0850
22	4,7	-	-	-	-	-	-
23	4,3	-	-	-	-	-	-
24	72,0	0,26	0,647	0,005	0,049	3,81	1,0850
25	5,4	0,01	0,009	0,000	-	-	-
26	12,2	0,27	0,325	0,005	0,054	3,81	1,0850
27	31,0	-	-	-	-	-	-
28	6,0	-	-	-	-	-	-
29	66,0	2,46	3,687	0,023	0,045	3,81	1,0850
30	17,0	0,01	0,020	0,000	0,011	3,81	1,0850
31	52,0	2,49	3,310	0,007	0,023	3,81	1,0850
32	4,0	-	-	-	-	-	-

para a microbacia 03 da BESJC.

Eventos	Chuva (mm)	Lo (mm)	Lc (mm)	Eo (t/ha)	Ec (t/ha)	Ke (mm/h)	Kr(s/m)x10 ⁻³
33	7,0	-	-	-	-	-	-
34	80,0	1,19	3,020	0,003	0,002	3,81	1,0850
35	3,0	-	-	-	-	-	-
36	7,6	-	-	-	-	-	-
37	12,0	-	-	-	-	-	-

Tabela 17. Calibração do parâmetro K_r para a microbacia 03 da BES, para um valor médio de $K_i = 6,00 \times 10^5 \text{ kgs/m}^4$.

Eventos	Lo (mm)	Lc (mm)	Eo (t/ha)	Ec (t/ha)	Ke (mm/h)	Kr(s/m) x 10 ⁻³
1	0,018	0,018	0,000	0,000	5,90	1,0836
4	6,640	6,639	0,299	0,300	9,32	1,0870
13	0,007	0,006	0,000	0,000	6,20	1,0847
15	0,000	0,000	0,000	0,000	5,21	1,0846
16	0,480	0,481	0,003	0,003	5,20	1,0843
17	0,002	0,002	0,000	0,000	5,91	1,0843
19	0,004	0,004	0,000	0,000	5,20	1,0843
20	0,008	0,008	0,000	0,000	5,20	1,0843
21	0,107	0,105	0,001	0,001	5,20	1,0843
22	1,518	1,520	0,028	0,028	9,50	1,0867
25	3,359	3,360	0,519	0,520	5,30	1,0871
26	0,477	0,477	0,043	0,043	2,70	1,0863
27	8,021	8,020	0,502	0,501	5,50	1,0874
33	2,136	2,136	0,399	0,400	6,91	1,0862
34	0,010	0,010	0,000	0,000	5,20	1,0840
35	3,223	3,223	0,368	0,368	3,90	1,0871
37	3,711	3,710	0,250	0,250	5,00	1,0864
38	0,000	0,000	0,000	0,000	3,93	1,0846
39	2,222	2,222	0,085	0,085	3,68	1,0847
41	3,774	3,775	0,273	0,273	4,32	1,0859
45	0,936	0,936	0,063	0,063	3,24	1,0860
47	2,550	2,550	0,055	0,055	3,06	1,0855
49	5,100	5,100	0,090	0,090	8,21	1,0856
50	2,026	2,026	0,225	0,225	5,40	1,0854
55	0,195	0,195	0,024	0,024	5,60	1,0863
59	16,800	16,800	0,784	0,784	8,60	1,0872
67	32,529	32,529	1,034	1,034	9,20	1,0876
71	12,739	12,739	0,292	0,292	7,50	1,0863
72	0,350	0,350	0,031	0,030	5,35	1,0863
75	0,010	0,010	0,001	0,001	4,40	1,0855
76	7,132	7,132	0,581	0,580	4,68	1,0866
82	0,052	0,052	0,189	0,190	5,34	1,0863
83	7,144	7,145	1,607	1,607	4,45	1,0874
87	2,805	2,805	0,230	0,230	7,91	1,0862
95	29,689	29,690	4,501	4,500	7,29	1,0881
96	23,113	23,113	1,713	1,713	5,47	1,0871

Cont. da Tabela 17. Calibração do parâmetro K_r para a microbacia 03 da BES,
para um valor médio de $K_i = 6,00 \times 10^5 \text{ kgs/m}^4$.

Eventos	Lo (mm)	Lc (mm)	Eo (t/ha)	Ec (t/ha)	Ke (mm/h)	Kr(s/m) x 10 ⁻³
98	5,137	5,137	0,181	0,180	4,81	1,0854
99	13,320	13,320	0,850	0,850	4,34	1,0863
103	1,106	1,106	0,367	0,367	4,24	1,0854
104	2,667	2,667	1,196	1,196	4,68	1,0874
106	4,600	4,600	1,166	1,166	4,50	1,0872
107	21,716	21,716	4,383	4,383	6,00	1,0876
118	1,060	1,060	0,279	0,280	8,21	1,0866
120	0,310	0,310	0,064	0,064	8,91	1,0853
121	1,140	1,140	0,132	0,132	5,48	1,0864
122	2,491	2,490	0,309	0,310	3,85	1,0868
124	17,448	17,448	1,118	1,118	8,59	1,0871
132	8,597	8,597	2,479	2,479	5,39	1,0873
136	18,346	18,346	6,003	6,003	4,13	1,0884
137	4,220	4,220	0,660	0,660	8,00	1,0864
139	0,184	0,184	0,029	0,029	5,20	1,0852
144	0,191	0,190	0,008	0,008	5,22	1,0846
146	0,063	0,063	0,037	0,037	4,90	1,0856
150	0,318	0,318	0,041	0,040	5,42	1,0853
152	12,965	12,965	1,219	1,220	5,65	1,0871
153	27,650	27,650	9,232	9,232	8,64	1,0891
155	2,313	2,313	2,336	2,336	5,10	1,0871
158	1,210	1,210	1,047	1,047	4,57	1,0871
162	5,712	5,712	3,965	3,965	4,04	1,0876
165	1,577	1,577	1,093	1,093	5,77	1,0873
168	4,638	4,638	1,099	1,099	4,42	1,0874
169	3,391	3,391	0,862	0,862	4,48	1,0864
171	0,121	0,120	0,008	0,008	5,36	1,0852
172	5,669	5,669	3,607	3,607	5,65	1,0876
174	1,689	1,689	1,116	1,116	4,03	1,0869
177	13,521	13,521	7,729	7,729	3,78	1,0886
178	10,600	10,600	6,953	6,953	4,01	1,0883
179	7,231	7,231	2,474	2,474	4,00	1,0871
183	9,633	9,633	6,740	6,740	3,75	1,0876
184	1,810	1,810	0,850	0,850	4,03	1,0856
187	7,821	7,820	1,751	1,750	4,77	1,0863
188	14,357	14,357	6,306	6,306	3,70	1,0900
189	0,000	0,000	0,000	0,000	5,62	1,0848
190	0,449	0,450	0,126	0,126	4,80	1,0851
193	9,154	9,154	1,435	1,435	5,40	1,0863
197	6,751	6,751	1,811	1,811	3,35	1,0866
198	20,603	20,603	5,192	5,192	4,00	1,0873
199	14,852	14,852	7,483	7,483	4,00	1,0879
208	22,317	22,317	4,330	4,330	2,85	1,0869
209	27,970	27,970	8,456	8,456	5,65	1,0900
211	4,730	4,730	1,100	1,100	5,59	1,0873
212	16,759	16,759	5,953	5,953	3,78	1,0879
224	3,473	3,473	0,898	0,898	2,78	1,0863
226	21,775	21,775	7,037	7,037	3,70	1,0883
229	16,140	16,140	1,017	1,017	4,03	1,0871

para um valor médio de $K_i = 6,00 \times 10^5 \text{ kgs/m}^4$.

Eventos	L_o (mm)	L_c (mm)	E_o (t/ha)	E_c (t/ha)	K_e (mm/h)	K_r (s/m) $\times 10^{-3}$
239	5,095	5,095	0,813	0,813	9,06	1,0862
242	2,093	2,093	0,258	0,258	2,90	1,0853
246	8,561	8,560	0,552	0,552	5,10	1,0861
264	4,060	4,060	0,484	0,484	2,80	1,0860
Média					5,26	1,0864

Tabela 18. Simulação com os parâmetros médios da microbacia 03 da BES para a microbacia 04 da BES.

Eventos	L_o (mm)	L_c (mm)	E_o (t/ha)	E_c (t/ha)	K_e (mm/h)	K_r (s/m) $\times 10^{-3}$
1	0,048	0,038	0,002	0,004	5,26	1,0864
4	4,440	3,136	0,238	0,230	5,26	1,0864
13	0,006	0,004	0,000	0,002	5,26	1,0864
15	0,000	0,000	0,000	0,001	5,26	1,0864
16	0,330	0,341	0,002	0,004	5,26	1,0864
17	0,003	0,002	0,000	0,001	5,26	1,0864
19	0,006	0,007	0,000	0,000	5,26	1,0864
20	0,013	0,019	0,000	0,000	5,26	1,0864
21	0,010	0,016	0,000	0,000	5,26	1,0864
22	0,131	0,056	0,002	0,001	5,26	1,0864
25	0,183	0,180	0,010	0,008	5,26	1,0864
26	0,005	0,038	0,000	0,000	5,26	1,0864
34	0,002	0,001	0,000	0,000	5,26	1,0864
35	0,836	0,743	0,011	0,013	5,26	1,0864
37	1,062	1,163	0,009	0,025	5,26	1,0864
38	0,000	0,003	0,000	0,000	5,26	1,0864
39	0,025	0,036	0,000	0,000	5,26	1,0864
41	1,576	2,364	0,018	0,033	5,26	1,0864
45	0,014	0,169	0,000	0,000	5,26	1,0864
47	0,025	0,096	0,002	0,009	5,26	1,0864
49	0,080	0,106	0,012	0,010	5,26	1,0864
50	0,079	0,123	0,000	0,000	5,26	1,0864
55	0,021	0,011	0,568	0,647	5,26	1,0864
59	11,400	10,67	0,493	0,654	5,26	1,0864
67	23,913	22,456	0,177	0,180	5,26	1,0864
71	6,088	4,699	0,178	0,155	5,26	1,0864
72	0,004	0,001	0,000	0,000	5,26	1,0864
75	0,010	0,002	0,000	0,000	5,26	1,0864
76	1,990	1,745	0,291	0,294	5,26	1,0864
82	0,050	0,154	0,143	0,247	5,26	1,0864
83	12,088	13,226	2,662	2,602	5,26	1,0864
87	2,140	1,956	0,536	0,557	5,26	1,0864
95	38,526	36,247	3,044	2,874	5,26	1,0864
96	22,688	21,996	3,223	3,331	5,26	1,0864
98	0,370	0,499	0,151	0,098	5,26	1,0864
99	11,900	12,684	3,478	3,247	5,26	1,0864
103	0,161	0,235	0,243	0,268	5,26	1,0864

Cont. da Tabela 18. Simulação com os parâmetros médios da microbacia 03 da BES 158
para a microbacia 04 da BES.

Eventos	Lo (mm)	Lc (mm)	Eo (t/ha)	Ec (t/ha)	Ke (mm/h)	Kr(s/m) x 10 ⁻³
104	1,440	1,654	0,860	0,860	5,26	1,0864
106	3,500	4,001	1,313	1,457	5,26	1,0864
107	9,788	8,667	2,303	1,978	5,26	1,0864
118	5,313	4,356	0,286	0,174	5,26	1,0864
120	0,200	0,069	0,005	0,002	5,26	1,0864
121	0,400	0,346	0,018	0,016	5,26	1,0864
122	5,575	6,245	0,338	0,221	5,26	1,0864
124	17,619	15,245	1,127	1,127	5,26	1,0864
132	5,638	5,354	0,559	0,587	5,26	1,0864
136	15,810	16,248	2,678	3,125	5,26	1,0864
137	3,450	2,368	0,302	0,412	5,26	1,0864
139	0,003	0,005	0,000	0,002	5,26	1,0864
144	0,116	0,135	0,007	0,007	5,26	1,0864
146	0,017	0,036	0,025	0,013	5,26	1,0864
150	0,069	0,042	0,019	0,011	5,26	1,0864
152	8,188	7,903	0,527	0,433	5,26	1,0864
153	19,161	17,254	6,228	5,897	5,26	1,0864
155	1,073	1,324	0,322	0,436	5,26	1,0864
158	0,234	0,489	0,038	0,092	5,26	1,0864
162	5,436	6,332	1,197	1,364	5,26	1,0864
165	1,843	1,722	1,018	1,235	5,26	1,0864
168	1,622	1,943	0,673	0,874	5,26	1,0864
169	5,994	6,996	0,399	0,469	5,26	1,0864
171	0,025	0,011	0,022	0,047	5,26	1,0864
172	6,140	5,455	4,100	4,100	5,26	1,0864
174	1,239	1,447	1,199	0,963	5,26	1,0864
177	8,775	9,668	5,659	6,124	5,26	1,0864
178	10,468	12,008	6,874	7,003	5,26	1,0864
179	5,017	6,331	2,793	3,126	5,26	1,0864
183	8,642	10,091	6,658	7,065	5,26	1,0864
184	1,609	1,88	1,159	1,364	5,26	1,0864
187	6,662	7,003	1,370	1,478	5,26	1,0864
188	13,660	15,332	5,555	5,123	5,26	1,0864
189	0,000	0	0,000	0,000	5,26	1,0864
190	0,099	0,166	0,004	0,015	5,26	1,0864
197	6,978	6,021	2,340	2,147	5,26	1,0864
198	18,532	20,336	5,875	5,569	5,26	1,0864
199	15,547	17,25	7,839	7,830	5,26	1,0864
208	16,463	17,006	5,927	5,931	5,26	1,0864
209	26,725	29,224	11,889	13,108	5,26	1,0864
211	2,943	2,547	0,746	0,993	5,26	1,0864
212	9,361	8,789	4,869	4,991	5,26	1,0864
224	3,105	3,654	0,775	1,008	5,26	1,0864
226	21,841	24,365	6,505	7,004	5,26	1,0864
229	14,917	16,247	34,658	35,887	5,26	1,0864
239	3,538	4,006	5,224	5,220	5,26	1,0864
242	3,146	2,366	0,345	0,644	5,26	1,0864
264	3,973	4,367	0,248	0,410	5,26	1,0864

Tabela 19. Simulação com os parâmetros médios da parcela 01 da BESJC do período de 1999-2002 para a parcela 01 da BESJC para o ano de 2003.

Data	Eventos	Chuva	Eo (mm)	Ec (mm)	Er.Obs.(t/ha)	Er.Cal.(t/ha)	Ke (mm/h)	Ki*10 ⁵ (Kgs/m ⁴)
19/01/03	95	63,6	8,19	8,60	0,955	0,890	3,86	5,86
24/01/03	96	3,2	0,14	0,12	0,010	0,012	3,86	5,86
31/01/03	97	8,7	1,71	1,65	0,245	0,324	3,86	5,86
04/02/03	98	5,1	0,90	1,11	0,036	0,067	3,86	5,86
12/02/03	99	12,0	3,15	3,06	0,248	0,187	3,86	5,86
31/03/03	100	9,0	2,25	2,30	0,076	0,113	3,86	5,86
21/04/03	101	29,0	7,65	7,46	0,119	0,136	3,86	5,86
22/04/03	102	6,0	1,50	1,40	0,058	0,111	3,86	5,86
01/05/03	103	3,8	0,04	0,03	0,001	0,001	3,86	5,86
02/05/03	104	9,8	5,55	6,02	0,089	0,084	3,86	5,86
05/06/03	105	6,9	1,75	2,22	0,069	0,080	3,86	5,86
14/06/03	106	4,4	0,15	0,15	0,034	0,056	3,86	5,86
16/08/03	107	82,6	18,62	19,02	0,672	0,587	3,86	5,86
23/08/03	108	16,6	6,45	6,21	0,141	0,152	3,86	5,86

Tabela 20. Simulação com os parâmetros médios da parcela 02 da BESJC do período de 1999-2002 para a parcela 02 da BESJC para o ano de 2003.

Data	Eventos	Chuva	Eo (mm)	Ec (mm)	Er.Obs.(t/ha)	Er.Cal.(t/ha)	Ke (mm/h)	Ki*10 ⁵ (Kgs/m ⁴)
19/01/03	95	63,6	7,86	8,02	0,955	0,860	3,44	6,14
24/01/03	96	3,2	0,02	0,03	0,010	0,015	3,44	6,14
31/01/03	97	8,7	1,35	1,40	0,245	0,294	3,44	6,14
04/02/03	98	5,1	0,60	0,80	0,036	0,037	3,44	6,14
12/02/03	99	12,0	1,95	2,00	0,248	0,157	3,44	6,14
31/03/03	100	9,0	2,10	2,30	0,076	0,083	3,44	6,14
21/04/03	101	29,0	6,87	6,52	0,119	0,106	3,44	6,14
22/04/03	102	6,0	1,35	1,33	0,058	0,081	3,44	6,14
01/05/03	103	3,8	0,03	0,02	0,001	0,001	3,44	6,14
02/05/03	104	9,8	5,53	6,02	0,089	0,054	3,44	6,14
05/06/03	105	6,9	1,60	2,10	0,069	0,050	3,44	6,14
14/06/03	106	4,4	0,09	0,15	0,034	0,026	3,44	6,14
16/08/03	107	82,6	16,05	15,15	0,672	0,557	3,44	6,14
23/08/03	108	16,6	6,43	6,21	0,141	0,122	3,44	6,14

Tabela 21. Simulação com os parâmetros médios da microbacia 01 da BESJC do período de 1999-2002 para a microbacia 01 da BESJC para o ano de 2003.

Data	Eventos	Chuva	Eo (mm)	Ec (mm)	Er.Obs.(t/ha)	Er.Cal.(t/ha)	Ke (mm/h)	Kr*10 ⁻³ (s/m)
19/01/03	95	63,6	3,86	3,91	-	-	3,88	-
24/01/03	96	3,2	0,04	0,04	0,001	0,001	3,88	1,0857
31/01/03	97	8,7	-	-	-	-	-	-
04/02/03	98	5,1	-	-	-	-	-	-
12/02/03	99	12,0	0,44	0,50	0,014	0,014	3,88	1,0857
31/03/03	100	9,0	0,10	0,21	0,001	0,001	3,88	1,0857
21/04/03	101	29,0	1,88	1,81	0,003	0,003	3,88	1,0857
22/04/03	102	6,0	0,46	0,44	0,007	0,007	3,88	1,0857
01/05/03	103	3,8	-	-	-	-	-	-
02/05/03	104	9,8	0,82	1,23	0,011	0,011	3,88	1,0857
05/06/03	105	6,9	1,75	2,10	0,003	0,004	3,88	1,0857
14/06/03	106	4,4	-	-	-	-	-	-
16/08/03	107	82,6	-	-	-	-	-	-
23/08/03	108	16,6	0,55	0,41	-	-	3,88	-

Tabela 22. Simulação com os parâmetros médios da microbacia 02 da BESJC do período de 1999-2002 para a microbacia 02 da BESJC para o ano de 2003.

Data	Eventos	Chuva	Eo (mm)	Ec (mm)	Er.Obs.(t/ha)	Er.Cal.(t/ha)	Ke (mm/h)	Kr*10 ⁻³ (s/m)
19/01/03	95	63,6	3,79	3,58	-	-	3,81	-
24/01/03	96	3,2	-	-	0,001	0,001	-	1,0850
31/01/03	97	8,7	-	-	-	-	-	-
04/02/03	98	5,1	-	-	-	-	-	-
12/02/03	99	12,0	-	-	0,014	0,015	-	1,0850
31/03/03	100	9,0	-	-	0,001	0,001	-	1,0850
21/04/03	101	29,0	1,72	1,39	0,003	0,003	3,81	1,0850
22/04/03	102	6,0	1,07	1,06	0,007	0,007	3,81	1,0850
01/05/03	103	3,8	-	-	-	-	-	-
02/05/03	104	9,8	0,15	0,28	0,011	0,011	3,81	1,0850
05/06/03	105	6,9	-	-	-	-	-	-
14/06/03	106	4,4	-	-	-	-	-	-
16/08/03	107	82,6	-	-	-	-	-	-
23/08/03	108	16,6	0,08	0,05	-	-	3,81	-

Tabela 23. Simulação com os parâmetros médios da microbacia 03 da BESJC do período de 1999-2002 para a microbacia 03 da BESJC para o ano de 2003.

Data	Eventos	Chuva	Eo (mm)	Ec (mm)	Er.Obs.(t/ha)	Er.Cal.(t/ha)	Ke (mm/h)	Kr*10 ⁻³ (s/m)
19/01/03	95	63,6	2,17	2,01	-	-	7,39	-
24/01/03	96	3,2	-	-	-	-	-	-
31/01/03	97	8,7	-	-	-	-	-	-
04/02/03	98	5,1	-	-	-	-	-	-
12/02/03	99	12,0	-	-	-	-	-	-
31/03/03	100	9,0	-	-	-	-	-	-
21/04/03	101	29,0	1,19	0,97	0,006	0,007	7,39	1,1092
22/04/03	102	6,0	0,17	0,09	0,001	0,002	7,39	1,1092
01/05/03	103	3,8	-	-	-	-	-	-
02/05/03	104	9,8	0,13	0,20	0,001	0,002	7,39	1,1092
05/06/03	105	6,9	1,75	2,05	0,003	0,003	7,39	1,1092
14/06/03	106	4,4	-	-	-	-	-	-
16/08/03	107	82,6	-	-	-	-	-	-
23/08/03	108	16,6	0,05	0,03	-	-	7,39	-

Tabela 24. Calibração dos parâmetros K_e e K_i para a parcela 01 da BESJC para o ano de 2003.

Data	Eventos	Chuva	Eo (mm)	Ec (mm)	Er.Obs.(t/ha)	Er.Cal.(t/ha)	Ke (mm/h)	Ki*10 ⁵ (Kgs/m ⁴)
19/01/03	95	63,6	8,19	8,20	0,955	0,955	4,56	8,36
24/01/03	96	3,2	0,14	0,15	0,010	0,010	3,16	5,37
31/01/03	97	8,7	1,71	1,70	0,245	0,245	3,60	3,67
04/02/03	98	5,1	0,90	0,90	0,036	0,036	4,67	3,91
12/02/03	99	12,0	3,15	3,15	0,248	0,248	3,12	8,32
31/03/03	100	9,0	2,25	2,25	0,076	0,076	4,02	3,37
21/04/03	101	29,0	7,65	7,65	0,119	0,119	2,36	4,31
22/04/03	102	6,0	1,50	1,50	0,058	0,058	3,11	4,78
01/05/03	103	3,8	0,04	0,05	0,001	0,001	3,16	8,34
02/05/03	104	9,8	5,55	5,55	0,089	0,089	5,87	4,29
05/06/03	105	6,9	6,75	2,30	0,069	0,069	3,36	4,37
14/06/03	106	4,4	0,15	0,15	0,034	0,034	3,84	3,57
16/08/03	107	82,6	18,62	18,60	0,672	0,672	4,62	7,24
23/08/03	108	16,6	6,45	6,45	0,141	0,141	2,51	4,39
Média							3,71	5,31

Tabela 25. Calibração dos parâmetros K_e e K_i para a parcela 02 da BESJC para o ano de 2003.

Data	Eventos	Chuva	Eo (mm)	Ec (mm)	Er.Obs.(t/ha)	Er.Cal.(t/ha)	K_e (mm/h)	$K_i \cdot 10^5$ (Kgs/m ⁴)	
19/01/03	95	63,6	7,86	7,85	0,955	0,955	4,63	8,24	
24/01/03	96	3,2	0,02	0,02	0,010	0,010	3,26	5,02	
31/01/03	97	8,7	1,35	1,35	0,245	0,245	3,71	3,12	
04/02/03	98	5,1	0,60	0,60	0,036	0,036	4,84	3,74	
12/02/03	99	12,0	1,95	1,95	0,248	0,248	3,83	8,13	
31/03/03	100	9,0	2,10	2,10	0,076	0,076	4,23	3,25	
21/04/03	101	29,0	6,87	6,85	0,119	0,119	2,96	4,19	
22/04/03	102	6,0	1,35	1,35	0,058	0,058	3,41	4,66	
01/05/03	103	3,8	0,03	0,03	0,001	0,001	3,16	8,34	
02/05/03	104	9,8	5,53	5,55	0,089	0,089	5,87	4,29	
05/06/03	105	6,9	6,60	2,20	0,069	0,069	3,42	4,22	
14/06/03	106	4,4	0,09	0,10	0,034	0,034	4,01	3,51	
16/08/03	107	82,6	16,05	16,10	0,672	0,672	4,77	7,11	
23/08/03	108	16,6	6,43	6,45	0,141	0,141	2,51	4,39	
							Média	3,90	5,16

Tabela 26. Calibração do parâmetro K_r para a microbacia 01 da BESJC para o ano de 2003.

Data	Eventos	Chuva	Eo (mm)	Ec (mm)	Er.Obs.(t/ha)	Er.Cal.(t/ha)	K_e (mm/h)	$K_r \cdot 10^{-3}$ (s/m)	
19/01/03	95	63,6	3,86	3,85	-	-	3,92	-	
24/01/03	96	3,2	0,04	0,05	0,001	0,001	3,69	1,0855	
31/01/03	97	8,7	-	-	-	-	-	-	
04/02/03	98	5,1	-	-	-	-	-	-	
12/02/03	99	12,0	0,44	0,45	0,014	0,015	3,94	1,0852	
31/03/03	100	9,0	0,10	0,10	0,001	0,001	4,34	1,0847	
21/04/03	101	29,0	1,88	1,90	0,003	0,003	3,46	1,0843	
22/04/03	102	6,0	0,46	0,45	0,007	0,007	3,84	1,0849	
01/05/03	103	3,8	-	-	-	-	-	-	
02/05/03	104	9,8	0,82	0,82	0,011	0,011	5,98	1,0846	
05/06/03	105	6,9	1,75	2,08	0,004	0,005	3,97	1,0849	
14/06/03	106	4,4	-	-	-	-	-	-	
16/08/03	107	82,6	-	-	-	-	-	-	
23/08/03	108	16,6	0,55	0,55	-	-	2,60	-	
							Média	3,97	1,0849

Tabela 27. Calibração do parâmetro K_r , para a microbacia 02 da BESJC para o ano de 2003.

Eventos	Chuva	Eo (mm)	Ec (mm)	Er.Obs.(t/ha)	Er.Cal.(t/ha)	Ke (mm/h)	Kr*10 ⁻³ (s/m)
95	63,6	3,79	3,80	-	-	3,34	-
96	3,2	-	-	0,001	0,001	-	1,0867
97	8,7	-	-	-	-	-	-
98	5,1	-	-	-	-	-	-
99	12,0	-	-	0,014	0,015	-	1,0864
100	9,0	-	-	0,001	0,001	-	1,0859
101	29,0	1,72	1,72	0,003	0,003	3,22	1,0855
102	6,0	1,07	1,06	0,007	0,007	3,41	1,0861
103	3,8	-	-	-	-	-	-
104	9,8	0,15	0,15	0,011	0,010	5,87	1,0858
105	6,9	1,75	2,10	0,004	0,004	3,68	1,0861
106	4,4	-	-	-	-	-	-
107	82,6	-	-	-	-	-	-
108	16,6	0,08	0,10	-	-	2,58	-
Média						3,68	1,0861

Tabela 28. Calibração do parâmetro K_r , para a microbacia 03 da BESJC para o ano de 2003.

Data	Eventos	Chuva	Eo (mm)	Ec (mm)	Er.Obs.(t/ha)	Er.Cal.(t/ha)	Ke (mm/h)	Kr*10 ⁻³ (s/m)
19/01/03	95	63,6	2,17	2,17	-	-	6,21	-
24/01/03	96	3,2	-	-	-	-	-	-
31/01/03	97	8,7	-	-	-	-	-	-
04/02/03	98	5,1	-	-	-	-	-	-
12/02/03	99	12,0	-	-	-	-	-	-
31/03/03	100	9,0	-	-	-	-	-	-
21/04/03	101	29,0	1,19	1,20	0,006	0,006	5,39	1,0865
22/04/03	102	6,0	0,17	0,17	0,001	0,002	6,31	1,0863
01/05/03	103	3,8	-	-	-	-	-	-
02/05/03	104	9,8	0,13	0,14	0,001	0,002	8,21	1,0870
05/06/03	105	6,9	1,75	2,10	0,003	0,003	6,26	1,0866
14/06/03	106	4,4	-	-	-	-	-	-
16/08/03	107	82,6	-	-	-	-	-	-
23/08/03	108	16,6	0,05	0,05	-	-	5,20	-
Média							6,26	1,0866

ANEXO 2 - Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos das sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé

Tabela 2. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da sub-bacia de Umburana.

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
1	2,81E+05	588	478	0,001					
2	3,84E+05	1162	331	0,001					
3	1,99E+05	785	253	0,001					
4	-	1054	-	0,001	0	0,5	1	2	3
5	1,29E+05	375	344	0,001					
6	2,61E+05	878	298	0,001					
7	9,50E+04	264	360	0,001					
8	1,12E+05	197	568	0,001			7		
9	-	644	-	0,001	0	0,5	5	6	8
10	5,78E+04	337	172	0,001					
11	1,90E+05	557	340	0,001			10		
12	2,31E+05	591	391	0,001					
13	-	730	-	0,001	0,5	0,5	4,9	12	11
14	7,65E+04	323	237	0,001					
15	1,41E+05	838	168	0,001					
16	1,82E+05	483	376	0,001					
17	-	809	-	0,001	0	0,5	14	15	16
18	7,76E+04	317	245	0,001					
19	8,57E+04	332	258	0,001					
20	-	543	-	0,001	1	0,5	13,17	18	19
21	6,25E+05	1002	624	0,001					
22	6,67E+05	1200	556	0,001					
23	-	2252	-	0,001	0,5	0,5		21	22
24	2,40E+05	771	311	0,001					
25	1,90E+05	882	215	0,001					

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
26	-	319	-	0,001	2	0,4	20,23	24	25
27	8,94E+04	238	376	0,001					
28	5,04E+04	201	251	0,001			27		
29	-	812	-	0,001	0	0,5			28
30	1,02E+05	355	287	0,001					
31	2,19E+05	502	436	0,001					
32	-	651	-	0,001	0	0,5	30	31	
33	3,56E+05	547	651	0,002					
34	1,18E+05	214	551	0,002					
35	2,00E+05	318	629	0,002			34		
36	-	674	-	0,001	2,5	0,4	26,29	33	35
37	9,88E+04	296	334	0,001					
38	-	844	-	0,001	0	0,5	37		
39	1,62E+05	518	314	0,002					
40	1,28E+05	417	308	0,002			39		
41	2,01E+05	554	364	0,004					
42	-	482	-	0,004	3	0,4	32,36	41	40
43	3,91E+05	794	492	0,003					
44	3,53E+05	870	406	0,002					
45	-	698	-	0,007	4	0,4	38,42	43	44
46	1,11E+05	384	289	0,052					
47	1,34E+05	522	256	0,057					
48	-	370	-	0,016	0	0,5	46		47
49	1,35E+05	493	274	0,065					
50	-	715	-	0,042	0	0,5		49	
51	9,76E+04	456	214	0,044					
52	2,07E+05	465	445	0,002			51		
53	3,52E+05	922	381	0,011					
54	-	947	-	0,005	1	0,5	50,48	53	52
55	-	331	-	0,015	4	0,3	45,54		
56	2,08E+05	305	683	0,016					
57	7,66E+05	1063	721	0,019			56		

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
58	1,34E+05	349	384	0,014					
59	3,57E+05	681	524	0,022			58		
60	-	1489	-	0,017	6	0,3	55		59
61	1,15E+05	481	238	0,015					
62	-	1022	-	0,008	0	0,5	61		57
63	1,44E+05	596	241	0,017					
64	5,38E+05	968	556	0,013					
65	3,30E+05	352	936	0,014					
66	-	959	-	0,002	0	0,5	63	65	64
67	1,63E+05	654	249	0,023					
68	-	331	-	0,015	7	0,2	60,62		67
69	5,67E+04	259	219	0,019					
70	-	542	-	0,018	0	0,5			69
71	6,47E+04	409	158	0,010					
72	-	151	-	0,013	8	0,2	66,68	71	
73	5,22E+04	334	156	0,006					
74	5,43E+04	337	161	0,024					
75	-	252	-	0,004	9	0,09	70,72	73	74

Tabela 3. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da sub-bacia de Jatobá.

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
1	6,81E+05	1258	541	0,053					
2	3,49E+05	878	397	0,054					
3	-	843	-	0,068	0	0,25		2	1
4	4,95E+05	700	707	0,014			4		
5	5,16E+05	880	586	0,043					
6	2,27E+05	298	761	0,034			6		
7	4,34E+05	671	646	0,052			3		
8	-	1039	-	0,041	0,5	0,5	5		
9	2,06E+05	634	325	0,014			7		
10	1,76E+05	689	255	0,016			8	10	9
11	-	929	-	0,001	0,5	0,5			
12	1,16E+05	536	217	0,019					
13	3,26E+05	567	575	0,018			13		
14	2,71E+05	452	600	0,073			14		
15	2,07E+05	632	328	0,019			12		
16	-	427	-	0,094	0	0,25			
17	1,60E+05	244	654	0,082			17		
18	2,27E+05	255	889	0,118			18		
19	1,92E+05	348	552	0,029			16	19	15
20	-	887	-	0,001	0,5	0,5			
21	5,19E+05	661	785	0,003					
22	4,35E+05	790	551	0,003			22		
23	5,18E+05	703	737	0,050					
24	5,18E+05	601	862	0,002			24		
25	4,86E+05	727	669	0,047			21		
26	-	921	-	0,046	0	0,25	23		
27	3,18E+05	957	332	0,007					
28	1,18E+06	1168	1014	0,007					
29	-	252	-	0,002	1	0,6	20,11		27
30	8,73E+05	1107	789	0,010			25		

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
31	-	961	-	0,002	0,5	0,5	26		
32	-	1880	-	0,002	1	0,6	29,31	28	30
33	9,97E+05	568	1755	0,001					
34	1,00E+06	609	1645	0,001					
35	-	1479	-	0,001	0	0,25		33	34
36	5,45E+05	919	593	0,054					
37	1,02E+06	1500	678	0,033					
38	-	828	-	0,053	0,5	0,5	35		
39	1,16E+06	1101	1057	0,007			36		
40	9,66E+05	1095	883	0,002			37		
41	-	2072	-	0,001	1	0,6	38	39	40
42	2,30E+05	641	359	0,066					
43	1,41E+06	1440	980	0,035					
44	3,53E+05	785	450	0,051					
45	-	951	-	0,003	0	0,25	42	43	44
46	5,12E+05	1160	442	0,003					
47	1,75E+05	538	326	0,004					
48	-	1066	-	0,003	0	0,25	45	46	47
49	2,31E+05	489	472	0,002					
50	3,15E+05	877	359	0,009					
51	4,75E+05	388	1224	0,026					
52	3,40E+05	394	862	0,003			51		
53	-	1082	-	0,003	0	0,25	49	50	52
54	6,47E+05	638	1015	0,005					
55	3,77E+05	467	807	0,002					
56	6,20E+05	643	964	0,002			55		
57	-	1463	-	0,004	0,5	0,5	48,53	56	54
58	4,15E+05	1092	380	0,037					
59	6,49E+05	951	682	0,042					
60	-	893	-	0,045	5	0,6		58	59
61	1,30E+05	354	367	0,028					
62	9,16E+04	285	321	0,140					

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
63	-	261	-	0,153	0	0,25	61		
64	1,02E+06	1862	549	0,032					
65	5,59E+05	1702	328	0,006			62		
66	-	1908	-	0,005	0,5	0,5	63	64	65
67	5,35E+05	714	749	0,001					
68	-	1250	-	0,004	1,5	0,8	32,41		67
69	1,96E+05	517	380	0,004					
70	-	383	-	0,005	1,5	0,8	66,68	69	
71	1,86E+05	394	471	0,025					
72	1,29E+05	350	368	0,057			71		
73	-	834	-	0,026	2	0,5	70	72	
74	-	647	-	0,046	2	0,5	73		
75	1,29E+06	1733	742	0,020					
76	8,28E+05	960	862	0,007					
77	-	1278	-	0,001	15	0,3	60,74	75	76

Tabela 4. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da Bacia Representativa de Sumé.

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
78	5,32E+05	1129	471	0,015					
79	-	1155	-	0,016	0	0,5		78	
80	-	489	-	0,041	0	0,5	79		
81	5,48E+05	1468	373	0,027					
82	6,40E+05	749	854	0,009			81		
83	9,43E+05	1898	497	0,021					
84	6,57E+05	749	877	0,016			83		
85	-	1820	-	0,007	1	0,5	80	82	84
86	4,87E+05	1270	384	0,026					
87	-	1131	-	0,029	0	0,5			86
88	5,93E+05	1517	391	0,022					
89	4,19E+05	356	1176	0,008			88		
90	2,79E+05	677	411	0,019					
91	-	837	-	0,004	1	0,5	87	89	90
92	4,50E+05	835	539	0,036					
93	3,65E+05	628	580	0,010			92		
94	4,56E+05	858	531	0,009					
95	-	1193	-	0,007	0	0,5		93	94
96	9,71E+05	1378	704	0,001					
97	-	813	-	0,001	2	0,5	91,95		96
98	7,99E+05	739	1082	0,003					
99	1,33E+06	860	1543	0,002					
100	-	1972	-	0,002	3	0,4	85,97	98	99
101	1,26E+06	447	2818	0,007					
102	1,37E+06	754	1819	0,001					
103	-	2815	-	0,001	1	0,5		101	102
104	4,01E+05	286	1402	0,003					
105	1,79E+06	1013	1764	0,001					
106	-	1784	-	0,001	9	0,3	77	105	104
107	3,06E+05	586	522	0,002					

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
108	-	1443	-	0,000	9	0,3	100,103,106	107	
109	8,18E+05	550	1487	0,002					
110	1,07E+06	554	1927	0,002					
111	-	4494	-	0,001	0	0,5		109	110
112	1,46E+06	1293	1127	0,002					
113	1,37E+06	1091	1252	0,002					
114	-	1782	-	0,002	9	0,3	108,111	112	113
115	2,14E+06	821	2604	0,002					
116	1,04E+06	960	1084	0,002					
117	-	4016	-	0,002	1	0,5		115	116
118	1,99E+06	1648	1210	0,003					
119	8,97E+05	908	988	0,001					
120	-	1621	-	0,002	9	0,3	114,117	118	119
121	3,68E+05	350	1051	0,003					
122	4,91E+05	612	802	0,002					
123	-	1109	-	0,002	0	0,5		122	121
124	1,70E+06	1638	1040	0,005					
125	7,66E+05	1341	571	0,008					
126	-	1074	-	0,009	9	0,3	120,123	125	124
127	6,66E+05	1100	606	0,010					
128	8,01E+05	1055	759	0,017					
129	-	883	-	0,019	9	0,3	126	127	128
130	5,97E+05	757	789	0,020					
131	5,55E+05	795	698	0,013					
132	-	930	-	0,011	9	0,3	129	130	131
133	3,58E+05	374	957	0,001					
134	2,91E+05	243	1196	0,002			133		
135	2,73E+05	328	832	0,002					
136	-	1382	-	0,004	9	0,3	132	135	134
137	1,89E+06	2035	926	0,015					
138	3,20E+06	1840	1741	0,019					
139	-	3763	-	0,009	0	0,5		138	137

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
140	7,90E+04	225	351	0,002					
141	-	595	-	0,001	9	0,3	136,139		140
142	8,89E+05	987	900	0,005					
143	7,01E+05	733	956	0,003					
144	-	1957	-	0,002	0	0,5		143	142
145	2,72E+05	797	341	0,003					
146	4,29E+05	789	544	0,001					
147	-	911	-	0,001	0	0,5		146	145
148	7,84E+05	848	924	0,001					
149	-	1839	-	0,001	0	0,5		148	
150	4,92E+05	908	542	0,001					
151	-	605	-	0,001	1	0,5	144,147	150	
152	1,63E+06	1816	900	0,001					
153	5,77E+05	389	1482	0,001					
154	-	1530	-	0,001	1	0,5	149,151	153	152
155	5,60E+05	323	1732	0,002					
156	1,08E+06	773	1401	0,001					
157	-	2201	-	0,001	0	0,5		155	156
158	6,58E+05	874	753	0,001					
159	1,11E+06	1058	1047	0,001					
160	-	1683	-	0,001	0	0,5		158	159
161	2,26E+06	1545	1460	0,001					
162	9,13E+05	954	957	0,001					
163	-	1890	-	0,003	3	0,4	154,157,160	161	162
164	1,03E+06	867	1187	0,058					
165	-	867	-	0,001	3	0,4	163	164	
166	1,08E+06	713	1514	0,001					
167	8,86E+05	706	1255	0,001					
168	-	2697	-	0,002	0	0,5		167	166
169	5,98E+05	879	680	0,002					
170	7,55E+05	1283	588	0,002					
171	-	630	-	0,003	5	0,4	165,168	169	170

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
172	1,61E+06	1803	890	0,017					
173	2,23E+06	2549	874	0,012					
174	-	3522	-	0,011	5	0,4	171	172	173
175	4,60E+05	687	669	0,004					
176	6,36E+05	932	683	0,003					
177	-	1572	-	0,003	0	0,5		176	175
178	5,91E+05	832	710	0,060					
179	-	1191	-	0,025	2	0,5	177		178
180	5,00E+05	378	1322	0,005					
181	5,95E+05	505	1177	0,004					
182	-	2070	-	0,001	0	0,5		181	180
183	5,67E+05	674	841	0,001					
184	7,97E+05	427	1866	0,005					
185	-	1824	-	0,003	0	0,5		183	184
186	3,33E+05	929	359	0,043					
187	2,26E+05	624	362	0,008					
188	-	400	-	0,003	3	0,4	182,185	187	186
189	1,88E+05	682	275	0,003					
190	4,98E+05	982	507	0,031					
191	-	556	-	0,018	4	0,4	179,188	189	190
192	6,50E+05	1062	612	0,024					
193	9,03E+05	1205	749	0,017					
194	-	1107	-	0,032	5	0,4	191	192	193
195	4,45E+05	858	519	0,009					
196	6,15E+05	920	668	0,020					
197	-	800	-	0,015	6	0,4	194	195	196
198	3,33E+05	764	436	0,005					
199	1,87E+05	447	419	0,007					
200	-	1039	-	0,010	7	0,4	197	198	199
201	1,98E+05	304	652	0,001					
202	2,61E+05	180	1448	0,001			201		
203	4,31E+05	215	2004	0,001					

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
204	-	1938	-	0,001	7	0,4	174,200	202	203
205	8,65E+05	449	1927	0,001					
206	4,88E+05	292	1671	0,001					
207	-	2031	-	0,003	0	0,5		205	206
208	3,74E+05	1426	262	0,022					
209	7,86E+05	878	895	0,009			208		
210	5,15E+05	326	1580	0,001					
211	-	1199	-	0,001	9	0,3	141,204,207	209	210
212	7,37E+05	969	760	0,024					
213	7,69E+05	945	814	0,024					
214	-	1586	-	0,025	0	0,5		213	212
215	1,64E+05	300	546	0,001					
216	1,69E+05	451	376	0,001					
217	-	622	-	0,005	1	0,5	214	216	215
218	4,35E+05	1320	330	0,019					
219	1,76E+05	365	482	0,011			218		
220	1,95E+05	286	682	0,001			219		
221	-	806	-	0,001	9	0,3	211,217	220	
297	2,53E+06	1662	1522	0,006					
298	1,55E+06	1081	1433	0,009					
299	-	2757	-	0,004	0	0,5		297	298
300	6,15E+05	1068	576	0,012					
301	6,77E+05	980	691	0,017			300		
302	2,86E+05	845	338	0,020					
303	-	1522	-	0,013	0,5	0,5	299	301	302
304	2,39E+06	1443	1659	0,035					
305	1,87E+06	878	2134	0,034					
306	-	2887	-	0,003	0	0,5		304	305
307	3,12E+05	1147	272	0,016					
308	2,37E+05	480	493	0,042					
309	-	653	-	0,031	0,5	0,5	306	307	308
310	3,17E+05	901	352	0,014					

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
311	-	669	-	0,045	1	0,5	303,309	310	
312	4,88E+05	309	1581	0,003					
313	5,09E+05	398	1279	0,003			312		
314	3,93E+05	658	597	0,030					
315	-	2002	-	0,001	8	0,3	296,311	313	314
316	1,40E+06	1471	950	0,001					
317	3,80E+05	797	477	0,031					
318	3,14E+05	572	548	0,070					
319	-	947	-	0,042	0	0,5	316	317	318
320	1,41E+05	473	297	0,002					
321	-	796	-	0,013	0,5	0,5	319	320	
322	3,09E+05	444	696	0,002					
323	8,22E+05	939	875	0,043			322		
324	4,12E+05	361	1141	0,028			323		
325	2,17E+05	247	879	0,020			324		
326	4,32E+05	579	746	0,003					
327	-	1022	-	0,001	9	0,3	315,321	326	325
328	1,69E+05	367	460	0,001					
329	4,50E+04	147	306	0,001					
330	-	582	-	0,001	10	0,3	327	328	329
331	2,45E+05	744	329	0,001					
332	2,82E+05	704	400	0,057			331		
333	1,40E+05	317	442	0,032			332		
334	1,08E+05	207	522	0,005			333		
335	7,52E+04	163	461	0,003			334		
336	3,70E+05	1044	355	0,001					
337	-	429	-	0,001	10	0,3	221,330	336	335
338	1,74E+05	447	389	0,001					
339	3,09E+05	900	343	0,003					
340	-	559	-	0,002	10	0,3	337	339	338
341	7,42E+05	486	1527	0,010					
342	-	2716	-	0,002	0,5	0,5		341	

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
343	5,27E+05	839	628	0,006					
344	3,53E+05	235	1503	0,170			343		
345	7,89E+05	1001	789	0,010			344		
346	6,73E+05	742	907	0,007					
347	-	1159	-	0,003	12	0,3	340,342	346	345
348	4,73E+05	801	591	0,012					
349	8,31E+05	820	1014	0,006			348		
350	5,91E+05	270	2191	0,019					
351	-	2180	-	0,005	0	0,5		349	350
352	2,70E+05	657	412	0,023					
353	4,71E+05	811	581	0,025					
354	-	658	-	0,030	0,5	0,5	351	352	353
355	5,34E+05	1038	515	0,029					
356	3,97E+05	545	728	0,018			355		
357	4,18E+05	528	792	0,009					
358	-	1264	-	0,012	0,5	0,5	354	357	356
359	8,19E+05	1488	551	0,027					
360	4,77E+05	737	647	0,003					
361	-	977	-	0,001	13	0,3	347,358	359	360

ANEXO 3 - Relação do tipo de solo para cada elemento das sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé.

1) SUB-BACIA DE UMBURANA

a) Solos litólicos eutróficos: 7, 10, 16, 57, 64, 65.

b) Solos bruno não-cálcicos vérticos: 14, 27, 34, 37, 39, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 58, 59, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75.

c) Solos aluviais: : 13, 20, 26, 36, 42, 45.

d) Associação de solos bruno não-cálcicos e de solos litólicos eutróficos: os demais elementos.

2) SUB-BACIA DE JATOBÁ

a) Associação de solos bruno não-cálcicos e de solos litólicos eutróficos: 51, 54, 56, 57, 59, 58, 60, 74, 75, 76, 77

b) Solos Podzólicos: os demais elementos.

3) BACIA REPRESENTATIVA DE SUMÉ

a) Solos litólicos eutróficos: 128, 172, 192, 196, 199, 198, 206, 209, 215, 216, 217, 219, 228, 231, 236, 237, 238, 278, 283, 285, 286, 300, 312, 325, 326, 327, 334.

b) Solos bruno não-cálcicos vérticos: 235, 248, 255, 258, 259, 260, 265, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 279, 280, 281, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 331, 332, 333, 343, 344, 348.

c) Solos aluviais: 106, 108, 114, 120, 126, 151, 154, 157, 174, 194, 197, 200, 204, 234, 241, 247, 257, 263, 266, 303, 309.

d) Associação de solos bruno não-cálcicos e de solos litólicos eutróficos: os demais elementos.