



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

EFEITOS DE ESCALA NA MODELAGEM
HIDROSEDIMENTOLÓGICA NA REGIÃO
SEMI-ÁRIDA DA PARAÍBA

WALSZON TERLIZZIE ARAÚJO LOPES

CAMPINA GRANDE

JANEIRO - 2003

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

EFEITOS DE ESCALA NA MODELAGEM
HIDROSEDIMENTOLÓGICA NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DA
PARAÍBA

CAMPINA GRANDE – PB

2003

WALSZON TERLLIZZIE ARAÚJO LOPES

**EFEITOS DE ESCALA NA MODELAGEM
HIDROSSEDIMENTOLÓGICA NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DA
PARAÍBA**

**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

**Orientadores: VAJAPAYAM SRIRANGACHAR SRINIVASAN
EDUARDO ENEAS DE FIGUEIREDO**

CAMPINA GRANDE – PB

JANEIRO – 2003





L864e Lopes, Walszon Terlizzie Araújo

Efeitos de Escala na Modelagem Hidrossedimentológica na Região Semi-árida da Paraíba / Walszon Terlizzie Araújo Lopes – Campina Grande: UFCG, 2003.

174p.

Dissertação (Mestrado) – UFCG / CCT.

Inclui bibliografia.

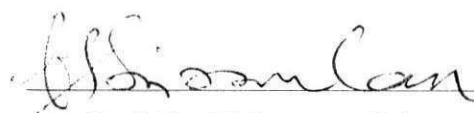
1. Efeito de Escala; 2. Modelagem Hidrossedimentológica; 3. Bacia Representativa de Sumé.

CDU: 556.028

**EFEITOS DE ESCALA NA MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA NA
REGIÃO SEMI-ÁRIDA DA PARAÍBA**

Aprovado em 20 de janeiro de 2003.

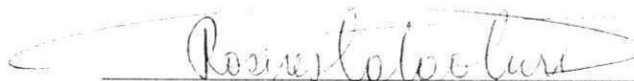
COMISSÃO EXAMINADORA



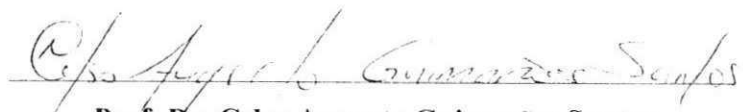
**Prof. Dr. Vajapeyam Srirangachar Srinivasan
Presidente - Orientador**



**Prof. Dr. Eduardo Eneas de Figueiredo
Coorientador**



**Prof.ª Dr.ª Rosires Catão Curi
Examinador interno**



**Prof. Dr. Celso Augusto Guimarães Santos
Examinador externo (UFPB)**

Campina Grande, 20 de janeiro de 2003

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Eliete de Araújo Souza Lopes (*in memoriam*), 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, Eliete de A. Souza Lopes e Albertino F. Lopes, por entre várias coisas, terem me estimulado ao estudo desde os meus primeiros anos de vida.

Aos meus irmãos, Watson, Walston, Waslon e Walson, pelo companheirismo e compartilhamento de tristezas e alegrias.

À minha namorada, Roseany de Vasconcelos Vieira, pelo amor, carinho, dedicação e apoio incondicionais, durante os dois anos de curso.

Aos meus grandes amigos, José Caetano Filho e Maria Bernadete de Souza Lima, pela paciência, apoio, incentivo e companhia, durante esses mais de sete anos.

Ao professor orientador Vajapeyam S. Srinivasan, por usufruí sua vasta experiência e sabedoria, numa orientação segura e precisa, em todos os momentos. Ao professor coorientador Eduardo E. de Figueiredo, pela sua coorientação e disponibilidade.

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 alunos de iniciação científica, José B. da Silva, Fabiano M. da Costa, Fabiano de S. Alves e Euriclides G. Torres, pela ajuda durante a pesquisa.

Aos colegas de curso, Aldo S. O. Albuquerque, Carlos A. B. Silva, Djalena M. de Melo, Elton S. Cruz, Hérbete H. R. C. Davi, Leonardo A. Neves, Lucílio J. Vieira, Osvalcélcio M. Furtunato, Roberta N. T. de Melo, Sérgio R. A. Farias e Zédna M. C. L. Vieira, pelo companheirismo e união durante o curso.

Aos avaliadores, Vajapeyam S. Srinivasan, Eduardo E. de Figueiredo, Rosires C. Curi 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

Bacias representativas são aquelas que possuem características semelhantes de uma certa região hidrológica. Pesquisas com modelos de simulação desenvolvidas em bacias representativas são muito importantes devido ao fato que os seus resultados podem, 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 valores dos parâmetros de modelos hidrológicos. Sendo assim, talvez o conceito de bacia representativa deva ser reavaliado. Nesta pesquisa, dois modelos hidrossedimentológicos, distribuídos e orientados a evento, chamados Kineros2 (*Kinematic Runoff and Erosion Model*) e WESP (*Watershed Erosion Simulation Program*), foram utilizados para investigar o efeito de escala sobre seus parâmetros, quando aplicado a bacias com escalas variando entre 100 m² (parcelas) e 140 km². O modelo Kineros2 foi aplicado a nove parcelas de 100 m² e a quatro microbacias (0,5 – 1,0 ha) da Bacia Experimental de Sumé (BES), assim como, a três sub-bacias (10 – 140 km²) da Bacia Representativa de Sumé (BRS), localizadas na região semi-árida do Estado da Paraíba. O modelo WESP foi aplicado somente às sub-bacias, visto que já havia estudos anteriores com este modelo na BES. Os resultados mostram que os parâmetros principais do modelo Kineros2, parâmetro potencial efetivo de capilaridade (G) da equação de infiltração de Smith e Parlange e o parâmetro relativo à erosão por impacto das gotas de chuva, parâmetro c_f , sofrem efeito de escala. Também foi constatado que o parâmetro N_s da equação de infiltração de Green e Ampt, utilizada no modelo WESP, também varia com o tamanho da bacia hidrográfica.

ABSTRACT

Representative basins are those that possess similar characteristics with a certain hydrologic region. Researches with hydrologic models in representative basins are very important because their results can, a priori, be expanded to regions of which these basins are representative. However, it is known that the scale of the watershed can affect the values of the parameters of a model used for simulating the hydrologic processes. Thus, the concept of representative basin needs to be reevaluated. In this study, two runoff-erosion models, distributed and event oriented, known as Kinos2 (Kinematic Runoff and Erosion Model) and WESP (Watershed Erosion Simulation Program), have been used to investigate the scale effect on their parameters, when they are applied to basins with scales varying between 100 m² (plots) and 140 km². The Kinos2 model was applied to nine 100 m² plots and four microbasins (0,5 – 1.0 ha) of the Experimental Basin of Sumé (EBS) and to three sub-basins (10 – 140 km²) of the Representative Basin of Sumé (RBS), located in the semiarid region of the State of Paraíba. The model WESP was only applied to the sub-basins, since it had already been applied to the units of the EBS. The results show that the main parameters of the Kinos2 model, effective net capillary drive (G) of the Smith and Parlange infiltration equation and the parameter relative to the splash erosion, c_{fs} , suffer scale effect. It was also found out that the parameter N_s of the Green and Ampt infiltration equation, used in WESP model, also varies with the watershed scale.

LISTAS DE TABELAS DOS CAPÍTULOS

Tabela 3.1. Características da Bacia Representativa de Sumé. _____	17
Tabela 3.2. Propriedades dos Solos Dominantes na Bacia Representativa de Sumé (Figueiredo, 1998a). _____	22
Tabela 3.3. Lâminas precipitadas e escoadas nas bacias da BRS. _____	22
Tabela 3.4. Características das microbacias estudadas (Cadier et al., 1983). _____	24
Tabela 3.5. Características das parcelas de 100 m ² . _____	28
Tabela 5.1. Valores dos diâmetros representativos utilizados nas parcelas. _____	50
Tabela 5.2. Valores do coeficiente de Manning para as parcelas _____	51
Tabela 5.3. Valores da condutividade hidráulica saturada efetiva para as parcelas. _____	52
Tabela 5.4. Valores das declividades para as parcelas. _____	52
Tabela 5.5. Parâmetros utilizados para as microbacias. _____	61
Tabela 5.6. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 1. _____	71
Tabela 5.7. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 2. _____	72
Tabela 5.8. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 3. _____	73
Tabela 5.9. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 4. _____	74
Tabela 5.10. Resultado da calibração da lâmina escoada na BRS. _____	77
Tabela 5.11. Produção de sedimentos média anual para as parcelas e microbacias da Bacia Experimental de Sumé. _____	88
Tabela 5.12. Valores do parâmetro c_f e produção de sedimentos para a sub-bacia de Umburana com os possíveis valores irrealis marcados. _____	88
Tabela 5.13. Valores do parâmetro c_f e produção de sedimentos para a sub-bacia de Jatobá com os possíveis valores irrealis marcados. _____	89
Tabela 5.14. Valores do parâmetro c_f e produção de sedimentos para a sub-bacia de Gangorra com os possíveis valores irrealis marcados. _____	89
Tabela 5.15. Valores do parâmetro K_i e produção de sedimentos para a sub-bacia de Umburana com os possíveis valores irrealis marcados. _____	90

Tabela 5.16. Valores do parâmetro K_i e produção de sedimentos para a sub-bacia de Jatobá com os possíveis valores irrealis marcados.	90
Tabela 5.17. Valores do parâmetro K_i e produção de sedimentos para a sub-bacia de Gangorra com os possíveis valores irrealis marcados.	91
Tabela 6.1. Comparação entre a taxa de infiltração calculada pelo modelo Kineros2 e pelo modelo WESP.	99

LISTA DE TABELAS DO ANEXO 1

Tabela 1. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a parcela 1	111
Tabela 2. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a parcela 2.	119
Tabela 3. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a parcela 3.	121
Tabela 4. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a parcela 4.	124
Tabela 5. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a parcela 5.	131
Tabela 6. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a parcela 6.	133
Tabela 7. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a parcela 7.	140
Tabela 8. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a parcela 8.	146
Tabela 9. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a parcela 9.	149
Tabela 10. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a microbacia 1.	150
Tabela 11. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a microbacia 2.	151
Tabela 12. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a microbacia 3.	152
Tabela 13. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a microbacia 4.	156

LISTA DE TABELAS DO ANEXO 2

Tabela 1. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da sub-bacia de Umburana. _____	160
Tabela 2. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da sub-bacia de Jatobá. _____	163
Tabela 3. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da Bacia Representativa de Sumé. _____	166

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Variação do parâmetro <i>CN</i> com a escala da bacia hidrográfica (Simanton et al., 1996).	12
Figura 2.2. Variação do coeficiente de rugosidade de Manning com a área da bacia hidrográfica (Figueiredo, 1998a).	12
Figura 2.3. Taxa de entrega de sedimentos versus área da bacia hidrográfica para várias partes do mundo (Walling, 1983).	13
Figura 2.4. Valores da produção de sedimentos em suspensão em função da área da bacia para várias partes do mundo (Walling, 1983).	14
Figura 2.5. Produção de sedimentos versus área da bacia hidrográfica (Figueiredo, 1998a).	14
Figura 3.1. Localização da Bacia Representativa de Sumé no Estado da Paraíba (divisão por bacias hidrográficas).	17
Figura 3.2. Área hidrologicamente semelhante à Bacia Representativa de Sumé (Cadier e Freitas., 1982).	18
Figura 3.3. Hidrografia da Bacia Representativa de Sumé e localização da Bacia Experimental de Sumé.	18
Figura 3.4. Mapa de Solos da Bacia Representativa de Sumé.	20
Figura 3.5. Mapa de Relevo da Bacia Representativa de Sumé.	21
Figura 3.6. Croqui de Localização das Instalações da Bacia Experimental de Sumé.	23
Figura 3.7. Levantamento topográfico da microbacia 1.	24
Figura 3.8. Levantamento topográfico da microbacia 2.	25
Figura 3.9. Levantamento topográfico da microbacia 3.	25
Figura 3.10. Levantamento topográfico da microbacia 4.	26
Figura 3.11. Fossa de sedimentos das microbacias.	27
Figura 3.12. Parcela de Erosão e Tanques Coletores.	29
Figura 5.1. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na parcela 1.	50
Figura 5.2. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na parcela 4.	50
Figura 5.3. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na parcela 6.	51
Figura 5.4. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na parcela 8.	51
Figura 5.5. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 1.	53

Figura 5.6. Valor do parâmetro c_f versus número do evento de cheia para a parcela 1. _	54
Figura 5.7. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 2. _____	54
Figura 5.8. Valor do parâmetro c_f versus número do evento de cheia para a parcela 2. _	54
Figura 5.9. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 3. _____	55
Figura 5.10. Valor do parâmetro c_f versus número do evento de cheia para a parcela 3. _	55
Figura 5.11. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 4. _____	55
Figura 5.12. Valor do parâmetro c_f versus número do evento de cheia para a parcela 4. _	56
Figura 5.13. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 5. _____	56
Figura 5.14. Valor do parâmetro c_f versus número do evento de cheia para a parcela 5. _	56
Figura 5.15. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 6. _____	57
Figura 5.16. Valor do parâmetro c_f versus número do evento de cheia para a parcela 6. _	57
Figura 5.17. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 7. _____	57
Figura 5.18. Valor do parâmetro c_f versus número do evento de cheia para a parcela 7. _	58
Figura 5.19. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 8. _____	58
Figura 5.20. Valor do parâmetro c_f versus número do evento de cheia para a parcela 8. _	58
Figura 5.21. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 9. _____	59
Figura 5.22. Valor do parâmetro c_f versus número do evento de cheia para a parcela 9. _	59
Figura 5.23. Discretização da Microbacia 4 (Galvão, 1990). _____	61
Figura 5.24. Definição dos planos e canais para a microbacia 1. _____	63
Figura 5.25. Definição dos planos e canais para a microbacia 1. _____	63
Figura 5.26. Definição dos planos e canais para a microbacia 2. _____	64
Figura 5.27. Definição dos planos e canais para a microbacia 2. _____	64
Figura 5.28. Definição dos planos e canais para a microbacia 3. _____	65
Figura 5.29. Definição dos planos e canais para a microbacia 3. _____	65
Figura 5.30. Definição dos planos e canais para a microbacia 4. _____	66
Figura 5.31. Definição dos planos e canais para a microbacia 4 _____	66

Figura 5.32. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na microbacia 3. _____	67
Figura 5.33. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na microbacia 4. _____	67
Figura 5.34. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a microbacia 1. _____	67
Figura 5.35. Valor do parâmetro c_f versus número da cheia para a microbacia 1. _____	68
Figura 5.36. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número cheia para a microbacia 2. _____	68
Figura 5.37. Valor do parâmetro c_f versus número da cheia para a microbacia 2. _____	68
Figura 5.38. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a microbacia 3. _____	69
Figura 5.39. Valor do parâmetro c_f versus número da cheia para a microbacia 3. _____	69
Figura 5.40. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número cheia para a microbacia 4. _____	69
Figura 5.41. Valor do parâmetro c_f versus número da cheia para a microbacia 4. _____	70
Figura 5.42. Comparação entre o valor do parâmetro S_i para a discretização feita neste estudo e a discretização feita por Galvão (1990) para a microbacia 4. _____	70
Figura 5.43. Comparação entre o valor do parâmetro S_i para a discretização feita neste estudo e a discretização feita por Galvão (1990) para a microbacia 4. _____	70
Figura 5.44. Mapa de Relevo da Bacia Representativa de Sumé. _____	75
Figura 5.45. Mapa de Solos e Hidrografia da Bacia Representativa de Sumé _____	78
Figura 5.46. Determinação dos planos e canais na discretização da Bacia Representativa de Sumé. _____	79
Figura 5.47. Discretização da bacia de Umburana em planos e canais. _____	80
Figura 5.48. Discretização da bacia de Jatobá em planos e canais. _____	81
Figura 5.49. Discretização da Bacia Representativa de Sumé em planos e canais. _____	82
Figura 5.50. Hidrogramas observado e calculado pelos modelos Kineros2 e WESP para a cheia 01 na sub-bacia de Umburana. _____	83
Figura 5.51. Hidrogramas observado e calculado pelos modelos Kineros2 e WESP para a cheia 09 na sub-bacia de Umburana. _____	83
Figura 5.52. Hidrogramas observado e calculado pelos modelos Kineros2 e WESP para a cheia 11 na sub-bacia de Umburana. _____	83
Figura 5.53. Hidrogramas observado e calculado pelos modelos Kineros2 e WESP para a cheia 11 na sub-bacia de Jatobá. _____	84

Figura 5.54. Hidrogramas observado e calculado pelos modelos Kineros2 e WESP para a cheia 16 na sub-bacia de Jatobá. _____	84
Figura 5.55. Hidrogramas observado e calculado pelos modelos Kineros2 e WESP para a cheia 19 na sub-bacia de Jatobá. _____	84
Figura 5.56. Hidrogramas observado e calculado pelos modelos Kineros2 e WESP para a cheia 06 na sub-bacia de Gangorra. _____	85
Figura 5.57. Hidrogramas observado e calculado pelos modelos Kineros2 e WESP para a cheia 07 na sub-bacia de Gangorra. _____	85
Figura 5.58. Hidrogramas observado e calculado pelos modelos Kineros2 e WESP para a cheia 13 na sub-bacia de Gangorra. _____	85
Figura 6.1. Variação do parâmetro c_f com a escala da bacia. _____	101

LISTA DE SÍMBOLOS

<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 ($MLM^{-3/2}L^{-3/2}T^{-3}T^{-1}$)
C_D	Coefficiente de arrasto
c_f	Coefficiente na equação de erosão devido ao impacto das gotas de chuva
c_g	Coefficiente da taxa de transferência na erosão/deposição hidráulica (T^{-1})
c_h	Coefficiente de amortecimento devido à lâmina d'água na equação de erosão por impacto das gotas de chuva
C_m	Concentração de equilíbrio na capacidade de transporte de sedimentos (L^3L^{-3})
c_o	Coefficiente relacionado à coesão do solo
C_S	Concentração de sedimentos
C_s	Concentração de sedimentos no fluxo (L^3L^{-3})
C_v	Coefficiente de variação da condutividade hidráulica efetiva do solo
<i>d</i>	Tamanho característico dos sedimentos (L)
d_{50}	Diâmetro médio dos sedimentos
<i>e</i>	Erosão calculada (L^2T^{-1})
e_h	Erosão devido ao arrasto pelo fluxo superficial (L^2T^{-1})
e_o	Erosão observada (L^2T^{-1})
e_s	Erosão devido ao impacto das gotas de chuva (L^2T^{-1})
f_c	Taxa de infiltração (LT^{-1})
<i>G</i>	Valor efetivo do potencial de capilaridade (L)
<i>g</i>	Aceleração da gravidade (LT^{-2})
<i>h</i>	Profundidade do fluxo (L)
<i>I</i>	Infiltração acumulada (L)
<i>i</i>	Intensidade de precipitação (LT^{-1})
<i>K</i>	Condutividade hidráulica do solo (LT^{-1})
K_i	Parâmetro de erodibilidade do solo pelo impacto das gotas de chuva (MTL^{-4})

K_r	Parâmetro de erodibilidade do solo pelo fluxo superficial ($MLM^{-3/2}L^{-3/2}T^{-3}T^{-1}$)
K_s	Condutividade hidráulica saturada efetiva (LT^{-1})
L	Comprimento do plano (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	Coefficiente de rugosidade de Manning
N_s	Parâmetro de sucção/umidade do solo (L)
ϕ	Porosidade
q	Fluxo de entrada lateral por unidade de comprimento do canal ou excesso de precipitação nos planos (LT^{-1})
Q	Vazão (L^3T^{-1})
q_s	Entrada lateral de sedimentos no canal ($L^3T^{-1}L^{-1}$)
R	Raio hidráulico (L)
r	Taxa de entrada de água na superfície do solo durante a redistribuição de água (LT^{-1})
r_e	Excesso de precipitação (LT^{-1})
R_n	Número de Reynolds da partícula
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	Tempo (T)
t_p	Tempo de empoçamento (T)
T_W	Largura de topo do fluxo (L)
u	Velocidade média do fluxo (LT^{-1})
v_s	Velocidade de queda das partículas (LT^{-1})
W	Largura do plano (L)
x	Distância na direção do fluxo (L)

Z	Profundidade da frente de molhamento a partir da superfície (L)
α	Coefficiente da equação de Smith e Parlange (1978)
γ	Peso específico da água ($MLT^{-2}L^{-3}$)
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)
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_s	Umidade de saturação do solo
θ_s	Umidade na saturação do solo

ÍNDICE

DEDICATÓRIA _____	i
AGRADECIMENTOS _____	ii
RESUMO _____	iii
ABSTRACT _____	iv
LISTAS DE TABELAS DOS CAPÍTULOS _____	v
LISTAS DE TABELAS DO ANEXO 1 _____	vii
LISTA DE TABELAS DO ANEXO 2 _____	viii
LISTA DE FIGURAS _____	ix
LISTA DE SÍMBOLOS _____	xiii
1. INTRODUÇÃO _____	1
1.1. Organização da Dissertação _____	2
2. MODELAGEM HIDROSSEDIMENTOLÓGICA E EFEITO DE ESCALA _____	4
2.1. Infiltração _____	4
2.2. Escoamento Superficial _____	4
2.3. Erosão do Solo e Produção de Sedimentos _____	6
2.3.1. Erosão nos Planos _____	7
2.3.2. Erosão nos Canais _____	7
2.4. Modelos Hidrológicos _____	7
2.4.1. Classificação dos Modelos Hidrológicos _____	8
2.5. Alguns Exemplos de Modelos Hidrológicos _____	9
2.6. Efeito de Escala _____	10
2.6.1. Efeito de Escala sobre Parâmetros Relacionados ao Escoamento Superficial _____	11
2.6.2. Efeito de Escala sobre Parâmetros Relacionados à Produção de Sedimentos _____	13

2.7. Considerações finais	15
3. BACIA REPRESENTATIVA DE SUMÉ	16
3.1. Considerações Gerais	16
3.2. Localização	17
3.3. Características Físico-Climáticas da Bacia Representativa de Sumé	19
3.3.1. Clima	19
3.3.2. Geologia	19
3.3.3. Solo	19
3.3.4. Relevo	20
3.3.5. Vegetação	20
3.3.6. Dados Utilizados	21
3.4. A Bacia Experimental de Sumé	23
3.4.1. Microbacias	23
3.4.2. Parcelas de Erosão	27
3.4.3. Observações Meteorológicas	28
3.4.4. Dados Utilizados da Bacia Experimental de Sumé (BES)	28
3.5. Trabalhos Anteriores utilizando dados da BRS e da BES	29
4. MODELOS UTILIZADOS NA PESQUISA	33
4.1. Modelo Kineros2	33
4.1.1. Modelo de Infiltração	33
4.1.2. Fluxo nos Planos	35
4.1.3. Condições de Fronteira	36
4.1.4. Recessão e Microtopografia	36
4.1.5. Fluxo nos Canais	37
4.1.6. Modelagem da Erosão nos Planos e Canais	37
4.2. Parâmetros de Entrada do Modelo Kineros2	39
4.2.1. Parâmetros Globais	39
4.2.2. Parâmetros dos Planos	39
4.2.3. Parâmetros dos Canais	40
4.3. O modelo WESP	41
4.3.1. Modelo de Infiltração	41

4.3.2. Escoamento Superficial _____	42
4.3.3. Componente Erosão-Deposição _____	43
4.4. Parâmetros de Entrada do Modelo WESP _____	46
4.4.1. Utilitário para cálculo do intervalo de tempo de simulação _____	48
4.5. Seqüência Computacional _____	48
4.6. Estimativa dos Parâmetros dos Modelos _____	48
5. MODELAGEM DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NA BACIA REPRESENTATIVA E EXPERIMENTAL DE SUMÉ _____	49
5.1. Modelagem do Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas Parcelas _____	49
5.1.1. Determinação dos Parâmetros do Modelo Kineros2 _____	49
5.2. Modelagem do Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas Microbacias _____	59
5.3. Modelagem do Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas sub-bacias da BRS _____	75
5.3.1. Determinação dos Parâmetros do Modelo _____	76
6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS _____	92
6.1. Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas Parcelas _____	92
6.1.1. Escoamento Superficial _____	93
6.1.2. Produção de Sedimentos _____	95
6.2. Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas Microbacias _____	95
6.2.1. Escoamento Superficial _____	96
6.2.2. Produção de Sedimentos _____	96
6.2.3. Análise do Efeito da discretização da Microbacia 4 sobre os Parâmetros do Modelo Kineros2 _____	97
6.3. Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas Sub-bacias _____	97
6.3.1. Escoamento Superficial _____	97
6.3.2. Produção de Sedimentos _____	99
6.4. Efeito de Escala sobre os parâmetros do Modelo Kineros2 _____	100
6.5. EFEITO DE ESCALA SOBRE OS PARÂMETROS DO MODELO WESP _____	101

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES _____	102
7.1. Conclusões _____	102
7.2. Recomendações _____	103
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	104
ANEXO 1 – Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para parcelas e microbacias da Bacia Experimental de Sumé _____	111
ANEXO 2 - Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos das sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé _____	160
ANEXO 3 - Relação do tipo de solo para cada elemento das sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé _____	174

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Bacias representativas são aquelas 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 desenvolvidas 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 conseqüências 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.

As Bacias Representativa e Experimental de Sumé foram instaladas no semi-árido paraibano, com o objetivo de servir como fonte de informações 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, de modelar o processo de escoamento superficial e erosão do solo (Galvão, 1990; Santos, 1994; Srinivasan e Galvão, 1994; Santos, 1997; Pereira, 1997; Aragão, 2000).

No entanto, poucos estudos sobre efeito de escala na modelagem do escoamento superficial e erosão do solo têm sido realizados na região Nordeste. Os estudos dos efeitos de escala são de grande relevância devido ao fato que, geralmente os modelos hidrológicos, juntamente com seus parâmetros, são utilizados na simulação do escoamento superficial e da erosão do solo de uma maneira global, tanto para bacias hidrográficas pequenas quanto para bacias hidrográficas médias. Em bacias maiores, os processos hidrológicos são afetados tanto pelas variações dentro da bacia (clima, solo, vegetação, relevo, hidrografia), quanto pelas não-linearidades dos processos.

Dessa forma, os resultados das simulações do escoamento superficial e da produção de sedimentos, em diferentes escalas, trará subsídios valiosos para a análise do comportamento dos parâmetros e de variáveis hidrológicas entre as escalas.

O modelo WESP (*Watershed Erosion Simulation Program*), desenvolvido por Lopes (1987), já foi utilizado por vários pesquisadores em pequenas áreas (100 – 10.000 m²) da Bacia Experimental de Sumé (Galvão, 1990; Santos, 1994; Srinivasan e Galvão, 1994; Santos, 1997; Pereira, 1997; Aragão, 2000). Contudo, este modelo não tinha sido utilizado ainda na simulação do escoamento e erosão do solo em bacias hidrográficas com áreas relativamente maiores e os efeitos de escala sobre os parâmetros desse modelo ainda não tinham sido investigados.

O modelo Kineros (*Kinematic Runoff and Erosion Model*), desenvolvido por Woolhiser et al. (1990), apresenta características semelhantes à do modelo WESP, já que este último utiliza os conceitos essenciais de uma versão anterior do Kineros, no que diz respeito à representação da bacia (em planos e canais) e a simulação de eventos, porém considera a redistribuição da água no solo no processo de infiltração, incluindo a recuperação da capacidade de infiltração durante os intervalos entre as chuvas, entre outras diferenças.

O modelo hidrológico WESP foi testado pela primeira vez em sub-bacias (10 – 140 km²) na área do presente estudo, enquanto o modelo Kineros foi avaliado pela primeira vez, tanto em parcelas (100 m²) e microbacias (0,5 – 1,0 ha) quanto nas sub-bacias dessa mesma área.

O presente trabalho teve como objetivos principais: **a)** A simulação e comparação do escoamento superficial e erosão do solo utilizando os modelos hidrológicos WESP e Kineros nas sub-bacias hidrográficas da Bacia Representativa de Sumé, com áreas variando entre 10 e 140 km², e nas parcelas e microbacias da Bacia Experimental de Sumé; **b)** A avaliação dos modelos WESP e Kineros na simulação dos processos hidrológicos do escoamento superficial e erosão do solo; **c)** O estudo dos efeitos de escala na geração do escoamento superficial e erosão do solo.

1.1. Organização da Dissertação

Esta dissertação está organizada em 7 capítulos.

No **capítulo 2** são apresentadas algumas informações básicas sobre modelagem do escoamento superficial e erosão do solo utilizando modelos hidrológicos, bem como, a

discussão de alguns estudos sobre efeitos de escala realizados em algumas partes do mundo. **No capítulo 3** são descritas as áreas de estudo: a Bacia Representativa de Sumé e a Bacia Experimental de Sumé. Também são indicados neste capítulo, os dados utilizados no presente trabalho. **No capítulo 4** são descritos os modelos Kineros e WESP, assim como, são apresentadas suas principais diferenças. **No capítulo 5** são apresentadas as aplicações dos modelos na área de estudo, onde são apresentados todos os resultados obtidos. **No capítulo 6**, os resultados são analisados e discutidos. Finalmente, **no capítulo 7** são apresentadas as conclusões do trabalho, bem como, algumas sugestões para estudos futuros nessa linha da pesquisa.

CAPÍTULO 2

2. MODELAGEM HIDROSSEDIMENTOLÓGICA E EFEITO DE ESCALA

Neste capítulo, trataremos brevemente os aspectos mais importantes envolvidos em modelagem hidrossedimentológica em pequenas bacias hidrográficas, bem como, aspectos gerais sobre modelos hidrológicos. No final do capítulo, serão apresentados alguns estudos relativos aos efeitos de escala sobre parâmetros de modelos hidrológicos.

2.1. Infiltração

A infiltração é a passagem de água da superfície para o interior do solo. É um processo que depende fundamentalmente da água disponível para infiltrar, da natureza do solo, do estado da superfície e das quantidades de água e ar inicialmente presentes no interior do solo (Tucci, 1993).

À medida que a água infiltra pela superfície, as camadas superiores do solo vão se umedecendo de cima pra baixo, alterando gradativamente o perfil de umidade. Enquanto há entrada de água, o perfil de umidade tende a saturação em toda a profundidade. Normalmente as precipitações naturais não são capazes de saturar todo o solo, saturando em geral apenas as camadas próximas à superfície, formando um perfil típico onde a umidade do solo decresce com a profundidade.

Existem várias equações que descrevem a variação da infiltração de água no solo em relação ao tempo, dentre elas, têm-se as equações de Horton (1933), Phillip (1957, 1969), Green e Ampt (1911) e Smith e Parlange (1978).

2.2. Escoamento Superficial

O escoamento superficial é o resultado da interação da precipitação com a bacia hidrográfica. Geralmente é modelado propagando-se o excesso de precipitação, definido como sendo a diferença entre a intensidade de precipitação e a capacidade de infiltração do

solo, onde é conhecido como fluxo Hortoniano, o que ocorre normalmente em regiões áridas e semi-áridas.

Em regiões úmidas, o principal mecanismo de geração de escoamento ocorre devido à elevação do lençol subterrâneo. Diferencia-se do fluxo Hortoniano pelo fato que neste mecanismo, a saturação do solo ocorre das camadas inferiores para a superfície e no fluxo Hortoniano ocorre de modo inverso (Chow et al., 1988).

A modelagem do escoamento superficial em bacias hidrográficas é baseada na resolução de equações diferenciais parciais que descrevem o fluxo e a profundidade do nível de água como funções do tempo e do espaço. Estas equações são conhecidas como equações de Saint-Venant, as quais são formadas pela equação da continuidade e pela equação de quantidade de movimento.

As suposições básicas para o desenvolvimento dessas equações são (Chow et al., 1988): (a) o fluxo é unidimensional e gradualmente variado; (b) a declividade do canal é pequena e o seu leito é fixo; (c) os coeficientes de resistência para fluxo permanente e uniforme podem ser utilizados; (d) o fluido é incompressível e a massa específica é constante.

A equação da continuidade possui a seguinte forma:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (2.1)$$

onde Q é a vazão (m^3/s), A é a área da seção transversal do canal (m^2), q é a entrada de fluxo lateral (m^2/s), x é a coordenada espacial (m) e t é a coordenada temporal (s).

A equação da quantidade de movimento apresenta a seguinte forma:

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = q \quad (2.2)$$

onde y é a profundidade do fluxo (m), g é a aceleração da gravidade, S_0 é a declividade do fundo do canal e S_f é a declividade da linha de energia e as outras variáveis já foram descritas anteriormente. Os termos a partir da esquerda na equação da quantidade de movimento representam, respectivamente, a aceleração local do fluido, aceleração convectiva do fluido, a força devido à pressão, a força devido à inércia e ao cisalhamento.

Quando na modelagem do escoamento superficial consideram-se todos os termos da equação da quantidade de movimento, o modelo é classificado como hidrodinâmico. Quando os termos que representam as acelerações do fluido são desprezados, o modelo é

dito de difusão. Os modelos são classificados como cinemáticos quando são desprezados os termos que representam as acelerações do fluido e a pressão, ou seja, assumem que a declividade da linha de energia é igual à declividade do fundo do canal, sendo assim, as forças devido ao cisalhamento no fluido e devido ao peso do fluido estão equilibradas.

2.3. Erosão do Solo e Produção de Sedimentos

A erosão do solo constitui um dos processos naturais que mais degradam o meio ambiente. Dentre os vários danos causados pela erosão, temos: destruição da nascente dos rios, aumento do risco de desertificação, remoção da camada fértil de zonas agrícolas.

O processo erosivo causado pela água das chuvas tem abrangência em quase toda a superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical, onde as intensidades são bem mais elevadas do que em outras regiões do planeta. Além disso, em muitas dessas áreas, as chuvas concentram-se em certas estações do ano, o que agrava ainda mais a erosão do solo. O processo é acelerado pelo desmatamento para a exploração de madeira e/ou para a produção agrícola, uma vez que os solos ficam desprotegidos da cobertura vegetal e, conseqüentemente, as chuvas incidem diretamente sobre a superfície do terreno. (Guerra et al., 1999).

Atualmente existem diversas fórmulas para a modelagem do processo de erosão do solo, cada uma tendo sido desenvolvida em condições específicas de fluxo e de características dos sedimentos. As taxas de erosão calculadas utilizando essas diferentes fórmulas para prever a produção de sedimentos variam significativamente. Logo, a escolha correta de uma dessas fórmulas para prever a produção de sedimentos é uma tarefa bastante difícil (Alonso et al., 1981).

A produção de sedimentos compreende os processos de desagregação, transporte e deposição dos sedimentos. A desagregação diz respeito ao desprendimento de partículas sólidas do meio de que fazem parte, devido principalmente ao impacto das gotas de chuva, além de outros fatores, tais como: reações químicas, flutuação de temperatura e ações mecânicas. O material erodido ficará exposto à ação do vento ou do escoamento superficial, ou mesmo a ação de outras chuvas, disponível para ser transportado. O impacto das gotas de chuva é, após a ação do homem, o fator que mais contribui para a erosão. O transporte através da água pode acontecer de várias maneiras, dependendo do fluxo e das características das partículas. Partículas pesadas são transportadas por deslizamento, rolamento ou saltos. Partículas muito leves são transportadas em suspensão no interior do fluxo e constituem a carga de lavagem (Simons e Sentürk, 1992). A deposição acontece

quando a quantidade de partículas presente no fluxo é maior que a capacidade que o fluxo possui para transportar a massa sólida. Ela geralmente acontece em deltas de rios e em áreas onde a velocidade do fluxo é bastante reduzida. Essa concentração de sedimentos em equilíbrio no fluxo superficial é denominada de capacidade de transporte de sedimentos.

2.3.1. Erosão nos Planos

Os processos de desagregação, transporte e deposição ocorrem, basicamente, nas áreas planas. As gotas de chuva ao caírem atingem uma velocidade, cujo valor está associado a uma energia cinética. Esta energia será dissipada quando as gotas atingirem a superfície do solo. Dependendo das condições da cobertura superficial (com ou sem vegetação) este impacto provocará ou não a desagregação das partículas. Essas poderão ser transportadas pelas gotas, sendo arremessadas após o impacto, a uma curta distância. Isto faz com que algumas vezes o fluxo possa transportar mais material do que a sua capacidade de transporte (Foster, 1982).

2.3.2. Erosão nos Canais

A erosão nos canais acontece devido à força de cisalhamento que o fluxo superficial exerce nas laterais e no leito do canal. Parte do material que foi erodido nos planos é transportado juntamente com o fluxo para os canais. Dependendo da quantidade disponível para transporte e das características do solo que compõe o leito e as laterais do canal, poderá haver maior ou menor erosão. Conseqüentemente, a erosão irá resultar no aprofundamento e alargamento do canal.

2.4. Modelos Hidrológicos

A hidrologia trata dos fenômenos naturais complexos encontrados no ciclo hidrológico, tais como precipitação, evaporação, infiltração, interceptação, escoamento subterrâneo e superficial. Como esses processos dependem de um grande número de fatores, sua análise quantitativa e qualitativa se torna bastante complicada. Desta forma, torna-se imprescindível a utilização de modelos hidrológicos computacionais. (Abbott et al., 1986a, Aboott et al., 1986b, Tucci, 1998).

Um modelo hidrológico é uma ferramenta que pode ser utilizada para monitorar o comportamento de uma bacia hidrográfica, como por exemplo, prever as conseqüências de modificações no uso do solo; as vazões decorrentes de determinadas chuvas intensas; efeito da construção de açudes; o impacto da urbanização de uma bacia, etc. As limitações básicas desses modelos são a quantidade e a qualidade dos dados hidrológicos, além da

dificuldade de formular matematicamente alguns processos e a simplificação do comportamento espacial de variáveis e fenômenos (Tucci, 1998).

Todos os modelos hidrológicos representam de forma aproximada os fenômenos reais encontrados na natureza. Portanto, uma variável hidrológica, como vazão ou produção de sedimentos, nunca será prevista com total certeza. Além disso, os fenômenos hidrológicos variam em três dimensões e também no tempo, e a consideração simultânea dessas cinco fontes de variação (incertezas, três dimensões, tempo) é bastante complicada. Dessa forma, a maioria dos modelos considera somente uma ou duas dessas fontes de variação (Chow et al., 1988).

2.4.1. Classificação dos Modelos Hidrológicos

Os modelos podem ser classificados da seguinte forma (Tucci, 1998):

a) Concentrado ou distribuído: um modelo é concentrado quando não leva em conta a variabilidade espacial. Um modelo é distribuído quando as variáveis e parâmetros dependem do espaço e/ou do tempo. No entanto, não existem modelos puramente distribuídos, já que são utilizadas discretizações numéricas, que de alguma forma, tornam o modelo distribuído, concentrado numa pequena subdivisão;

b) Estocástico ou determinístico: se a chance de ocorrência das variáveis for levada em consideração, e o conceito de probabilidade é introduzido na formulação do modelo, o processo e o modelo são ditos estocásticos. De outro modo, se a chance de ocorrência das variáveis envolvidas no processo for ignorada, e o modelo segue uma lei definida que não seja uma lei de probabilidades, o modelo é classificado como determinístico;

c) Conceitual ou empírico: um modelo é dito conceitual, quando as funções utilizadas na sua elaboração levam em consideração os processos físicos. Os modelos empíricos ou do tipo “caixa preta” são aqueles em que se ajustam os valores calculados aos dados observados, através de funções que não tenham nenhuma relação com os processos físicos envolvidos, e são baseados em análises estatísticas como métodos de correlação e análise de regressão.

Os modelos conceituais podem ser subclassificados como semiconceituais e físicos. Os semiconceituais estão relacionados às características do processo, embora mantenham um razoável empirismo nos parâmetros das equações envolvidas, enquanto que os modelos físicos utilizam as principais equações diferenciais do sistema físico, para representar os

processos e os seus parâmetros são aqueles que mais se aproximam da física do sistema. Sendo assim, mudanças das características das bacias podem alterar os valores dos parâmetros, os quais podem ser avaliados através de medidas em campo. Portanto, modelos desse tipo podem ser aplicados em bacias hidrográficas que não possuam dados observados.

Os modelos empíricos que representam os processos hidrológicos sem levar em conta os processos físicos de seu comportamento, importam técnicas matemáticas e estatísticas visando à melhor representação da saída com base na entrada. As principais dificuldades encontradas no uso desse tipo de modelo têm sido o empirismo dos parâmetros e as incertezas quanto aos prognósticos da faixa de ajuste.

Os modelos hidrológicos distribuídos não garantem necessariamente melhor resultado do que os modelos semiconceituais concentrados, mas permitem analisar com melhor embasamento, modificações naturais ou antrópicas nas características das bacias hidrográficas, o que é praticamente inviável através de modelos hidrológicos semiconceituais, devido ao excesso de empirismo e da característica concentrada da sua formulação. Mesmo utilizando conjuntamente modelos distribuídos, modelos digitais de terreno e o geoprocessamento, a boa representatividade espacial e temporal do comportamento das diferentes partes na bacia não garante que os resultados encontrados podem ser estendidos para outras escalas de bacia hidrográfica. Sendo assim, pode ocorrer o fenômeno conhecido como efeito de escala, ou seja, as condições nas quais os processos ocorrem na escala de tempo e de espaço são diferentes. Portanto, o conhecimento de um processo numa escala de tempo ou espaço não implica necessariamente o entendimento desse processo em outras escalas (Tucci, 1998).

2.5. Alguns Exemplos de Modelos Hidrológicos

Depois do aparecimento dos computadores e o desenvolvimento de máquinas cada vez mais velozes, foram desenvolvidos inúmeros modelos matemáticos de simulação. Atualmente, existem centenas de modelos hidrológicos, cada um com características peculiares ou bastantes comuns. Dentre eles, podem ser citados:

a) O modelo SHE (*Système Hydrologique Européen*): desenvolvido por um consórcio europeu de institutos de hidrologia (Bathurst, 1986a; Bathurst, 1986b; Bathurst et al., 1995) e consiste de um modelo distribuído, de base física, cujas equações físicas são resolvidas através do método de diferenças finitas. A bacia é discretizada através de malhas. A sua versão mais avançada, SHETRAN, considera os processos de erosão,

transporte e deposição de sedimento e poluentes. Devido à sua concepção, o modelo requer um grande número de informações, tornando difícil sua utilização.

b) O modelo WESP (*Watershed Erosion Simulation Program*): desenvolvido por Lopes (1987), é um modelo distribuído, semiconceitual, orientado a evento, desenvolvido para ser utilizado na simulação do escoamento superficial e da produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas em condições semi-áridas, onde o fluxo superficial é predominantemente Hortoniano. A bacia é representada por um conjunto de planos e canais, com os planos contribuindo com fluxo lateral para os canais. A definição dos planos deve ser baseada nas características de solo, declividade e cobertura vegetal. Os limites dos planos devem ser linhas de fluxo ou linhas de contorno. As equações de continuidade para o escoamento superficial e para o transporte de sedimentos são resolvidas numericamente usando um esquema implícito de diferenças finitas definido em quatro pontos.

c) O modelo Kineros (*Kinematic Runoff Erosion Model*, Woolhiser et al., 1990): é um modelo semiconceitual, orientado a evento, descreve os processos de interceptação, infiltração, escoamento superficial e erosão em pequenas bacias urbanas e rurais. A bacia é representada por uma cascata de planos e de canais; as equações diferenciais parciais que descrevem o fluxo nos planos, o fluxo nos canais, a erosão e o transporte do sedimento são resolvidas pelo método das diferenças finitas. A variação espacial da precipitação, da infiltração, do escoamento, e dos parâmetros da erosão pode ser considerada. Este modelo pode ser usado para determinar os efeitos, no hidrograma e no sedígrama de uma seção qualquer, de possíveis mudanças nas características da bacia, tais como: urbanização de uma área, construção de reservatórios, desmatamento, etc.

2.6. Efeito de Escala

Os estudos dos efeitos de escala nos processos de escoamento superficial e erosão do solo são de grande relevância devido ao fato que, geralmente os modelos hidrológicos, juntamente com seus parâmetros, são utilizados na simulação do escoamento superficial e da erosão do solo de uma maneira global, tanto para bacias hidrográficas pequenas quanto para bacias hidrográficas médias. Em bacias maiores, os processos hidrológicos são afetados tanto pelas variações dentro da bacia (clima, solo, vegetação, relevo, hidrografia), quanto pelas não-linearidades destes processos.

Dessa forma, uma análise do comportamento da geração do escoamento e erosão do solo, em diferentes escalas, trará subsídios valiosos para a análise do comportamento de

parâmetros e de variáveis hidrológicas entre as escalas. Portanto, para uma análise do efeito de escala, torna-se necessária a utilização de ferramentas de simulação que considerem as heterogeneidades das bacias. Essas ferramentas de simulação são os modelos hidrológicos distribuídos, como o WESP (Lopes, 1987), CHDM (Lopes, 1995), Kineros (Woolhiser et al., 1990) e outros. Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram utilizados os modelos WESP e Kineros.

O estudo de processos em diferentes escalas pode ser feito através de uma abordagem estocástica ou de uma forma determinística. A abordagem estocástica é mais direta e envolve o uso de funções de distribuição de probabilidades. Já a abordagem determinística é mais complexa, no entanto, possui uma maior capacidade de capturar as variabilidades da bacia hidrográfica. O ideal seria que os processos físicos pudessem ser observados na mesma escala que ocorrem e daí derivar diretamente a melhor relação que descreveria o fenômeno físico. Porém, isso nem sempre é possível para qualquer escala da bacia hidrográfica (Pimentel da Silva, 2000).

Pesquisas sobre efeitos de escala podem ser feitas de baixo para cima, ou seja, da escala de uma parcela para escalas maiores, ou no sentido inverso, da escala maior para a escala menor. Neste caso, tem-se a desagregação da informação, o que significa a partir da informação conhecida para um determinado nível, identificar os fatores relacionados às escalas inferiores que podem ter levado àqueles valores no nível mais alto. Já no sentido inverso, de baixo para cima, tem-se a agregação da informação, ou seja, a combinação de informações e teorias que ocorrem no nível mais baixo para a determinação do processo associado no nível mais alto da escala (Pimentel da Silva, 2000).

2.6.1. 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.

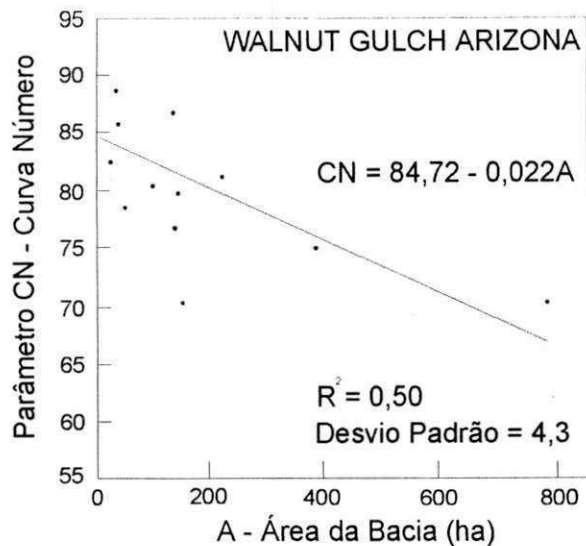


Figura 2.1. Variação do parâmetro CN com a escala da bacia hidrográfica (Simanton et al., 1996).

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.

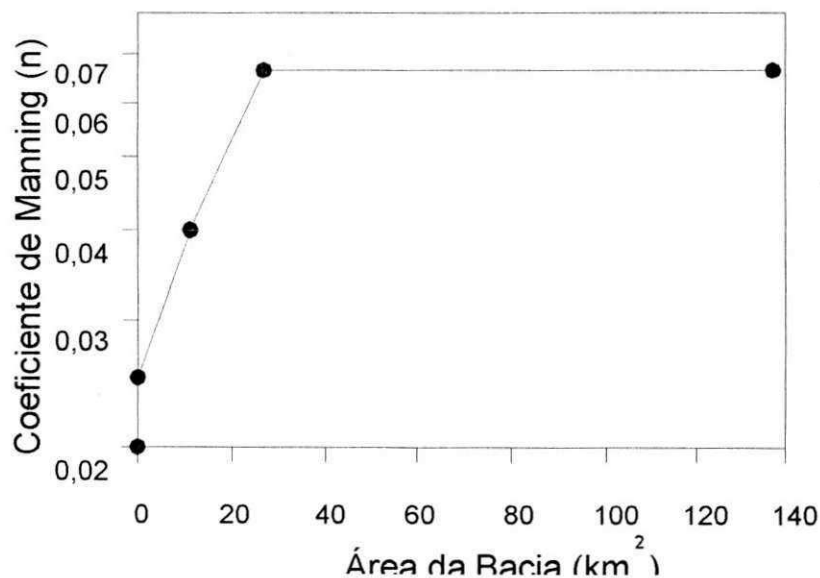


Figura 2.2. Variação do coeficiente de rugosidade de Manning com a área da bacia hidrográfica (Figueiredo, 1998a).

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 alterações, aumentando com a escala da bacia.

2.6.2. 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. As Figuras 2.3 e 2.4 mostram várias curvas da taxa de entrega de sedimentos para várias partes do mundo (Walling, 1983).

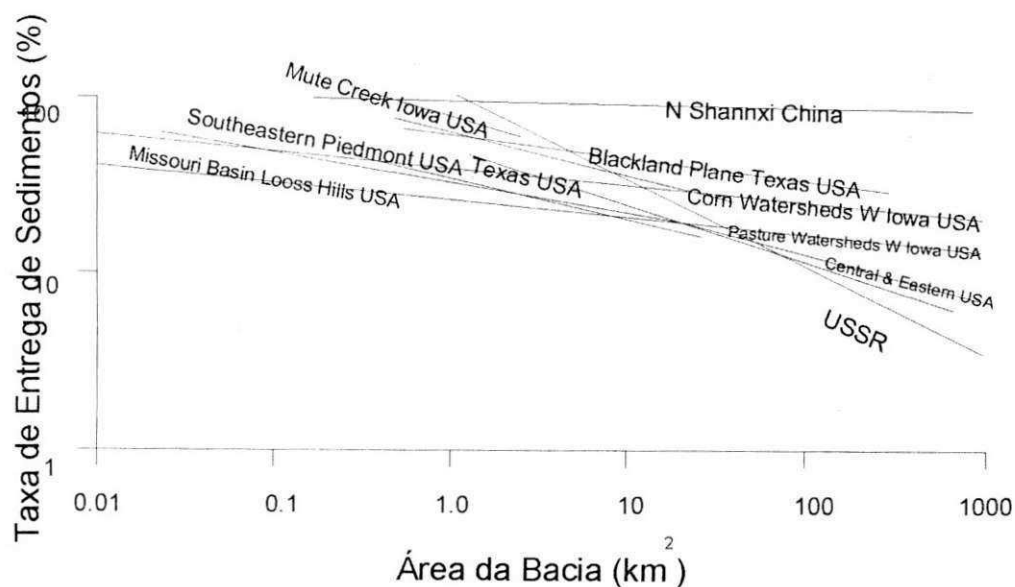


Figura 2.3. Taxa de entrega de sedimentos versus área da bacia hidrográfica para várias partes do mundo (Walling, 1983).

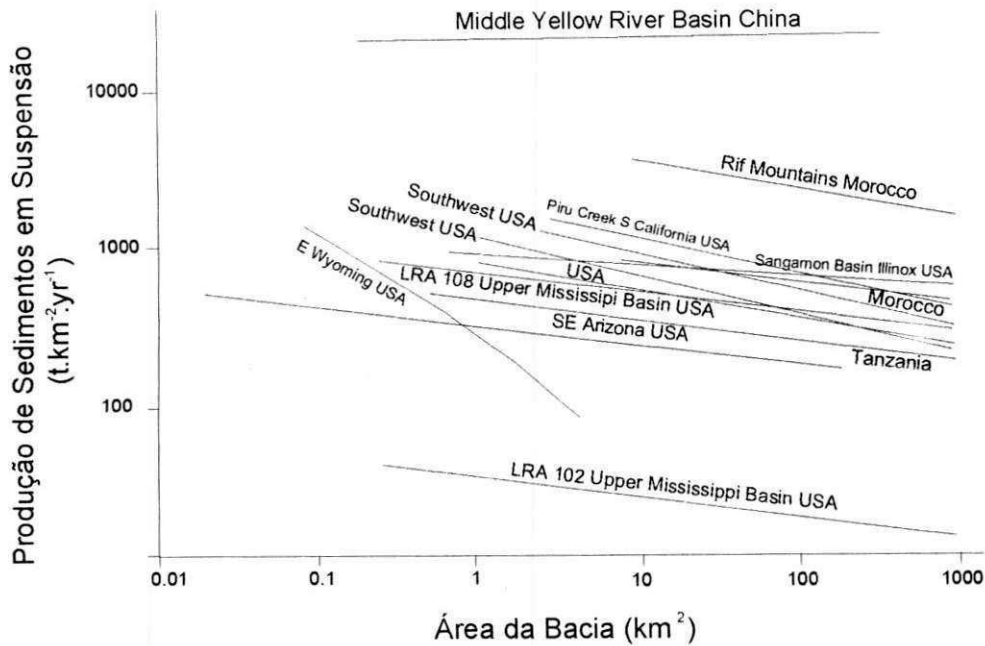


Figura 2.4. Valores da produção de sedimentos em suspensão em função da área da bacia para várias partes do mundo (Walling, 1983).

Figueiredo (1998a) também 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 2.5).

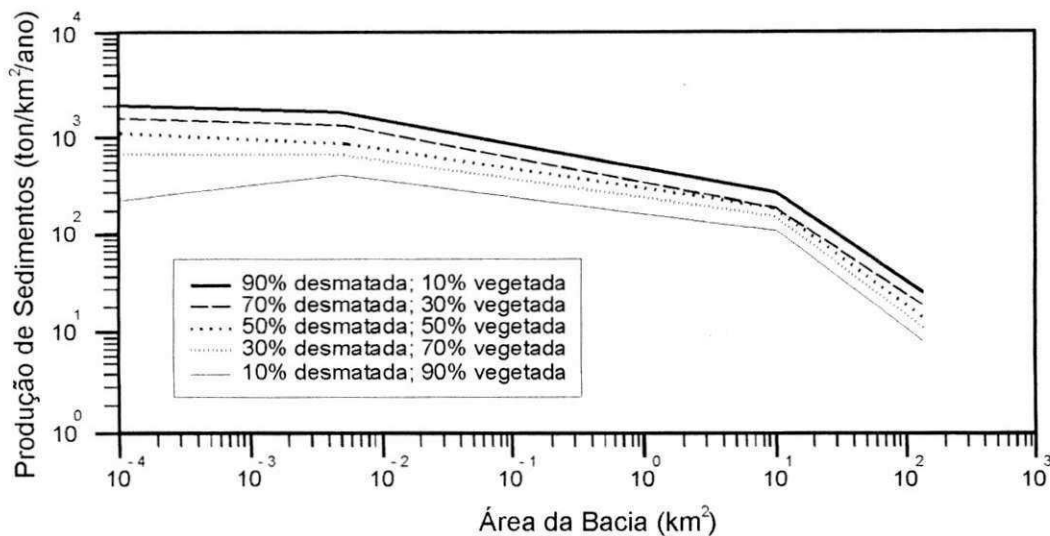


Figura 2.5. Produção de sedimentos versus área da bacia hidrográfica (Figueiredo, 1998a).

2.7. 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 para a escolha de um ou de outro modelo hidrológico, seria a familiaridade do modelador com o modelo utilizado, pois o melhor modelo, dentre aqueles tecnicamente aplicáveis a um problema, costuma ser aquele que o usuário tem maior sensibilidade sobre o seu uso, ou seja, maior sensibilidade sobre a variação dos parâmetros e o seu efeito nos processos simulados.

Além disso, como exposto anteriormente, deve-se ter sempre em mente a possibilidade dos parâmetros do modelo hidrológico sofrerem efeito de escala, ou seja, seus parâmetros assumirem valores diferentes para diferentes escalas da bacia, devido às heterogeneidades e não-linearidades dos processos hidrológicos que aumentam com a escala da bacia.

CAPÍTULO 3

3. BACIA REPRESENTATIVA DE SUMÉ

3.1. Considerações Gerais

Os dados de campo utilizados neste trabalho foram coletados na Bacia Representativa de Sumé (BRS) e na Bacia Experimental de Sumé (BES), localizadas próxima à cidade de Sumé, no Estado da Paraíba (Figura 3.1).

Os estudos na Bacia Representativa de Sumé foram iniciados pela Superintendência do 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 3.2). 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 hidrologicamente 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 3.1 mostra algumas características da Bacia Representativa de Sumé, bem como de suas sub-bacias.

Tabela 3.1. 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

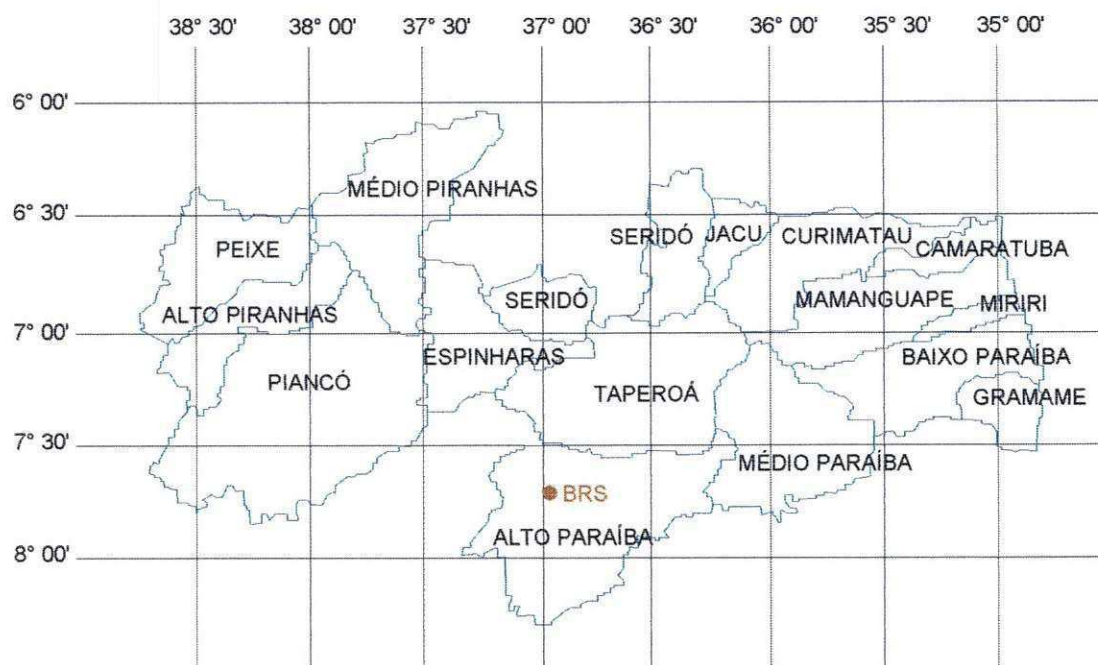


Figura 3.1. Localização da Bacia Representativa de Sumé no Estado da Paraíba (divisão por bacias hidrográficas).

3.2. 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°40' Sul e longitude aproximada de 37°00' Oeste (Cadier e Freitas, 1982)

A Bacia Experimental de Sumé (BES), a qual estava inserida na Bacia Representativa de Sumé, localizada na propriedade Fazenda Nova, no município de Sumé, Estado da Paraíba (Figura 3.3). 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°44' Sul e longitude 36°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 3.3 mostra a localização geográfica da Bacia Representativa de Sumé.

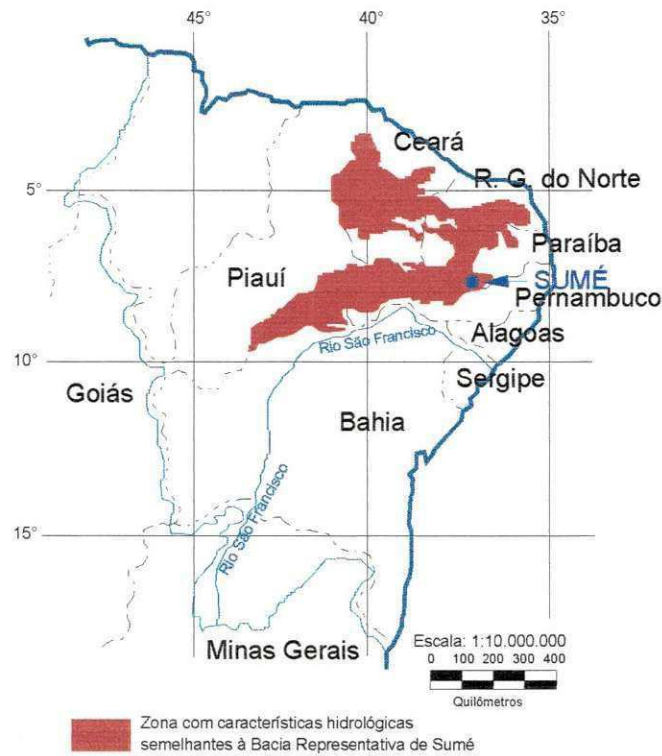


Figura 3.2. Área hidrologicamente semelhante à Bacia Representativa de Sumé (Cadier e Freitas., 1982).

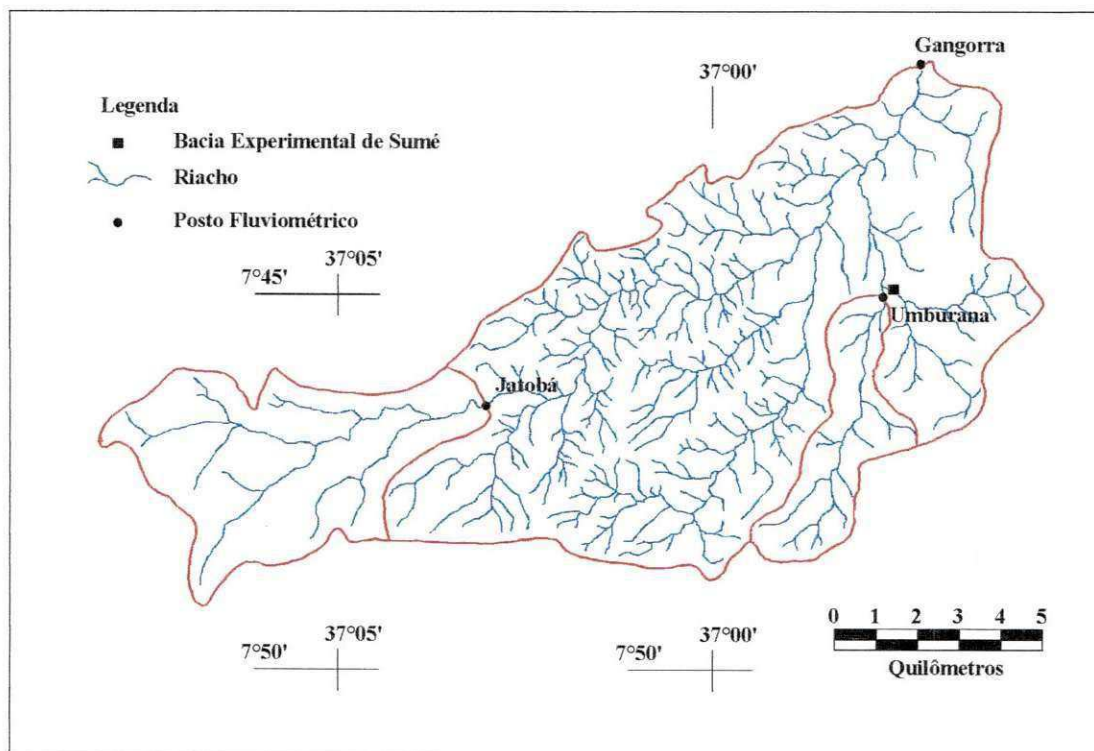


Figura 3.3. Hidrografia da Bacia Representativa de Sumé e localização da Bacia Experimental de Sumé.

3.3. Características Físico-Climáticas da Bacia Representativa de Sumé

3.3.1. 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 e 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 evapotranspiração média é de 2000 mm/ano. A evaporação anual no Tanque Classe A é igual a 2900 mm.

3.3.2. Geologia

As rochas são cristalinas e fazem parte do embasamento de idade pré-cambriano, com cerca de 20% de granitos alcalinos que dão origem aos solos podzólicos, 60% de xistos, paranfibólitos e gnaiss onde se desenvolvem sobretudo os solos bruno não-cálcicos e 20% de gnaiss e quartzitos onde se desenvolvem os solos litólicos. Estes três tipos de rochas são caracterizados pela ausência de aquíferos generalizados, com exceção de algumas fendas e zonas aluviais localizadas de pouca espessura (Cadier e Freitas, 1982).

3.3.3. Solo

Os principais tipos de solos existentes na Bacia Representativa de Sumé estão mostrados na Figura 3.4. São eles: a) solos bruno não-cálcicos, b) solos bruno não-cálcico vérticos, c) solos litólicos eutróficos, d) solos aluviais, e) solos podzólicos e f) afloramentos de rochas. Os solos (a) e (b) representam aproximadamente 60 % da superfície da BRS, 20 % representam os solos (c) e 20 % são formados por solos (e).

Os solos (b) possuem profundidade média de 40 cm, são pedregosos e de permeabilidade moderada. Os solos (c) são rasos, pedregosos, de permeabilidade média a lenta. Os solos (b) são um pouco mais profundos do que os solos (a), e possuem permeabilidade lenta. Os solos (e) possuem profundidade média superior a 1,5 m, com permeabilidade rápida devido à textura média ou franco arenosa. Os solos aluviais são geralmente profundos, com permeabilidade muito rápida, textura arenosa e se apresentam normalmente nas partes planas da bacia (Cadier e Freitas, 1982).

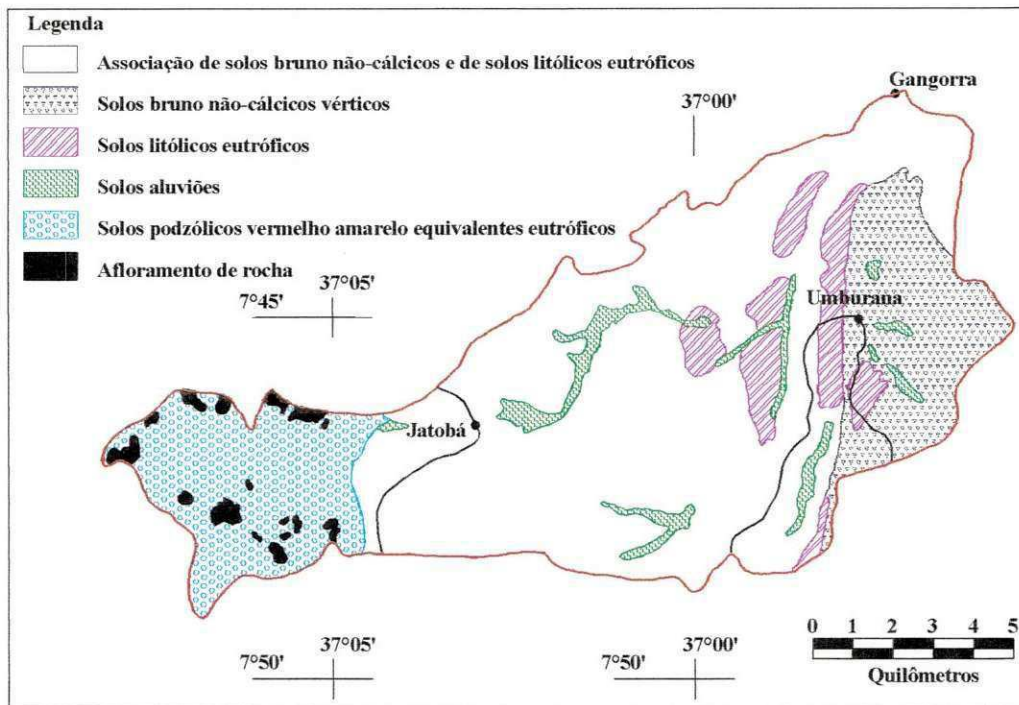


Figura 3.4. Mapa de Solos da Bacia Representativa de Sumé.

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 1 m. A Tabela 3.2 apresenta algumas propriedades dos solos dominantes na Bacia Representativa de Sumé.

3.3.4. Relevo

O relevo varia de ondulado a pouco ondulado, com declividade média inferior a 10% (Figura 3.5).

3.3.5. 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).

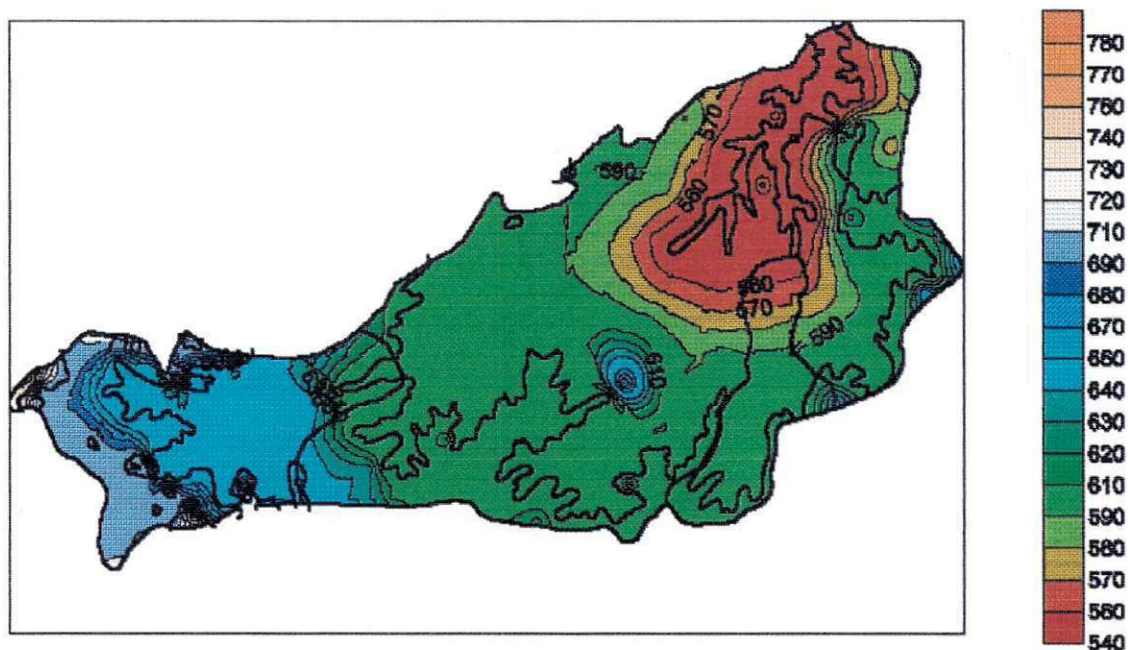


Figura 3.5. Mapa de Relevo da Bacia Representativa de Sumé.

3.3.6. 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) Umbrana: 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 3.3 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 3.2. 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 3.3. 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

3.4. A Bacia Experimental de Sumé

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 nativa 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 3.6 mostra o croqui das instalações da Bacia Experimental de Sumé.

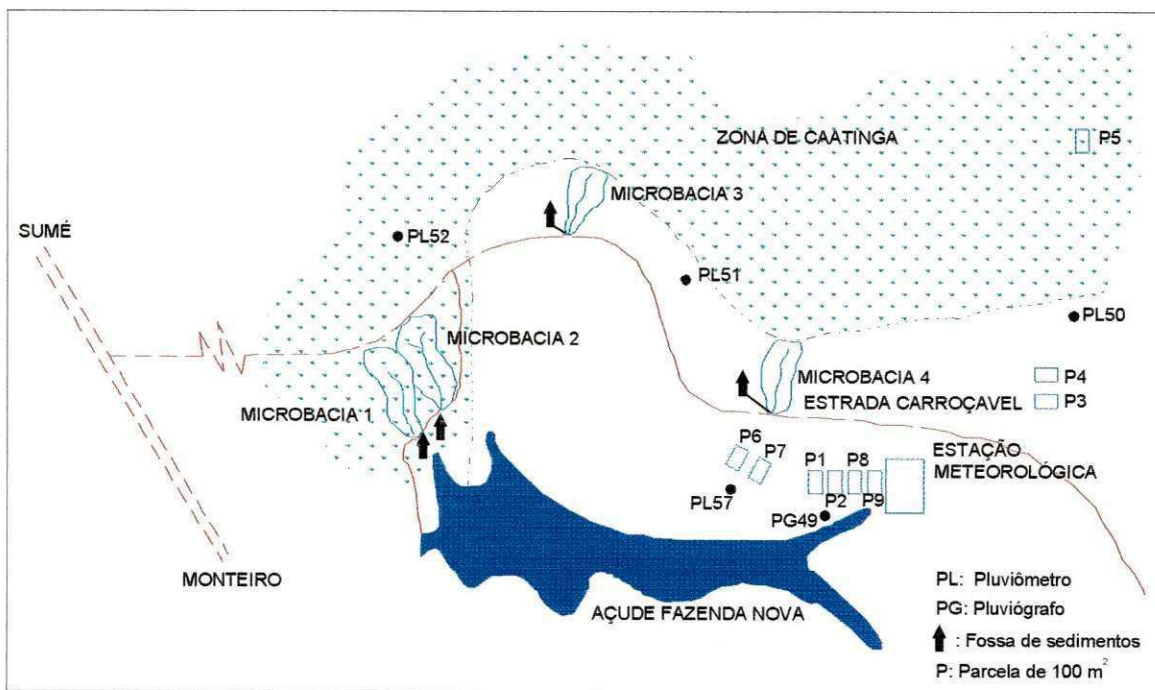


Figura 3.6. Croqui de Localização das Instalações da Bacia Experimental de Sumé.

3.4.1. 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. As características relativas a cada microbacia estão apresentadas na Tabela 3.4. Os mapas topográficos das bacias estão apresentados nas Figuras 3.7 a 3.10.

Tabela 3.4. 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 m/s no canal da fossa (Cadier et al. 1983).

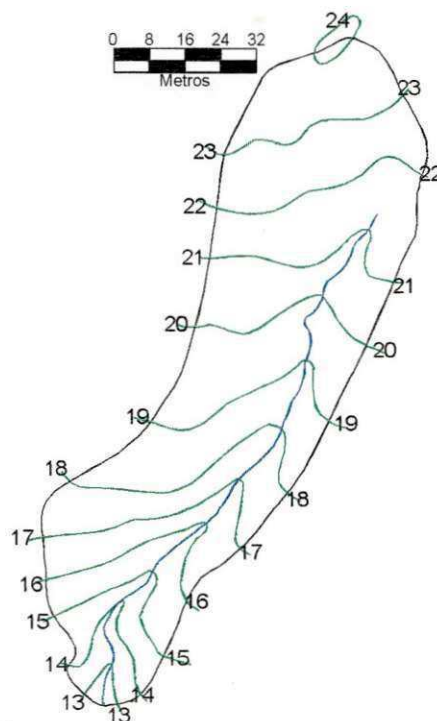


Figura 3.7. Levantamento topográfico da microbacia 1.

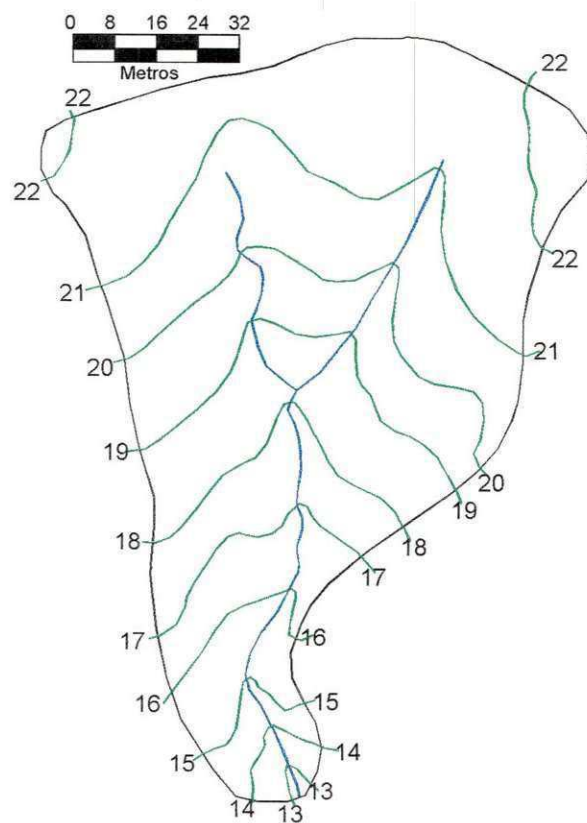


Figura 3.8. Levantamento topográfico da microbacia 2.

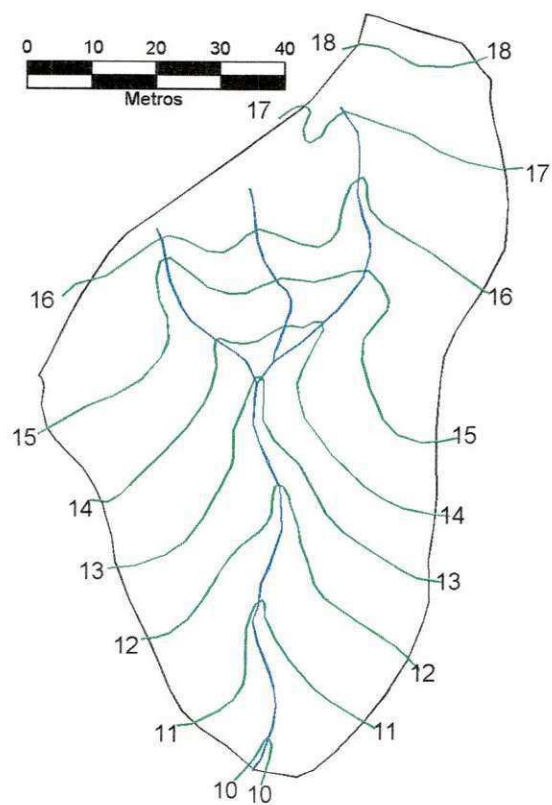


Figura 3.9. Levantamento topográfico da microbacia 3.

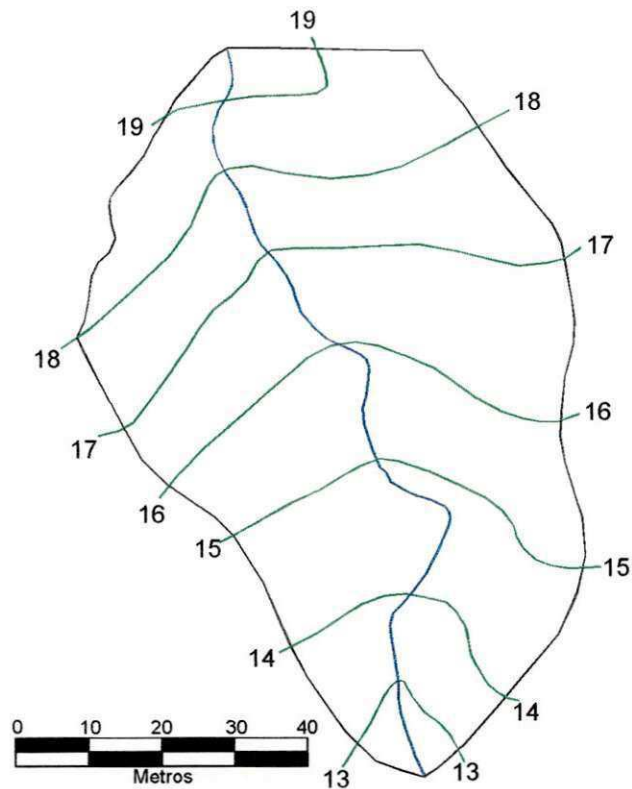


Figura 3.10. Levantamento topográfico da microbacia 4.

A fossa é pré-calibrada e o hidrograma do escoamento gerado é obtido através da curva de calibragem do vertedor e do linígrama 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 corresponde ao volume vertido. 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 3.11 apresenta a fossa de sedimentos, bem como a localização dos amostradores e do linígrafo.

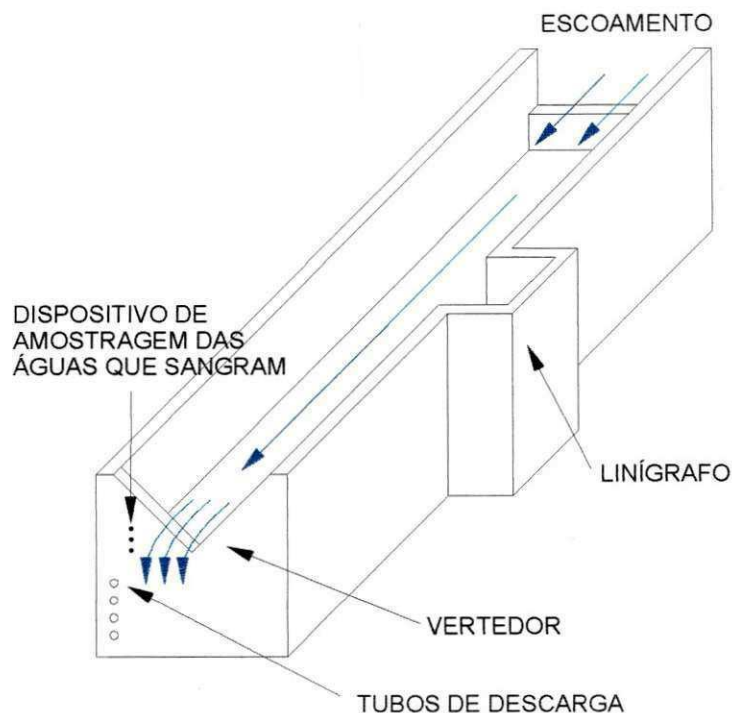


Figura 3.11. Fossa de sedimentos das microbacias.

3.4.2. Parcelas de Erosão

Na Bacia Experimental de Sumé, foram instaladas nove parcelas de erosão com diferentes declividades e cobertura vegetal, 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).

A Tabela 3.5 apresenta as características de cada parcela bem como o período de operação. Nota-se que a parcela 5 tem o mesmo tipo de cobertura vegetal das microbacias 1 e 2. As parcelas 1 e 4 são desmatadas da mesma forma das microbacias 3 e 4.

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 3.12. 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 possa 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).

Tabela 3.5. 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

3.4.3. Observações Meteorológicas

Para efetuar o registro da precipitação na Bacia Experimental de Sumé foram instalados cinco pluviômetros e três pluviógrafos nas proximidades das parcelas e microbacias. Uma estação climatológica instalada na BES possui tanque evaporimétrico tipo Classe A, termômetros, anemômetros, conjunto psicrométrico e heliógrafo. Os dados de precipitação utilizados neste trabalho foram obtidos do pluviógrafo 49, devido à sua localização central e maior período de dados disponíveis.

3.4.4. Dados Utilizados da Bacia Experimental de Sumé (BES)

Cada evento de precipitação que gerou escoamento nas parcelas recebeu um número de identificação e a denominação de “cheia”. Nos dez anos de coleta de dados foram catalogados 284 eventos. Os detalhes dos processos de medição de escoamento

superficial e produção de sedimentos nas microbacias e parcelas são encontrados em Cadier et al. (1983) e Galvão (1990).

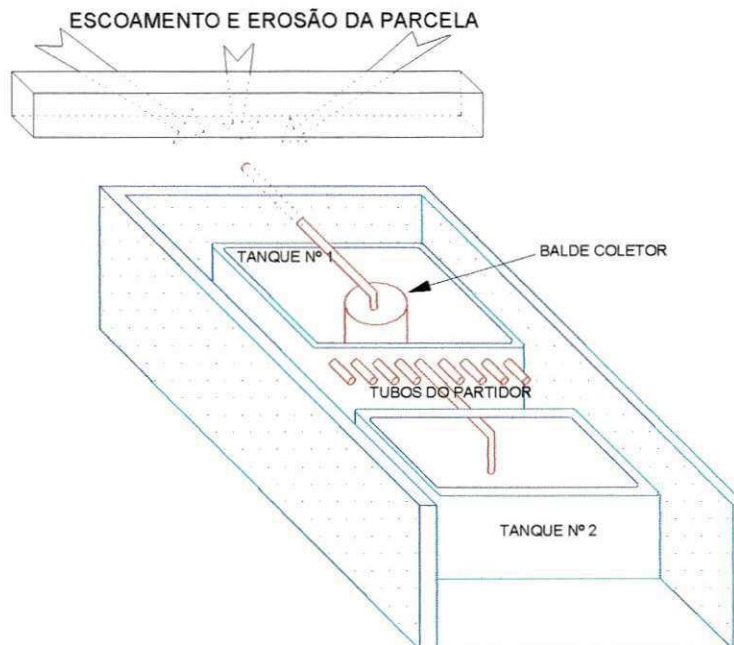


Figura 3.12. Parcela de Erosão e Tanques Coletores.

A coleta de dados hidrossedimentológicos na Bacia Experimental de Sumé compreendeu o período 1982 a 1997. Neste trabalho foram empregados os dados referentes a 264 eventos que compreendem o período 1982 a 1991. O motivo desta escolha foi que, no período 1992/1997, não foram coletados dados em alguns dos experimentos. Por indicação de Eric Cadier (SUDENE/ORSTOM), em comunicação pessoal a Galvão (1990), foram eliminados deste estudo os eventos ocorridos no período 26/03 a 08/05/1985. Neste período o regime de chuvas ultrapassou condições usuais gerando escoamento subterrâneo, fato este não considerado pelos modelos utilizados e que poderia levar a resultados fora da realidade.

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

3.5. Trabalhos Anteriores utilizando dados da BRS e da BES

Devido à necessidade de estudos detalhados sobre a região Nordeste, Nouvellot (1974) afirma que é necessário estudar uma bacia hidrográfica representativa que deve representar uma região ou zona hidrologicamente homogênea. Dessa forma, assume-se que

existe uma zona físico-climática homogênea correspondente a uma zona hidrológica teoricamente homogênea.

Nesse contexto, foram implantadas as bacias representativa e experimental de Sumé em uma área conhecida como cariri paraibano, uma região semi-árida da Paraíba. Os primeiros resultados encontrados em estudos nas Bacias Representativa e Experimental de Sumé, foram apresentados por Cadier e Freitas (1982) e Cadier et al. (1983). Nestas pesquisas, foram realizadas análises preliminares dos dados obtidos nos primeiros anos do estudo, procurando evidenciar tendências no comportamento dos processos de escoamento superficial e erosão do solo.

Gomes et al. (1987) e Srinivasan et al. (1988), com base nos dados coletados na BES, efetuaram uma análise das relações entre escoamento superficial, precipitação e umidade do solo. Foi evidenciada a importância da cobertura vegetal sobre os processos de escoamento e erosão. Nesses trabalhos, foi verificada a influência da umidade do solo sobre o escoamento e sobre a erosão. O índice adotado para quantificar a umidade do solo foi o de Kohler, o qual relaciona a umidade do solo com o total precipitado anteriormente ao dia considerado. Constatou-se que quanto maior for o valor deste índice, maior será a parcela da precipitação a ser transformada em escoamento superficial. Utilizando este índice, os gráficos que relacionam a chuva com a vazão podiam ser mais bem caracterizados. Sabe-se que existe uma relação entre umidade do solo e a erosividade de chuva. Essa relação ficou mais bem caracterizada quando o índice de erosividade de chuva, $EI30$ (Wischmeier e Smith, 1960), foi utilizado como variável independente.

Gomes et al. (1987), Srinivasan et al. (1988) e Molinier et al. (1988) realizaram experiências com o objetivo de avaliar os efeitos das diferentes escalas de produção. Inicialmente foi testada uma relação de regressão linear entre lâmina observada em parcelas de 1 m^2 , operadas sob chuva artificial, e o índice de umidade de Kohler. Posteriormente foram testadas relações de transposição entre parcelas de 100 m^2 e uma sub-bacia de 10 ha, operadas sob chuva natural. Na comparação do escoamento nas diversas escalas foi constatado que a lâmina do escoamento diminui quando a área aumenta.

Molinier et al. (1989a) propôs uma outra relação entre chuva e escoamento, com base nos dados provenientes da Bacia Experimental de Sumé. Foram consideradas as características dos diversos estratos que compõem o solo e a sua influência sobre o processo de infiltração. Foram definidos os diversos horizontes que compõem o solo da

Bacia Experimental de Sumé, assim como os fluxos que ocorrem nos horizontes do solo. As relações obtidas foram denominadas de modelo vertical, tendo sido apontado como vantagem do seu uso o fato do mesmo representar os principais componentes do balanço hídrico. Outro estudo realizado na Bacia Experimental de Sumé foi desenvolvido por Montenegro (1990), o qual procurou um melhor entendimento do processo de repartição da chuva entre infiltração e escoamento superficial. Montenegro (1990) analisou a influência dos horizontes do solo sobre a infiltração. Foram empregadas nessa pesquisa medições com tensiômetros e sondas de nêutrons.

Modelos hidrossedimentológicos podem fornecer importantes informações sobre o impacto no comportamento de uma bacia hidrográfica devido a interferências antrópicas. Neste contexto, Galvão (1990) aplicou dois modelos hidrológicos às microbacias da Bacia Experimental de Sumé. O primeiro modelo empregado foi o MODIBI (Ibiza, 1983), conceitual, global, cuja simulação é efetuada em escala diária. O segundo modelo, WESP (*Watershed Erosion Simulation Program*), desenvolvido por Lopes (1987), é baseado na física dos processos de infiltração, escoamento superficial e erosão/deposição. O modelo simula eventos e não considera a evaporação durante o evento. A bacia precisa ser discretizada em planos e canais. Os resultados obtidos mostraram que a aplicação destes modelos à bacia experimental era promissora, mas as variações existentes entre os valores do parâmetro de umidade/sucção do solo do modelo WESP deveriam ser mais bem explicadas e estudadas, bem como a variação dos parâmetros de erosão do solo.

Santos (1994) implementou um algoritmo de otimização para ajustar os parâmetros referentes ao escoamento superficial e produção de sedimentos no modelo WESP, baseando-se no método de Powell (1964). A partir dos valores obtidos pela calibração, foi testada uma relação de regressão entre o parâmetro de infiltração do modelo e o número de dias sem chuvas.

A quantidade de elementos e a forma de discretização da bacia influenciam o cálculo do escoamento superficial e por consequência, o resultado da produção de sedimentos calculada pelo modelo. Para verificar qual seria a configuração mais adequada na discretização de uma bacia, Santos (1994) discretizou a microbacia 3 em três formas: uma com 23 elementos, outra com 10 elementos e outra com 4 elementos. Foi verificado que a discretização com 10 elementos fornecia melhores resultados, ou seja, a variação dos parâmetros do modelo foi menor utilizando esta discretização do que quando foram utilizadas as outras duas.

Pereira (1997) aplicou o modelo WESP às parcelas 1 e 4 da Bacia Experimental de Sumé e definiu uma relação exponencial decrescente entre o parâmetro de umidade/sucção da equação de Green e Ampt e o parâmetro de erodibilidade pelo fluxo superficial do modelo de erosão. A aplicação dos valores fornecidos pela função, mostrou que a mesma forneceu resultados satisfatórios, apesar do baixo valor do coeficiente de correlação.

Figueiredo (1998a) aplicou o modelo SHETRAN (*Système Hydrologique Eropéen*) à Bacia Representativa de Sumé e à Bacia Experimental de Sumé. Os principais objetivos eram estudar o efeito de escala sobre os parâmetros do modelo e os efeitos no escoamento superficial e produção de sedimentos com o uso do solo. Foi constatado que o coeficiente de rugosidade de Manning varia com a escala da bacia.

A utilização de modelos físicos fez surgir uma grande necessidade de obtenção de informações sobre a bacia a ser modelada. Dessa forma, métodos que forneçam os valores de parâmetros a partir de algumas características físicas da bacia seriam de grande importância para a aplicação de modelos hidrossedimentológicos físicos. Com esse objetivo, Figueiredo (1998b) discute técnicas para a estimativa de parâmetros físicos do solo da Bacia Experimental e Representativa de Sumé com base em informações como textura, número de dias secos antecedentes ao evento, a intensidade e duração do evento entre outros. Figueiredo (1998b) utilizou os métodos de Saxton et al. (1986) e Rawls e Brakensiek (1989) para a determinação da condutividade hidráulica saturada (K_s). Com base nos valores observados obtidos por Molinier et al. (1987, 1989a), foi concluído que as metodologias são aplicáveis principalmente pelo método de Saxton et al. (1986), fazendo-se necessário, no entanto, maiores investigações utilizando-se modelos de base física.

Aragão (2000) aplicou o modelo WESP às parcelas e às microbacias desmatadas da Bacia Experimental de Sumé, utilizando praticamente todos os eventos da base de dados disponíveis de escoamento superficial e produção de sedimentos, com o objetivo de correlacionar os parâmetros calibráveis do modelo com índices de umidade antecedente. A melhor correlação encontrada foi entre o parâmetro N_s da equação de infiltração de Green e Ampt e o índice de Kohler com o coeficiente igual a 0,6. No entanto, como o parâmetro N_s está relacionado aos valores do potencial mátrico e da umidade inicial do solo, e o potencial mátrico aumenta com a diminuição da umidade do solo, possivelmente não haveria nenhuma tendência clara entre o valor de N_s e qualquer índice de umidade antecedente do solo. O modelo foi validado utilizando três metodologias diferentes, obtendo bons resultados.

4. MODELOS UTILIZADOS NA PESQUISA

Os modelos utilizados nesta pesquisa foram o modelo Kineros2, uma versão modificada do modelo Kineros (Woolhiser et al., 1990) e o modelo WESP (Lopes, 1987). São modelos hidrossedimentológicos, físicos, distribuídos, orientados a evento, simulam os processos de infiltração, escoamento superficial e erosão do solo. A bacia é representada nos modelos como uma cascata de planos e de canais. Inicialmente o modelo Kineros2 é descrito, e em seguida, o modelo WESP.

4.1. Modelo Kineros2

4.1.1. Modelo de Infiltração

O modelo de infiltração permite uma redistribuição de água no solo, incluindo a recuperação da capacidade de infiltração durante os intervalos entre as chuvas, determinando as taxas de infiltração durante e após esse intervalo sem chuva. A taxa de infiltração f_c é função da lâmina acumulada de infiltração I e de alguns parâmetros básicos que descrevem as propriedades de infiltração no solo: condutividade hidráulica saturada efetiva K_s (m/s), valor efetivo do potencial de capilaridade G (m), porosidade do solo ϕ , e índice de distribuição dos tamanhos dos poros λ . Há também um parâmetro opcional (C_v), que descreve a variação aleatória espacial da condutividade hidráulica saturada do solo, assim como um parâmetro que representa a porcentagem de rochas, $ROCK$. Existe também uma variável que depende do evento de precipitação, a saturação relativa inicial do solo S_i (m^3/m^3), cujo valor é dado por θ_i/ϕ , onde θ_i é o índice de umidade inicial do solo.

O cálculo da taxa de infiltração f_c (m/s) é feito pela seguinte equação (Smith e Parlange, 1978):

$$f_c = K_s \left[1 + \frac{\alpha}{e^{\alpha I/B} - 1} \right] \quad (4.1)$$

onde $B = (G + h)(\theta_s - \theta_i)$, combinando os efeitos do potencial efetivo de capilaridade, G , profundidade do fluxo, h (m), e da capacidade de armazenamento de água do solo, $\Delta\theta = (\theta_s - \theta_i)$, onde θ_s é a umidade de saturação do solo (m^3/m^3). O parâmetro α representa o tipo de solo; α se aproxima de 0 para uma areia, e neste caso, a Eq. (4.1) aproxima-se à equação de Green-Ampt; α se aproxima de 1 para um solo franco bem uniforme, neste caso a Eq. (4.1) representa a equação de infiltração de Smith-Parlange (Smith e Parlange, 1978). A maioria dos tipos de solo é melhor representada por um valor de α igual a 0,85, sendo este o valor adotado no modelo (Smith et al., 1993).

O valor efetivo do potencial de capilaridade G é dado pela seguinte expressão:

$$G = \int_{-\infty}^0 \frac{K(\Psi)}{K_s} d\Psi \quad (4.2)$$

onde Ψ é o potencial mátrico do solo (m).

O modelo de infiltração também leva em consideração a recuperação da capacidade de infiltração do solo, a qual ocorre em períodos em que não há precipitação, ou em períodos em que a precipitação não produz escoamento, geralmente quando a intensidade de precipitação é inferior à permeabilidade do solo. A equação utilizada no modelo para o cálculo da variação da umidade do solo nestes períodos é:

$$\frac{d\theta_0}{dt} = \frac{\Delta\theta_{i0}}{I} \left[r - K_i - \left(K(\theta_0) + \frac{\beta p K_s \Delta\theta_{i0} G(\theta_i, \theta_0)}{I} \right) \right] \quad (4.3a)$$

onde:

$\Delta\theta_{i0} = \theta_0 - \theta_i$ é diferença de umidade do solo acima e abaixo da frente de molhamento;

I é a lâmina de infiltração acumulada (m);

r é a taxa de entrada de água na superfície do solo durante a redistribuição de água no solo, a qual pode ser menor do que a permeabilidade K_s , negativa (devido à evaporação) ou zero

$\beta = \frac{1}{Z(\theta_0 - \theta_i)} \int_0^Z (\theta - \theta_i) dz = 0,85$ é um fator de forma;

Z é a profundidade da frente de molhamento;

p é um fator efetivo de profundidade ($p = 2$ para $r = 0$; $p = 1,5$ para $0 < r < K_s$; $p = 3$ para $r < 0$);

$G(\theta_i, \theta_0)$ é o valor efetivo do potencial de capilaridade na frente de redistribuição de água (m).

Nestes períodos, onde a umidade do solo está abaixo da umidade de saturação, a equação utilizada para calcular a condutividade hidráulica do solo é (Brooks e Corey, 1964):

$$K(\theta) = K_s \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{3+2/\lambda} \quad (4.3b)$$

onde:

θ é a umidade do solo no período de redistribuição de água ;

K_s é a permeabilidade efetiva do solo (m/s);

θ_r é a umidade residual do solo;

θ_s é a umidade do solo na saturação;

λ é o parâmetro de distribuição do tamanho dos poros (parâmetro de Brooks e Corey).

Maiores detalhes sobre o modelo de redistribuição de água no solo, utilizado no modelo Kineros2, pode ser obtida em Smith et al. (1993) e Corradini et al. (1994).

4.1.2. Fluxo nos 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:

$$Q = ah^m \quad (4.4)$$

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 a e m são dados por: $a = S^{1/2}/n$ e $m = 5/3$, onde S é a declividade e n é o coeficiente de rugosidade de Manning.

A Eq. (4.4) é utilizada juntamente com a equação da continuidade:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q(x,t) \quad (4.5)$$

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

Para o modelamento do fluxo nos planos, a Eq. (4.4) é substituída na Eq. (4.5), onde se obtém:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + amh^{m-1} \frac{\partial h}{\partial x} = q(x,t) \quad (4.6)$$

As equações de onda cinemática, que são simplificações das equações de Saint-Venant, não preservam todas as suas propriedades, tais como as utilizadas em modelos difusos, os quais consideram os efeitos de jusante sobre o escoamento proveniente de montante, e como nos modelos hidrodinâmicos, onde se consideram as equações de Saint-Venant em sua forma geral, ou seja, incluindo os termos que representam a gravidade, o atrito, a pressão e a inércia do fluxo (Woolhiser et al., 1990).

As equações de onda cinemática são resolvidas no modelo usando um esquema implícito de diferenças finitas definido em quatro pontos, em relação à distância e ao tempo.

4.1.3. Condições de Fronteira

A profundidade de fluxo na fronteira à montante dos elementos deve ser especificada para solucionar a Eq. (4.6). Se essa fronteira fizer parte do divisor de águas da bacia, a condição de fronteira será:

$$h(0,t) = 0 \quad (4.7a)$$

Se um plano estiver contribuindo à montante para outro plano, a condição de fronteira será:

$$h(0,t) = \left[\frac{\alpha_u h_u(L,t)^{m_u} W_u}{aW} \right]^{\frac{1}{m}} \quad (4.7b)$$

onde $h_u(L,t)$ é a profundidade na fronteira inferior do plano contribuinte no tempo t , L é o comprimento e W_u é a largura do plano contribuinte, α_u é o parâmetro declividade/rugosidade do plano contribuinte, m_u é um expoente referente ao plano contribuinte, e a , m e W são referentes ao plano à jusante.

4.1.4. Recessão e Microtopografia

A microtopografia do relevo pode ter grande importância na forma do hidrograma (Woolhiser et al., 1996). O efeito é mais pronunciado durante a recessão, quando a parte do solo coberta pelo fluxo de água determina a oportunidade para a perda de água pela infiltração. O modelo trata este relevo supondo que na sua geometria existe uma elevação máxima, e que a área coberta por água varia linearmente com a diferença entre este valor e o nível de água. A geometria da microtopografia é determinada especificando dois parâmetros que representam o espaçamento médio (parâmetro *spacing*, m) entre os picos e o valor médio (parâmetro *relief*, m) desses picos nessa microtopografia.

4.1.5. Fluxo nos Canais

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

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q(x,t) \quad (4.8)$$

onde A é a área da seção transversal (m^2), Q é a vazão no canal (m^3/s), e o $q(x,t)$ 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:

$$Q = aR^{m-1}A \quad (4.9)$$

onde R é o raio hidráulico (m), $a = S^{1/2}/n$ e $m = 5/3$, onde S é a declividade e n é o coeficiente de rugosidade de Manning.

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.

4.1.6. Modelagem da Erosão nos Planos e Canais

A equação geral que descreve a dinâmica dos sedimentos dentro do fluxo é a equação de balanço de massa, similar àquela para o fluxo de água (Bennett, 1974):

$$\frac{\partial(AC_s)}{\partial t} + \frac{\partial(QC_s)}{\partial x} - e(x,t) = q_s(x,t) \quad (4.10)$$

onde C_s é a concentração de sedimento no fluxo (m^3/m^3), Q é a vazão hidráulica (m^3/s), A é área da seção transversal do plano ou canal (m^2), e é a taxa de erosão do solo (m^2/s) e q_s é taxa de entrada lateral de sedimento no fluxo nos canais ($m^3/s/m$).

Nos planos, a erosão é modelada como sendo composta por dois componentes principais: a erosão provocada pelo impacto das gotas de chuva no solo, e pela erosão (ou deposição) hidráulica, resultado da interação entre a força de cisalhamento do fluxo e a tendência das partículas de solo no fluxo se depositarem sob efeito da força da gravidade. A erosão resultante é o somatório da taxa da erosão provocada pelo impacto das gotas de chuva e_s e da erosão hidráulica e_h :

$$e = e_s + e_h \quad (4.11)$$

A erosão por impacto das gotas de chuva é estimada pela seguinte expressão (Meyer e Wischmeier, 1969):

$$e_s = c_f e^{-c_h h} i^2 \quad (4.12)$$

na qual i é a intensidade da precipitação (m/s), o c_f é um coeficiente a ser determinado experimentalmente ou por calibração, que está relacionado às propriedades do solo e da superfície, e $e^{-c_h h}$ é um fator que representa a redução na erosão por impacto das gotas de chuva devido ao aumento da lâmina d'água. O parâmetro c_h representa a efetividade do amortecimento da superfície da água, fixado no modelo como sendo igual a 656. A erosão hidráulica (e_h) é estimada como sendo linearmente dependente da diferença entre a capacidade de transporte do fluxo (concentração de equilíbrio) e a concentração real de sedimento, e é dada pela equação:

$$e_h = c_g (C_m - C_s) A \quad (4.13)$$

onde C_m é a concentração de equilíbrio na capacidade de transporte, $C_s = C_s(x, t)$ é a concentração real de sedimentos no fluxo, e c_g é um coeficiente da taxa de transferência de sedimentos (s^{-1}), e é calculado por:

$$c_g = c_o \frac{v_s}{h} \text{ se } C_s \leq C_m \text{ (erosão) ou } c_g = \frac{v_s}{h} \text{ se } C_s > C_m \text{ (deposição)} \quad (4.14)$$

onde c_o é um coeficiente que reflete à coesão do solo e v_s é a velocidade de queda da partícula (m/s).

O modelo utiliza a fórmula de capacidade de transporte de Engelund e Hansen (Engelund e Hansen, 1967), com a inclusão de um limite crítico do valor da potência unitária do fluxo $\Omega = uS$ (*Unit Stream Power*) igual a 0,004 m/s, onde u é a velocidade do fluxo (m/s) e S é a declividade, para estender a sua aplicabilidade a fluxos rasos. A equação para o cálculo da concentração de sedimentos na capacidade de transporte é a seguinte (Engelund e Hansen, 1967):

$$C_m = \frac{0,05}{d(S_s - 1)^2} \sqrt{\frac{Sh}{g}} (\Omega - 0,004) \quad (4.15)$$

onde g é a aceleração da gravidade (m/s^2), S_s é a densidade relativa do sedimento, igual a 2,65, d é o diâmetro do sedimento (m), h é a profundidade do fluxo (m) e as outras variáveis já foram definidas anteriormente.

A velocidade de queda da partícula é calculada pela seguinte equação:

$$v_s^2 = \frac{4}{3} \frac{g(S_s - 1)d}{C_D} \quad (4.16)$$

onde C_D é o coeficiente de arrasto da partícula, que é uma função do número de Reynolds, e é calculado pela seguinte expressão:

$$C_D = \frac{24}{R_n} + \frac{3}{\sqrt{R_n}} + 0.34 \quad (4.17)$$

onde R_n é o número de Reynolds, calculado como $R_n = v_s d / \nu$, onde ν é a viscosidade cinemática da água. A velocidade de queda da partícula é encontrada resolvendo simultaneamente as equações (4.16) e (4.17).

A simulação do transporte de sedimentos para os canais é realizada de maneira semelhante à simulação do transporte de sedimentos nos planos. A principal diferença nas equações é que a erosão por impacto das gotas de chuva é desprezada, e o termo q_s torna-se importante na representação da entrada de fluxo lateral.

4.2. Parâmetros de Entrada do Modelo Kineros2

4.2.1. 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;

4.2.2. Parâmetros dos Planos

1. **Identifier:** número de identificação do plano;
2. **Upstream:** número de identificação do plano à montante (se houver);
3. **Length:** comprimento (metros ou pés);
4. **Width:** largura (metros ou pés);
5. **Slope:** declividade;
6. **Manning:** coeficiente de rugosidade de Manning;
7. **Chezy:** coeficiente de Chezy;

8. **Relief**: altura média do relevo da microtopografia (milímetros ou polegadas)
9. **Spacing**: distância média do relevo da microtopografia (metros ou pés)
10. **Interception**: interceptação vegetal (milímetros ou polegadas)
11. **Canopy Cover**: fração da superfície ocupada por vegetação
12. **Saturation**: saturação inicial relativa do solo, razão entre a umidade inicial e porosidade do solo;
13. C_s : coeficiente de variação da condutividade hidráulica saturada efetiva;
14. K_s : condutividade hidráulica saturada efetiva (mm/h ou polegadas/h);
15. G : valor efetivo do potencial de capilaridade dado pela Equação 4.2 (mm ou polegadas);
16. **Distribution** (λ): índice de distribuição do tamanho dos poros (índice de Brooks e Corey);
17. **Porosity**: porosidade do solo;
18. **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;
19. **Splash** (c_f): parâmetro da Equação 4.12, a qual representa a erosão causada pelo impacto das gotas de chuva;
20. **Cohesion** (c_o): coeficiente de coesão do solo, Equação 4.14;
21. **Fractions**: fração de cada classe de diâmetros representativos do solo.

4.2.3. 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. C_v : coeficiente de variação da condutividade hidráulica saturada efetiva;
11. K_s : condutividade hidráulica saturada efetiva (mm/h ou polegadas/h);
12. G : valor efetivo do potencial de capilaridade dado pela Equação 4.2 (mm ou polegadas);
13. **Distribution** (λ): índice de distribuição do tamanho dos poros (índice de Brooks e Corey);
14. **Porosity**: porosidade do solo;
15. **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;
16. **Cohesion** (c_o): coeficiente de coesão do solo, Equação 4.14;
17. **Fractions**: fração de cada classe de diâmetros representativos do solo.

4.3. O modelo WESP

4.3.1. Modelo de Infiltração

O modelo de infiltração de Green e Ampt (1911) utiliza parâmetros físicos do solo que poderão ser determinados através de experimentos efetuados no campo ou através de características do solo. A equação original foi derivada a partir da equação de Darcy através das seguintes hipóteses: (1) que a superfície do solo é coberta por uma lâmina de água cuja altura é desprezível; (2) que existe uma frente de molhamento distinta e definível; (3) a frente de molhamento pode ser vista como um plano que separa uma zona uniformemente molhada ou úmida de uma zona com umidade inicial θ_i ; (4) uma vez que o solo esteja molhado, o conteúdo de água na zona úmida não varia enquanto existir infiltração (o que faz com que o valor da condutividade hidráulica na zona úmida não varia com o tempo durante a infiltração); (5) existe uma pressão negativa na frente de molhamento.

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

$$f_c = K_s \left[1 + \frac{N_s}{I} \right] \quad (4.18)$$

onde f_c é a taxa de infiltração (m/s), K_s é a condutividade hidráulica efetiva do solo (m/s), I é a lâmina acumulada de infiltração (m), N_s é o potencial de capilaridade, associado à frente de molhamento (m), t é o tempo (s).

O acúmulo de infiltração pode ainda ser expresso como:

$$I = (\theta_s - \theta_i)Z \quad (4.19)$$

onde θ_s é a umidade do solo na saturação (m^3/m^3), θ_i é a umidade inicial do solo (m^3/m^3) e Z é a profundidade da frente de molhamento a partir da superfície (m).

O potencial de capilaridade N_s pode ser calculado como:

$$N_s = (1 - S_e)\phi_e G \quad (4.20a)$$

$$N_s = (\theta_s - \theta_i)G \quad (4.20b)$$

onde S_e é a saturação efetiva relativa e varia entre 0 e 1 e é dada por θ_i/θ_s , ϕ_e é a porosidade efetiva e varia entre 0 e 1, G é valor efetivo do potencial de capilaridade na frente de molhamento (m) dado pela Equação 4.2.

Chu (1978) utilizou o modelo de Green e Ampt para uma chuva não permanente e obteve uma boa relação entre o escoamento calculado e o escoamento observado. Para este caso, o tempo de empoçamento foi determinado como sendo igual a:

$$t_p = t_{n-1} + \frac{\frac{K_s N_s}{i - K_s} - P(t_{n-1}) + R(t_{n-1})}{i} \quad (4.21)$$

onde, t_p é o tempo de empoçamento (s), i é a intensidade de precipitação (mm/h), P é a chuva acumulada (mm), R é o excesso de precipitação acumulado (mm) e t_{n-1} é o tempo no início do intervalo considerado (h), e as outras variáveis são as mesmas já descritas.

4.3.2. Escoamento Superficial

No modelo WESP o escoamento superficial (nos planos e nos canais) é considerado unidimensional, não permanente e espacialmente variado sendo este escoamento resultante da propagação do excesso de precipitação em relação à infiltração.

Além da consideração de escoamento unidimensional, outras suposições são feitas na avaliação deste componente (Tucci, 1998): o fluxo é gradualmente variado, o leito é fixo e a declividade é pequena, o fluido é incompressível e de viscosidade constante, a

distribuição de pressão é aproximadamente hidrostática, o momento gerado pelo fluxo lateral é desprezível, o coeficiente de rugosidade do escoamento pode ser obtido através de fórmulas e coeficientes de resistência utilizados para o escoamento uniforme.

4.3.2.1. Escoamento nos Planos e nos Canais

As equações básicas para o cálculo do escoamento superficial nos planos e canais no modelo WESP são as mesmas utilizadas no modelo Kineros2, visto que o desenvolvimento do componente hidráulico do modelo WESP foi baseado no mesmo componente no modelo Kineros2.

4.3.3. Componente Erosão-Deposição

A modelagem da produção de sedimentos no modelo WESP é semelhante àquela apresentada no modelo Kineros2, dessa forma, serão descritas somente as diferenças entre o modelo de erosão/transporte/deposição desses dois modelos

O desenvolvimento da modelagem deste componente é baseado nos trabalhos de Einstein (1968), Bennet (1974), Foster (1982), Croley (1982), Mehta (1983) e Lane e Shirley (1985). A resolução da equação da conservação de massa é feita através de um esquema implícito de diferenças finitas.

Tanto nos planos como nos canais a equação usada para descrever a dinâmica dos sedimentos é a equação do balanço de massa (Eq. 4.10).

4.3.3.1. Erosão nos planos

A erosão dos sedimentos da superfície do solo, bem como a deposição dos que estão em movimento, pode ocorrer simultaneamente a taxas diferentes. Desta forma, a concentração de sedimentos é determinada pela magnitude relativa desses processos. A erosão de sedimentos aumenta a concentração, enquanto que a deposição diminui essa concentração.

A água que flui sobre a superfície do solo, exerce uma força sobre as partículas que tendem a colocá-las em movimento. Para os sedimentos de diâmetros relativamente grandes, a força de resistência é devida ao peso das partículas. Para os sedimentos finos (argilas e siltes), a resistência é devida a coesão entre as mesmas (Foster, 1982). A entrada em movimento dos sedimentos erodidos pela tensão de cisalhamento pode ser representada por uma expressão que relaciona a erosão devido ao fluxo superficial com uma potência da

tensão de cisalhamento efetiva média agindo sobre a superfície do solo (Rovey et al., 1977 e Foster, 1982).

$$e_h = K_r \tau^{1.5} \quad (4.22)$$

onde K_r é um fator de erodibilidade do solo pelo fluxo superficial ($\text{kg}\cdot\text{m}/\text{N}^{1.5}\cdot\text{s}$) e $\tau(x,t)$ é a tensão de cisalhamento média “efetiva” (N/m^2).

Foster (1982) propôs uma relação para a erosão por impacto das gotas de chuva, para uma precipitação uniforme. Esta equação foi posteriormente modificada por Lane e Shirley (1985), tomando a seguinte forma:

$$e_s = K_i i r_e \quad (4.23)$$

onde K_i é um coeficiente de erodibilidade do solo por impacto da chuva, ($\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^4$); $i(t)$ é a intensidade de chuva, (m/s); $r_e(x,t)$ é o excesso de precipitação (m/s).

A deposição dos sedimentos é proporcional à concentração média de sedimentos e à velocidade de que queda das partículas. O coeficiente de proporcionalidade desta expressão depende das propriedades do solo e do fluido, ou seja:

$$d = \varepsilon_p v_s C_s \quad (4.24)$$

onde ε_p é um coeficiente de deposição que depende das propriedades do solo e do fluido, (adimensional); v_s é a velocidade de queda da partícula, (m/s); $C_s(x,t)$ é a concentração de sedimentos em transporte (kg/m^3).

Para o cálculo da velocidade de queda, Lopes (1987) utilizou a expressão proposta por Rubey:

$$v_s = F_0 \sqrt{gd \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)} \quad (4.25)$$

onde

$$F_0 = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36\nu^2}{gd^3 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)}} - \sqrt{\frac{36\nu^2}{gd^3 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)}} \quad (4.26)$$

em que γ_s é o peso específico dos sedimentos (N/m^3); γ é o peso específico de água (N/m^3); ν é a viscosidade cinemática da água (m^2/s); d é o tamanho representativo do sedimento (m); g é a aceleração da gravidade (m/s^2).

As condições iniciais e de fronteira são as seguintes:

$$C_s(0,t) = \frac{K_i i(t) r_e(t)}{\varepsilon_p v_s + r_e(t)}, \text{ para } t \geq t_p \quad (4.27)$$

$$C_s(x,t) = \frac{K_i i(t_p) r_e(t_p)}{\varepsilon_p v_s + r_e(t_p)}, \text{ para } x \geq 0 \quad (4.28)$$

onde t_p é o tempo de empoçamento (s).

4.3.3.2. Erosão nos Canais

O modelo de erosão estima a carga total, não diferenciando o que é carga do leito ou carga em suspensão. Considera-se simultaneamente a deposição e o desprendimento ao longo do canal, como também a entrada lateral dos sedimentos provenientes dos planos da bacia.

Para modelar a entrada de sedimento pelo fluxo nos canais, foi utilizada a expressão desenvolvida para o cálculo da capacidade de transporte da carga do leito citada por Croley (1982) e Foster (1982):

$$e_h = a(\tau - \tau_c)^{1.5}, \text{ para } \tau \geq \tau_c \quad (4.29)$$

$$e_h = 0, \text{ para } \tau \leq \tau_c \quad (4.30)$$

A tensão de cisalhamento média é obtida pela relação:

$$\tau = \gamma R S_f \quad (4.31)$$

A tensão de cisalhamento crítica é calibrada pela expressão:

$$\tau_c = \delta(\gamma_s - \gamma)d \quad (4.32)$$

onde R é o raio hidráulico (m), a é o fator de erodibilidade nos canais, um coeficiente de desprendimento de sedimento, ($\text{kg.m}^2/\text{N}^{1.5}.\text{s}$); $\tau(x,t)$ é a tensão de cisalhamento média (N/m^2); τ_c é a tensão de cisalhamento crítica média para o tamanho representativo das partículas (N/m^2); δ é um coeficiente de proporcionalidade para tensão de cisalhamento crítica, dependente das propriedades do fluxo e dos sedimentos (adimensional), e as outras variáveis já foram descritas.

Uma vez que a tensão de cisalhamento atinge o valor crítico, os sedimentos no leito entram em movimento Lopes (1987).

A deposição nos canais é considerada proporcional à concentração e à velocidade de queda efetiva dos sedimentos, ou seja:

$$d = \varepsilon_c T_w v_s C_s \quad (4.33)$$

onde ε_c é o coeficiente de deposição para os canais (adimensional); $T_w(x,t)$ é a largura de topo do fluxo (m), as outras variáveis já foram descritas.

4.4. Parâmetros de Entrada do Modelo WESP

A primeira linha do arquivo contém informações que são comuns para toda a bacia:

1. **Durat**: duração do evento (s);
2. **Dt**: intervalo de tempo para os cálculos numéricos (s);
3. **Clen** : comprimento característico da bacia (m);
4. **Abasin**: área da bacia (m²).

A segunda linha do arquivo também contém informações que são comuns para toda a bacia:

1. **Visc**: viscosidade cinemática da água;
2. **Grav**: aceleração da gravidade (m/s²);
3. **Gamwat**: peso específico da água (N/m³);
4. **Gamsed**: peso específico dos sedimentos (N/m³);
5. **Power**: o expoente n da equação da velocidade de fluxo.

A partir da terceira linha, as informações ocorrem em grupos de três linhas e dependem das características dos elementos (planos ou canais):

1. **Xlenght**: comprimento do elemento na direção do escoamento (m)
2. **Width**: largura do elemento (m). Quando este parâmetro é igual a zero, o elemento é identificado como um canal.
3. **Slope**: declividade do elemento;
4. **Alpha**: razão entre a raiz quadrada da declividade e o número de Manning.

Caso o elemento seja um plano a segunda linha do grupo conterá as seguintes informações:

1. **Ntop**: número do elemento que contribui imediatamente à montante do elemento atual;
2. **K_s** : condutividade hidráulica saturada (m/s);
3. **N_s** : potencial de sucção (m) - parâmetro de umidade/tensão ou sucção capilar;
4. **M** : índice do padrão de chuva. Utilizado na rotina de leitura do arquivo de chuva;

Caso o elemento seja um plano a terceira linha do grupo conterà as seguintes informações:

1. **Theta**: fator de peso espacial nas equações numéricas;
2. **Omega**: fator de peso temporal nas equações numéricas;
3. **Sedsize**: tamanho característico do sedimento (m);
4. **K_i** : parâmetro de erodibilidade pelo impacto das gotas de chuva (kg.s/m^4);
5. **K_R** : parâmetro de erodibilidade pelo fluxo superficial ($\text{kg.m/N}^{1.5}.\text{s}$).

Caso o elemento seja um canal, a segunda linha do grupo conterà as seguintes informações:

1. **Ntop**: número do elemento que contribui imediatamente à montante do elemento atual;
2. **Nleft**: número do elemento que contribui pela lateral esquerda do elemento;
3. **Nright**: número do elemento que contribui pela lateral direita do elemento;
4. **Nchn1**: número do primeiro canal à montante no topo do canal atual;
5. **Nchn2**: número do segundo canal à montante no topo do canal atual;
6. **Zl e Zr**: declividade das paredes do canal;
7. **Bottom**: largura de fundo do canal (m).

Caso o elemento seja um canal, a terceira linha do grupo conterà as seguintes informações:

1. **Theta**: fator de peso espacial nas equações numéricas;
2. **Omega**: fator de peso temporal nas equações numéricas;
3. **Sedsize**: tamanho característico dos sedimentos (m);
4. **Clambda**: parâmetro para a tensão de cisalhamento crítica;
5. **a**: parâmetro de erodibilidade pelo fluxo superficial ($\text{kg.m/N}^{1.5}.\text{s}$).

4.4.1. Utilitário para cálculo do intervalo de tempo de simulação

O programa PLNSTAB foi desenvolvido com a finalidade de fornecer o intervalo de tempo de simulação que permitisse a convergência do modelo numérico. Ele utiliza como informações de entrada o valor do comprimento do maior canal ou da maior cascata de planos, a declividade do maior canal ou do elemento mais a jusante na cascata de

planos, o valor do coeficiente de rugosidade de Manning do elemento acima citado, o valor da condutividade hidráulica saturada e o valor da intensidade máxima do evento.

4.5. Seqüência Computacional

A seqüência computacional nos dois modelos é organizada de tal modo que o fluxo de entrada requerido por qualquer elemento (plano ou canal), em qualquer estágio da simulação, provém de elementos previamente processados. Esta seqüência é determinada pelo usuário, durante o processo de discretização da bacia hidrográfica. A ordem na qual os elementos aparecem na linha de fluxo define a seqüência computacional (Lopes, 1987; Woolhiser et al., 1990).

4.6. Estimativa dos Parâmetros dos Modelos

Os parâmetros listados anteriormente podem ser agrupados nas seguintes categorias:

- a) parâmetros que são obtidos através de ensaios na área experimental ou de acordo com as características geométricas dos elementos: **(1) Para o modelo Kineros2:** Clen, Diameters, Densities, Upstream, Lenght, Width, Slope, Canopy Cover, C_v , G , Porosity, Distribution **(2) Para o modelo WESP:** Abasin, Xlenght, Width, Slope, Alpha, Ntop, Sedsize, K_s , Nleft e Nright.
- b) parâmetros que são obtidos através de literatura, com base em trabalhos efetuados na bacia em estudo ou em áreas semelhantes: **(1) Para o modelo Kineros2:** Manning, Chezy, relief, spacing, **(2) Para o modelo WESP:** Grav, Gramwat, Gamsed, Power, Alpha, M, Theta, Omega e Clambda.
- c) parâmetros que precisam de calibração: **(1) Para o modelo Kineros2:** c_f , c_o , K_s , Saturation, G , K_s ; **(2) Para o modelo WESP:** K_s , N_s , K_i e K_r .

CAPÍTULO 5

5. MODELAGEM DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NA BACIA REPRESENTATIVA E EXPERIMENTAL DE SUMÉ

Neste capítulo apresentaremos a aplicação do modelo Kineros2 às parcelas e microbacias da Bacia Experimental de Sumé e para as sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé. Neste trabalho, o modelo WESP só foi aplicado às escalas maiores, devido ao fato do mesmo já ter sido aplicado às parcelas e microbacias da Bacia Experimental de Sumé por outros pesquisadores em estudos anteriores.

5.1. Modelagem do escoamento superficial e erosão do solo nas parcelas

5.1.1. Determinação dos Parâmetros do Modelo Kineros2

Os parâmetros do modelo foram estabelecidos de acordo com as características de cada parcela, ou seja, de acordo com o tipo de solo, cobertura vegetal, declividade, etc. A seguir, apresentaremos todos os parâmetros utilizados para modelar o escoamento superficial e erosão do solo nas parcelas da Bacia Experimental de Sumé.

O modelo Kineros2, como o modelo WESP, utiliza um conjunto de parâmetros de entrada que podem ser agrupados em três grandes grupos: (a) parâmetros que podem ser determinados 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. Nesta pesquisa, os parâmetros do modelo Kineros2 utilizados para a modelagem nas parcelas foram:

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 média dos dados coletados, foram eliminados, sendo o valor considerado para o diâmetro mediano, a média dos diâmetros medianos de todas as amostras restantes. Para algumas parcelas (parcelas 2, 3, 5, 7 e 9) não havia amostras de solo, logo o diâmetro mediano foi assumido como sendo o diâmetro adotado para a parcela mais próxima desta que não possuía dados de granulometria. Sendo assim, os diâmetros medianos utilizados estão mostrados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Valores dos diâmetros representativos utilizados nas parcelas.

Parcela	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d_{50} (mm)	0,85	0,85	0,89	0,89	0,89	0,66	0,66	1,00	1,00

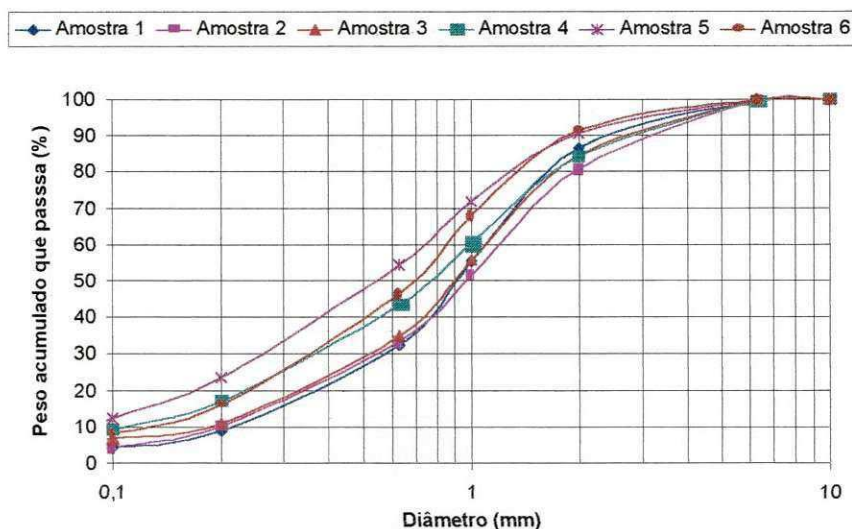


Figura 5.1. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na parcela 1.

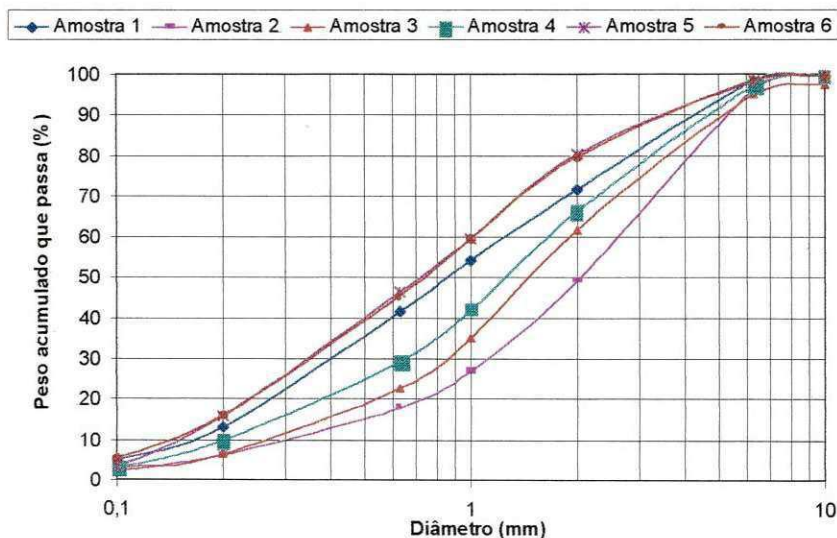


Figura 5.2. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na parcela 4.

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) **Coefficiente de rugosidade de Manning (n):** o coeficiente de Manning foi adotado de acordo com as características das parcelas, e seus valores estão mostrados na Tabela 5.2 (Chow, 1959).

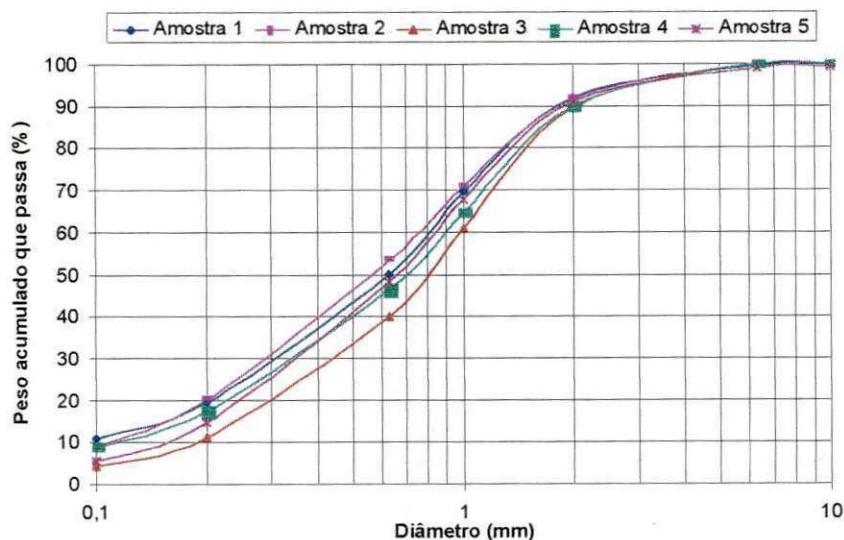


Figura 5.3. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na parcela 6.

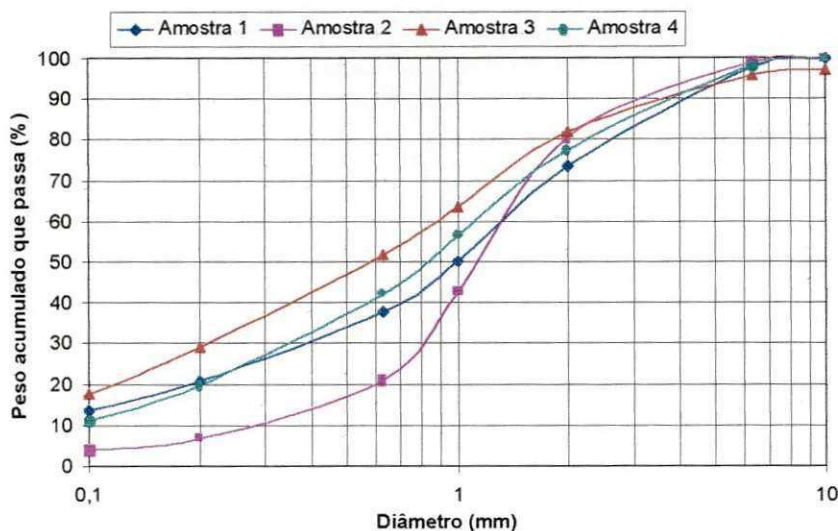


Figura 5.4. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na parcela 8.

Tabela 5.2. Valores do coeficiente de Manning para as parcelas

Parcela	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n	0,02	0,03	0,03	0,02	0,10	0,03	0,05	0,03	0,08

e) **Condutividade hidráulica saturada efetiva (K_s):** 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 frequentemente encontrado na região (Galvão, 1990). Sendo assim, depois de feitas algumas simulações, os valores adotados para as parcelas são os que estão mostrados na Tabela 5.3. Para as parcelas com cobertura vegetal caatinga, o valor de K_s que melhor ajustou a lâmina escoada foi 15 mm/h.

Tabela 5.3. Valores da condutividade hidráulica saturada efetiva para as parcelas.

Parcela	1	2	3	4	5	6	7	8	9
K_s (mm/h)	3,5	3,5	3,5	3,5	15,0	3,5	3,5	3,5	15,0

f) **Declividade média das parcelas (*Slope*):** foram determinadas a partir de levantamentos topográficos e estão apresentadas na Tabela 5.4 (Srinivasan et al., 1988).

Tabela 5.4. Valores das declividades para as parcelas.

Parcela	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Declividade	3,8	3,9	7,2	7,0	9,5	4,0	4,0	4,0	4,0

g) **Parâmetros relacionados à microtopografia (*relief* e *spacing*):** Como os valores destes parâmetros não alteram muito o resultado do escoamento superficial, o parâmetro *relief* foi assumido como sendo igual a 2,0 mm e o parâmetro *spacing* como sendo 0,3 m para todas as parcelas.

h) **Valor efetivo do potencial de capilaridade (G), 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 dos estudos de Rawls et al. (1983) e estão apresentados em Woolhiser et al. (1990). Como o solo das parcelas é franco argilo-arenoso, tem-se os seguintes valores: $G = 260$, $\phi = 0,398$ e $\lambda = 0,32$.

i) **Parâmetro relacionado à coesão do solo (c_o):** parâmetro da Equação (4.14) a qual influencia no cálculo da erosão por arrasto devido ao fluxo superficial. Foi feita uma

análise de sensibilidade deste parâmetro, e a produção de sedimentos mostrou-se praticamente insensível à sua variação. Dessa forma, o parâmetro c_o pode ser assumido como qualquer valor entre 0 e 1, sendo adotado neste trabalho c_o igual a 0,01.

Estando definidos todos esses parâmetros, ainda falta determinar a saturação inicial relativa do solo, cujo valor é dado por θ_i/ϕ , onde θ_i é a umidade inicial relativa do solo, e ϕ é a porosidade do solo. O valor deste parâmetro varia de evento para evento e foi determinado por calibração, ajustando-o até que o volume escoado calculado se igualasse ao volume escoado observado.

Da mesma forma, foi determinado o parâmetro c_f (Eq. 4.9), o qual é relativo ao cálculo da erosão por impacto das gotas de chuva. Esse parâmetro foi calibrado para cada evento, até que o valor da produção de sedimentos calculada se igualasse à produção de sedimentos observada.

As Figuras 5.5 a 5.22 mostram os valores dos parâmetros S_i e c_f para as nove parcelas da Bacia Experimental de Sumé. As Tabelas 1 a 9 do Anexo 1, mostram os valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para as nove parcelas, bem como os valores observados e calculados de lâmina e erosão.

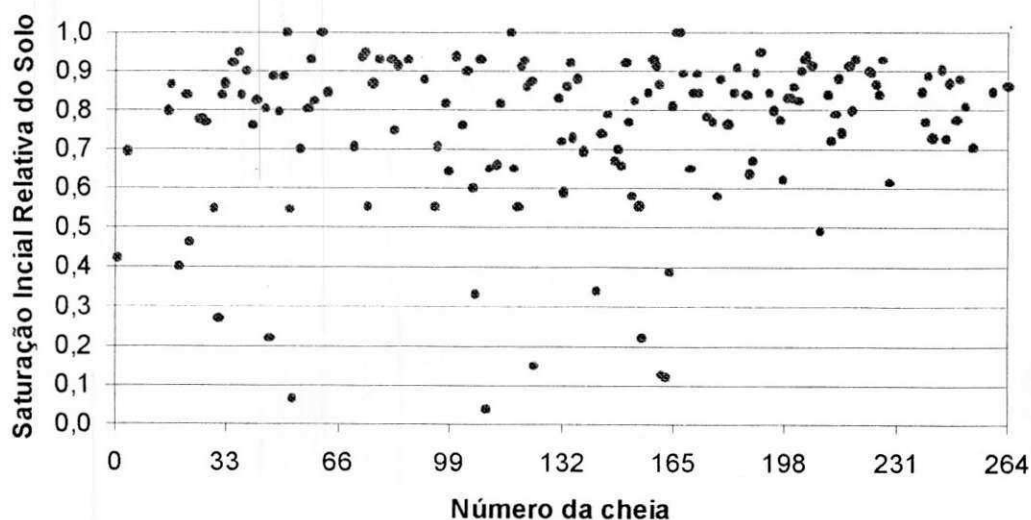


Figura 5.5. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 1.

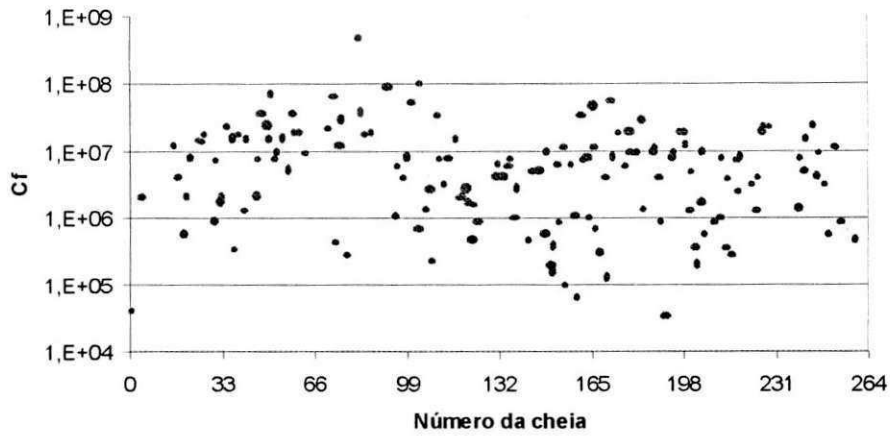


Figura 5.6. Valor do parâmetro c_f versus número do evento de cheia para a parcela 1.

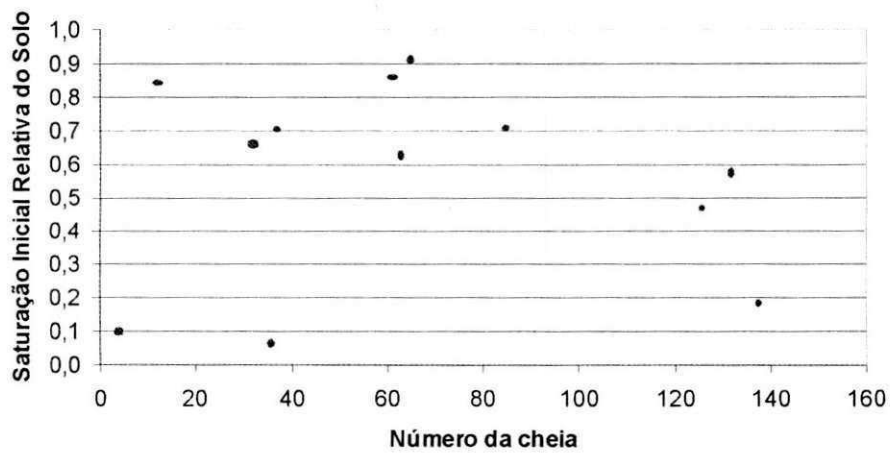


Figura 5.7. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 2.

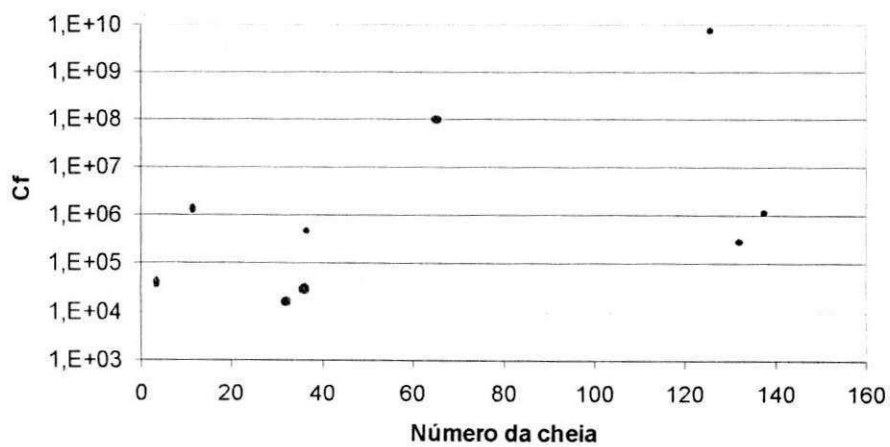


Figura 5.8. Valor do parâmetro c_f versus número do evento de cheia para a parcela 2.

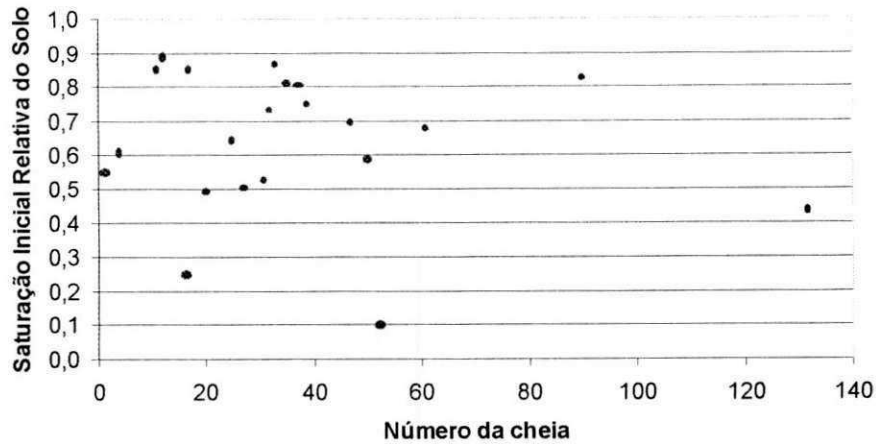


Figura 5.9. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 3.

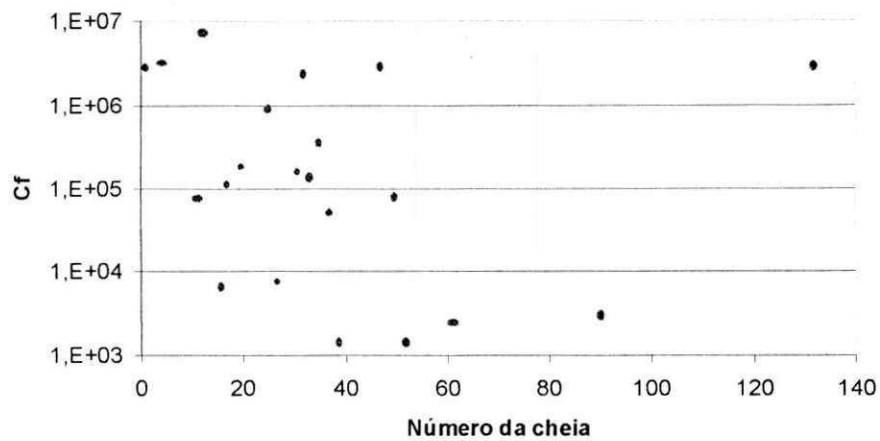


Figura 5.10. Valor do parâmetro c_f versus número do evento de cheia para a parcela 3.

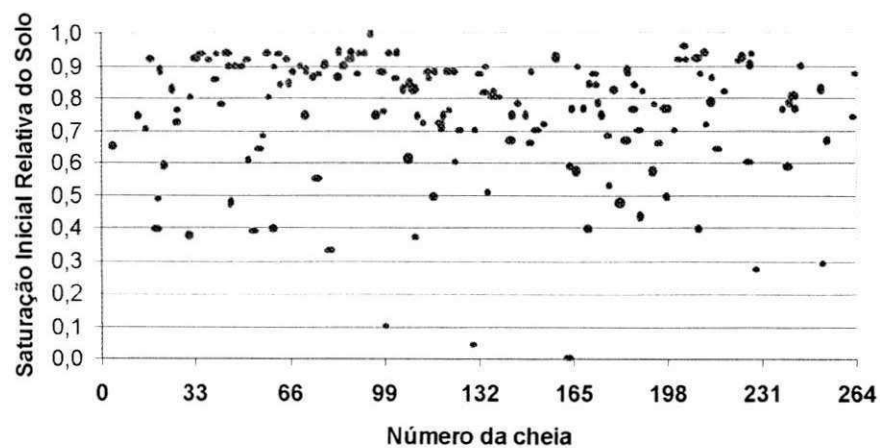


Figura 5.11. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 4.

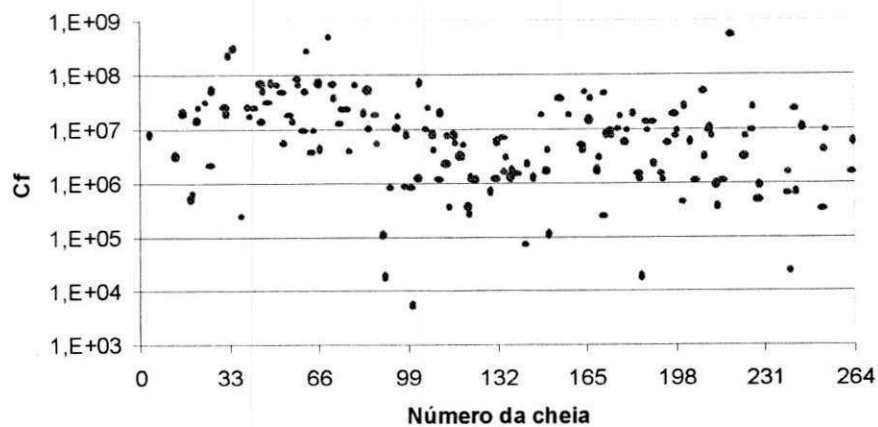


Figura 5.12. Valor do parâmetro c_f versus número do evento de cheia para a parcela 4.

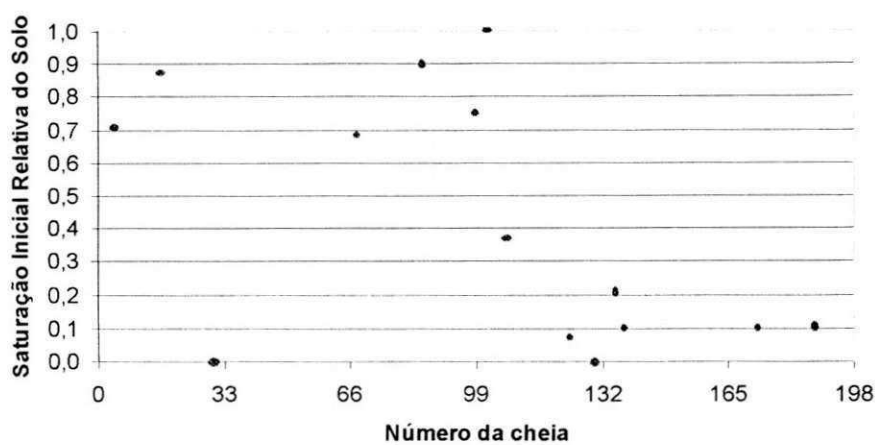


Figura 5.13. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 5.

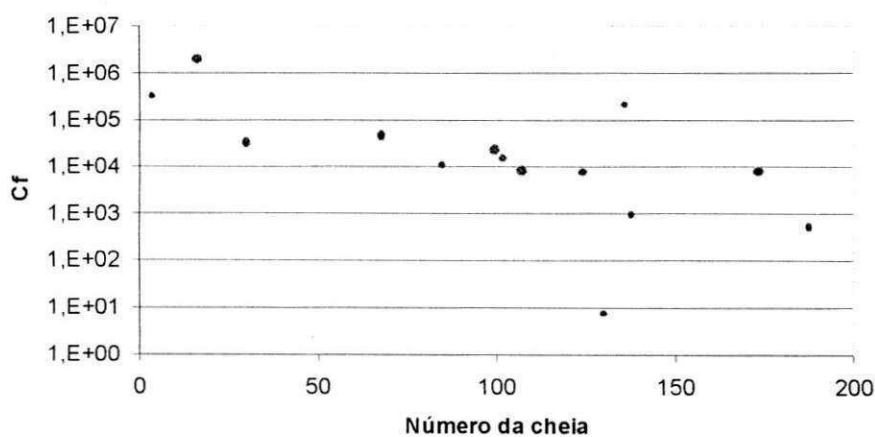


Figura 5.14. Valor do parâmetro c_f versus número do evento de cheia para a parcela 5.

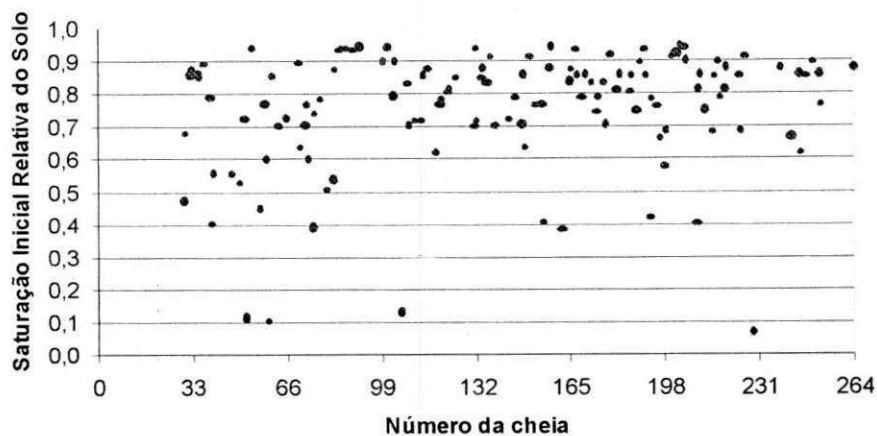


Figura 5.15. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 6.

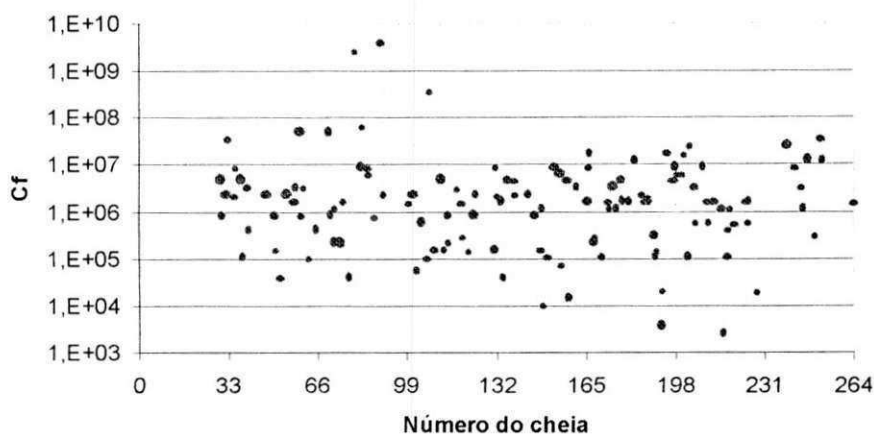


Figura 5.16. Valor do parâmetro c_f versus número do evento de cheia para a parcela 6.

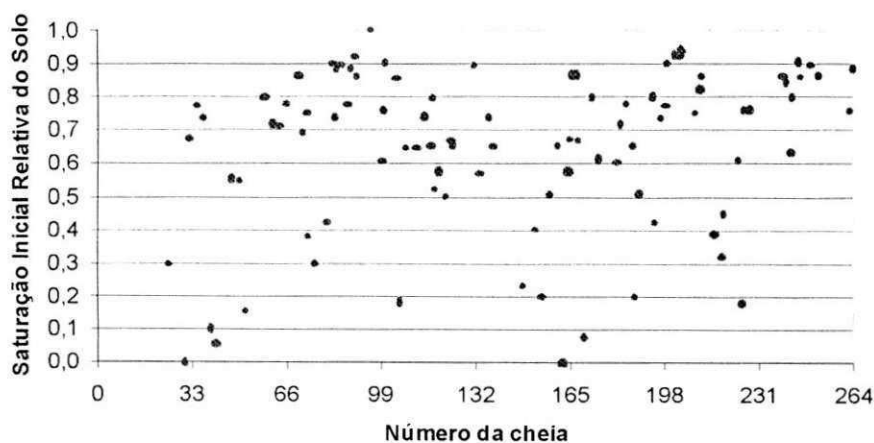


Figura 5.17. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 7.

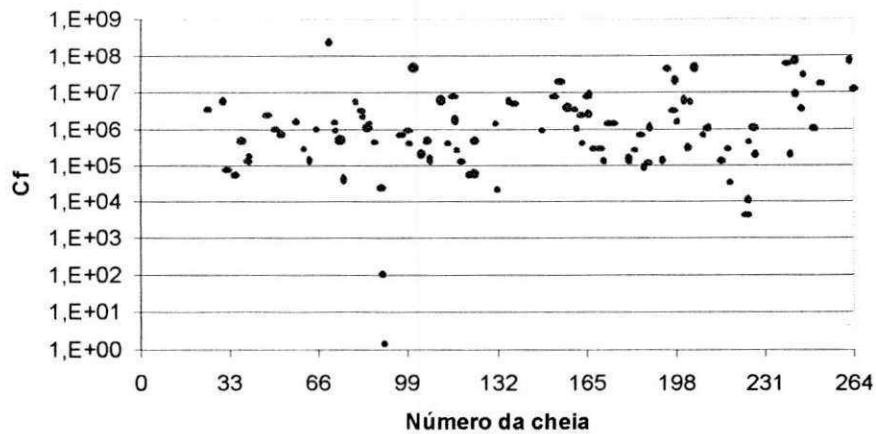


Figura 5.18. Valor do parâmetro c_f versus número do evento de cheia para a parcela

7.

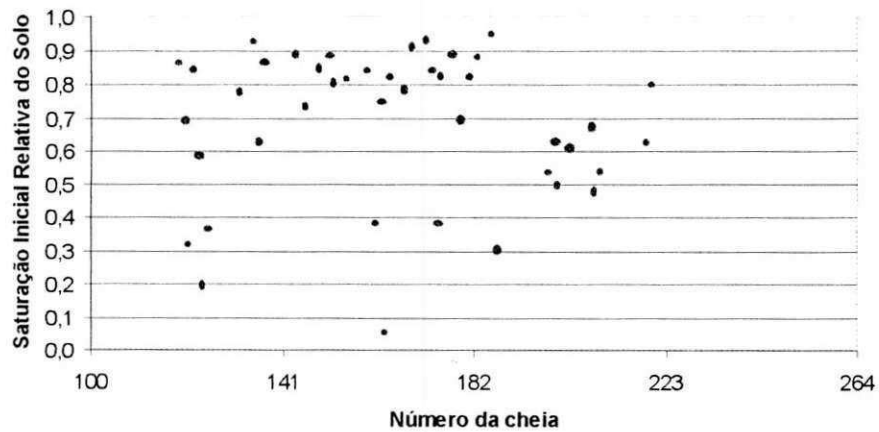


Figura 5.19. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 8.

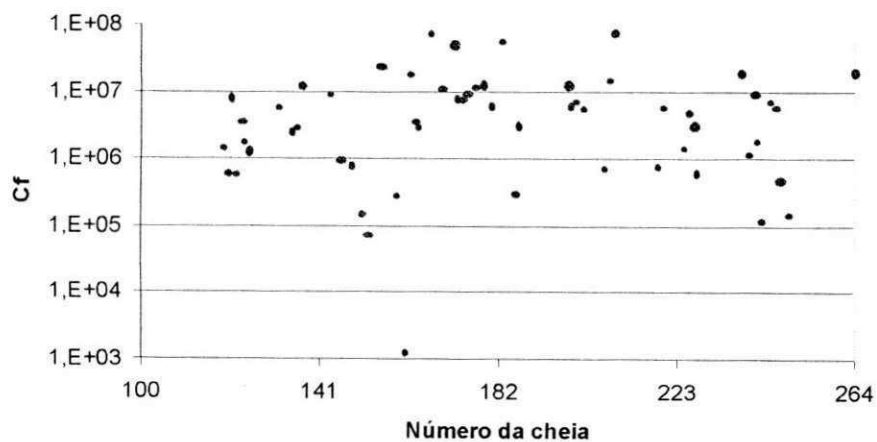


Figura 5.20. Valor do parâmetro c_f versus número do evento de cheia para a parcela

8.

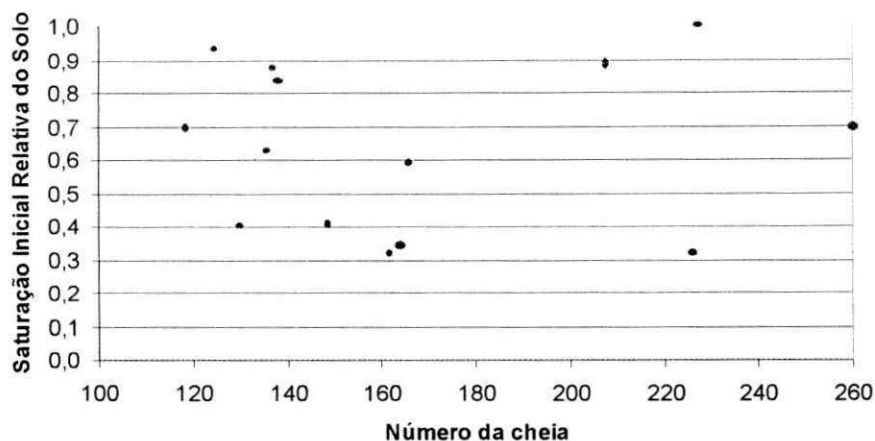


Figura 5.21. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a parcela 9.

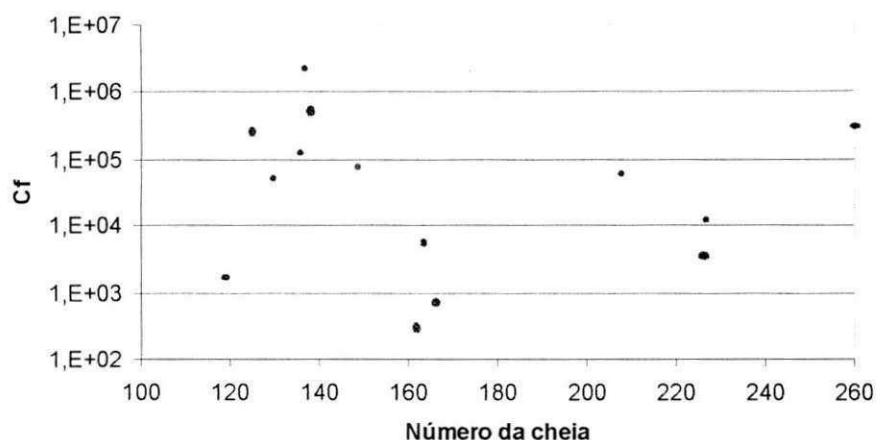


Figura 5.22. Valor do parâmetro c_f versus número do evento de cheia para a parcela 9.

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

Para modelarmos os processos de escoamento superficial e produção de sedimentos em microbacias, devemos inicialmente realizar a discretização dessas microbacias em elementos planos e canais. Este processo de discretização não foi necessário na modelagem nas parcelas devido ao fato que estas são consideradas como um único elemento do tipo plano, já que todas possuem declividade e cobertura vegetal uniformes.

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, devemos 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 a microbacia 4 em um sistema de 21 elementos (Figura 5.23). Santos (1994) discretizou a microbacia 3 em 10 elementos. Posteriormente Santos (1997) discretizou a microbacia 3 em duas outras configurações, uma com 4 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.

No entanto, neste trabalho foram utilizadas novas configurações para a discretização das microbacia 3 e 4. O objetivo de uma nova discretização para a microbacia 4 foi de eliminar qualquer tipo de erro que tenha havido nas delimitações dos planos e canais feitas anteriormente e também para comparar os resultados entre si.

As discretizações foram realizadas da seguinte maneira: inicialmente foi traçado o sistema de canais. Em seguida, foram delimitadas as áreas que contribuíam para cada canal sempre cruzando as curva de nível perpendicularmente. Quando houvesse qualquer mudança de declividade, a área deveria ser 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 a 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 é 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 comprimento de drenagem da bacia. A declividade de cada elemento plano ou canal é 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 5.24 a 5.31. As Tabelas 5.6 a 5.9 mostram as características geométricas das quatro microbacias, bem como a seqüência de cálculo dos elementos discretizados.

Os parâmetros foram os mesmos utilizados para as parcelas, já que as microbacias possuem o mesmo tipo de solo que as parcelas, ou seja, solo franco argilo-arenoso. Os únicos parâmetros que mudaram são os que estão mostrados na Tabela 5.5.

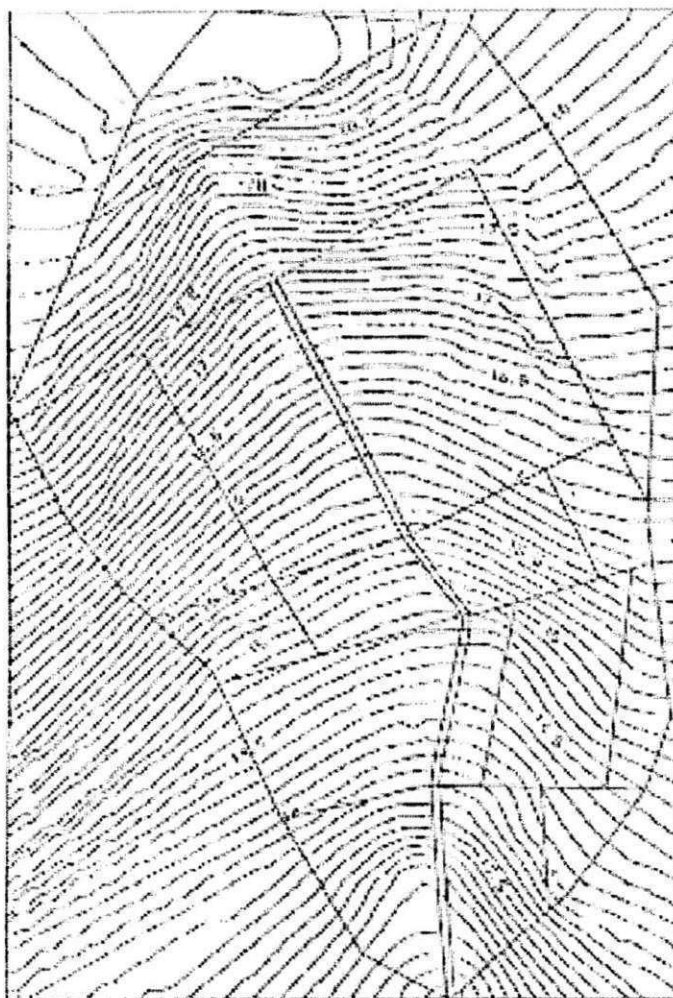


Figura 5.23. Discretização da Microbacia 4 (Galvão, 1990).

Tabela 5.5. Parâmetros utilizados para as microbacias.

Microbacias	Área (ha)	Declividade média (%)	Cobertura Vegetal	n de Manning (planos; canais)	K_s (mm/h)	d_{50} (mm)
1	0,62	7,0	Caatinga	0,08;0,03	25,0	0,50
2	1,07	6,1	Caatinga	0,08;0,03	25,0	0,50
3	0,52	7,1	Desmatada	0,02;0,03	3,5	0,50
4	0,48	6,8	Desmatada	0,02;0,03	3,5	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 5.32 e 5.33 mostram a distribuição granulométrica de amostras coletadas nas microbacias 3 e 4. O diâmetro mediano obtido foi de aproximadamente 0,50 mm. Esse mesmo diâmetro foi considerado nas simulações da

produção de sedimentos nas microbacias 1 e 2, as quais não possuíam dados de granulometria.

As Figuras 5.34 a 5.41 mostram os resultados da variação da saturação inicial relativa do solo (parâmetro S_i) e do parâmetro de erosão por impacto das gotas de chuva (parâmetro c_f) versus o número da cheia para os eventos da Bacia Experimental de Sumé. As Tabelas 5.10 a 5.13 do Anexo 1, mostram os valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para as microbacias da Bacia Experimental de Sumé, bem como os valores observados e calculados de lâmina e erosão.

Nas simulações realizadas para as microbacias 3 e 4, como mencionado anteriormente, foram utilizadas novas configurações para as discretizações. 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. Também foram feitas simulações utilizando as discretizações realizadas por Galvão (1990), o qual discretizou a microbacia 4 em 21 elementos, com 17 planos e 4 canais. O resultado da comparação entre os valores dos parâmetros S_i e c_f encontram-se nas Figuras 5.42 e 5.43, onde os valores encontrados para os parâmetros S_i e c_f utilizando a discretização feita neste estudo, indicada como sendo S_i – Lopes (2003) e c_f – Lopes (2003).

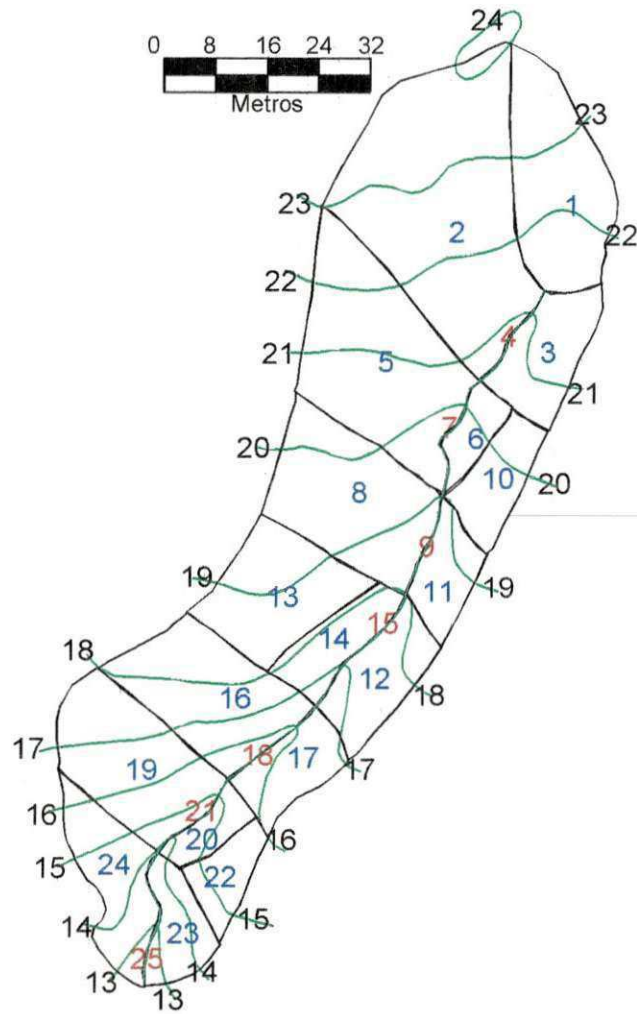


Figura 5.24. Definição dos planos e canais para a microbacia 1.

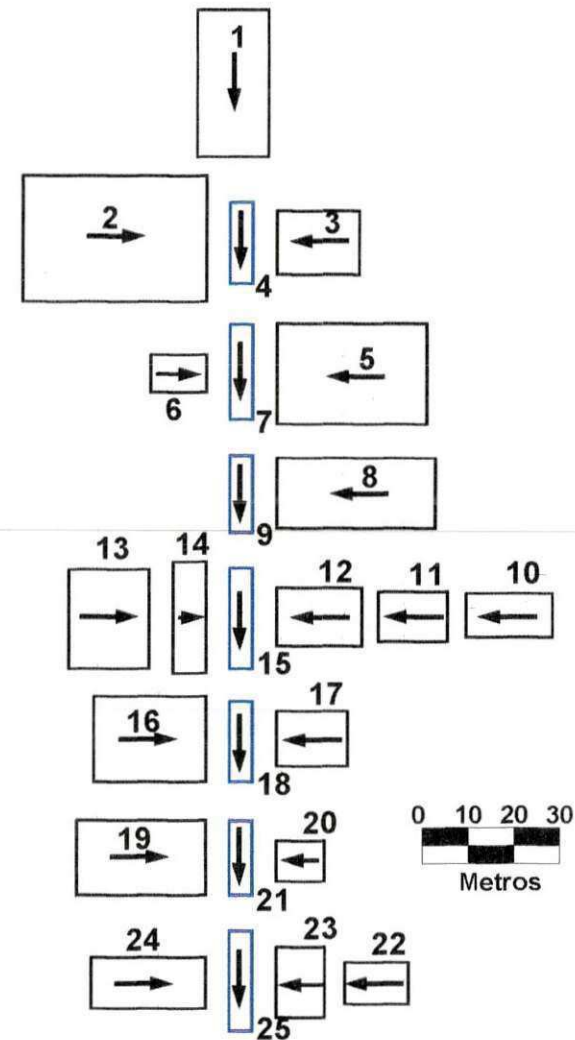


Figura 5.25. Definição dos planos e canais para a microbacia 1.

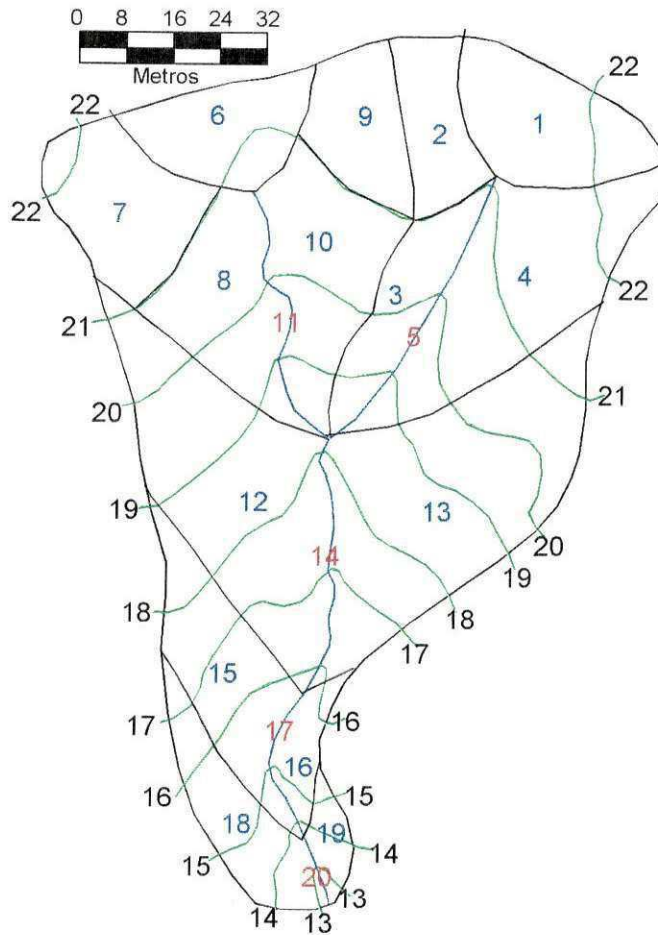


Figura 5.26. Definição dos planos e canais para a microbacia 2.

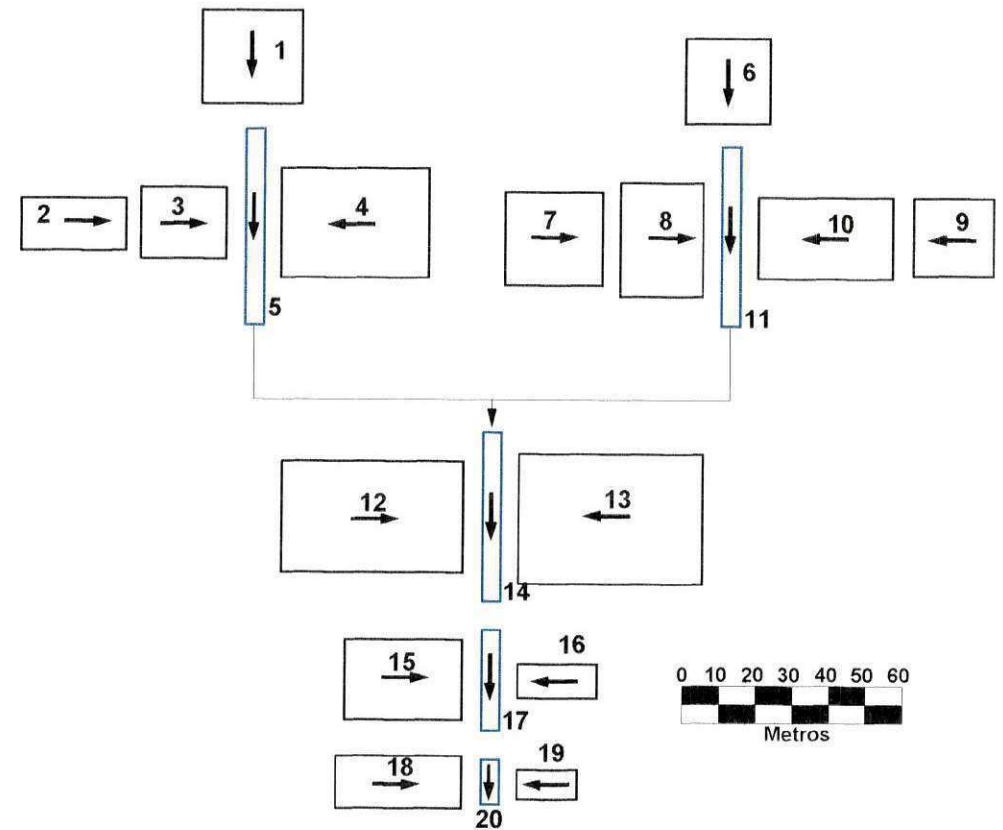


Figura 5.27. Definição dos planos e canais para a microbacia 2.

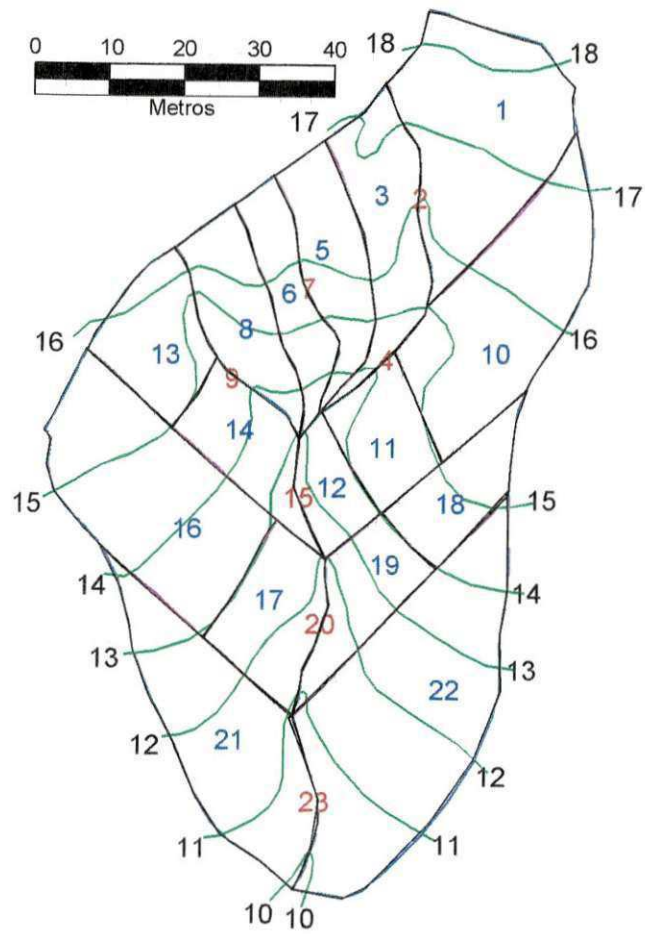


Figura 5.28. Definição dos planos e canais para a microbacia 3.

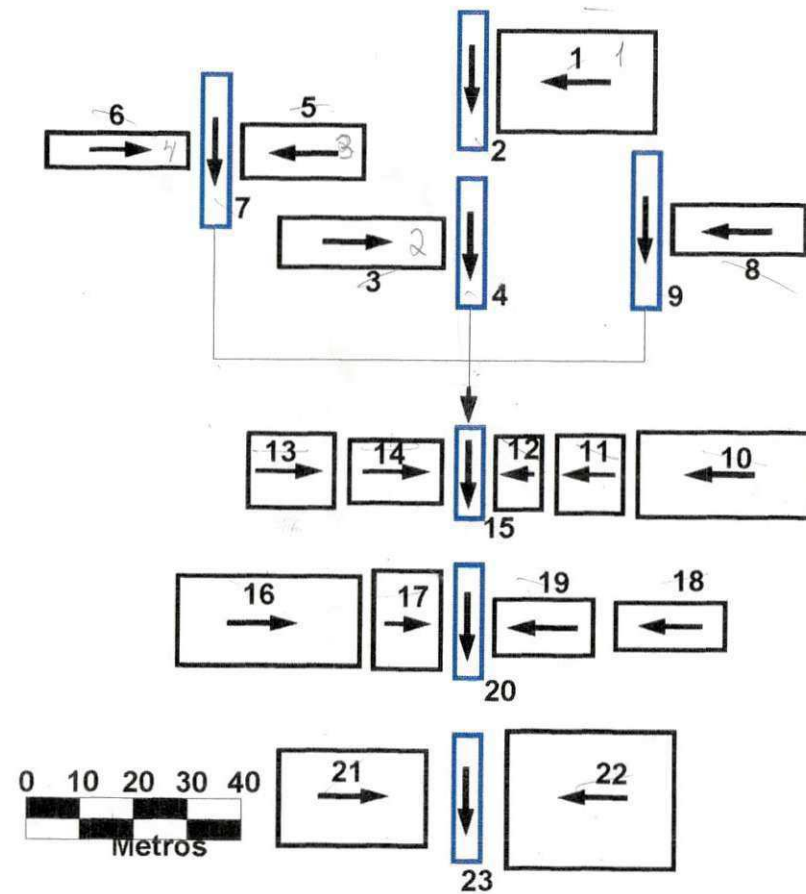


Figura 5.29. Definição dos planos e canais para a microbacia 3.

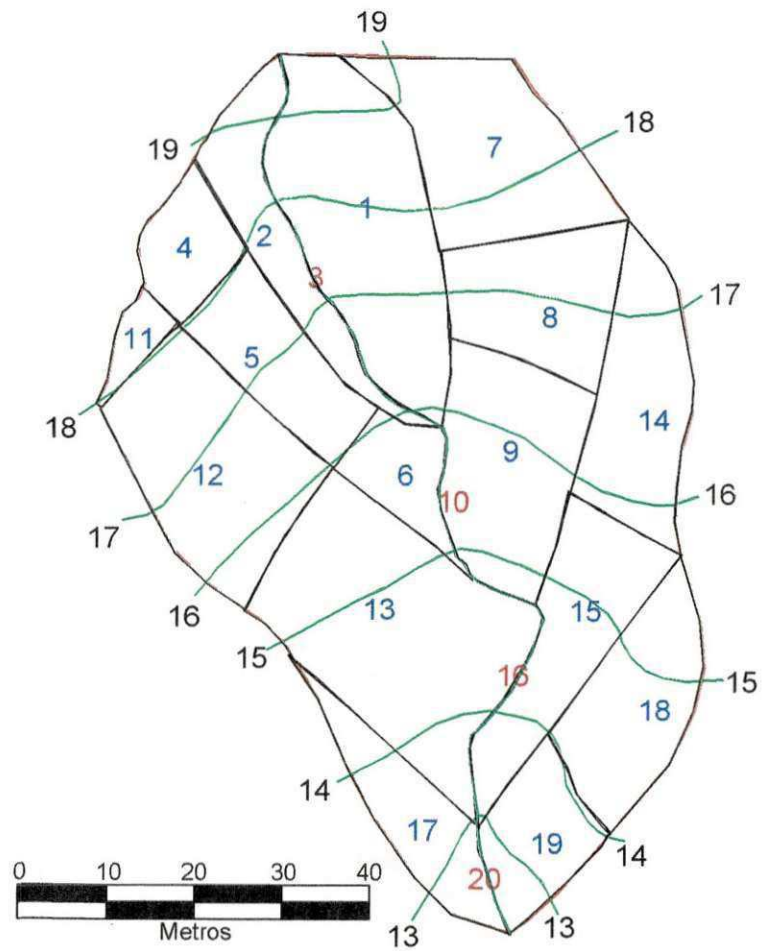


Figura 5.30. Definição dos planos e canais para a microbacia 4.

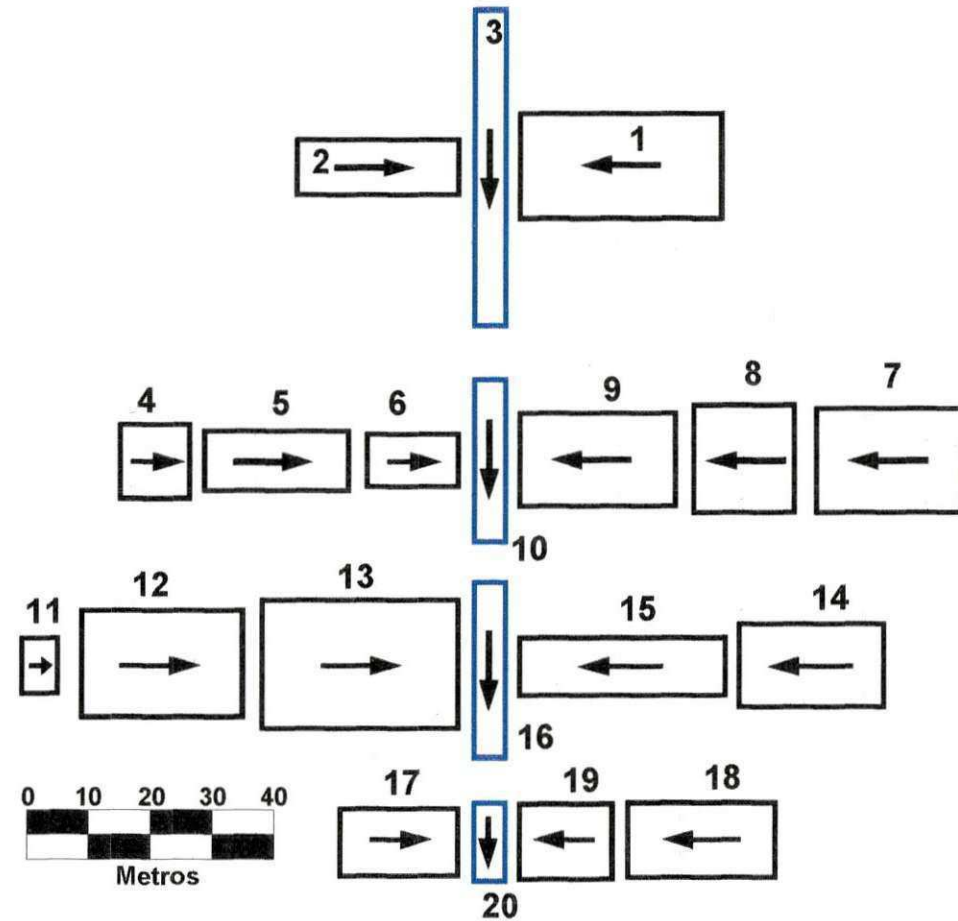


Figura 5.31. Definição dos planos e canais para a microbacia 4

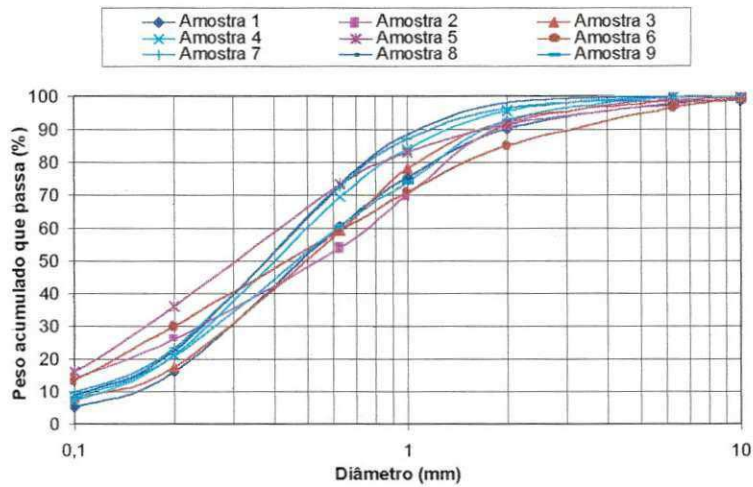


Figura 5.32. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na microbacia 3.

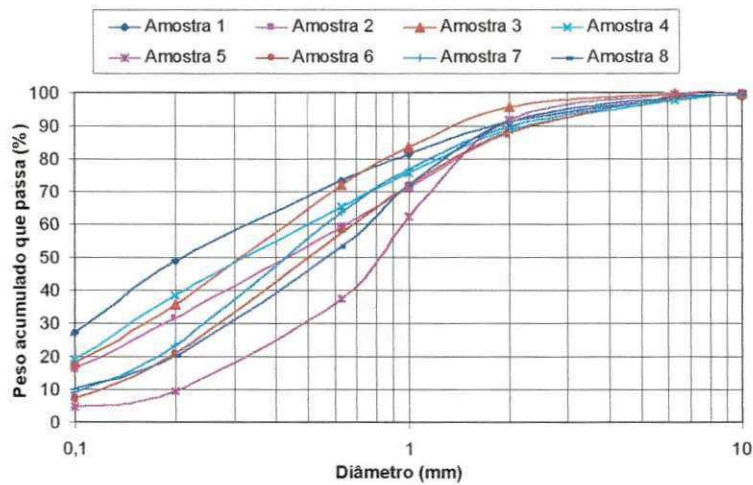


Figura 5.33. Distribuição granulométrica das amostras coletadas na microbacia 4.

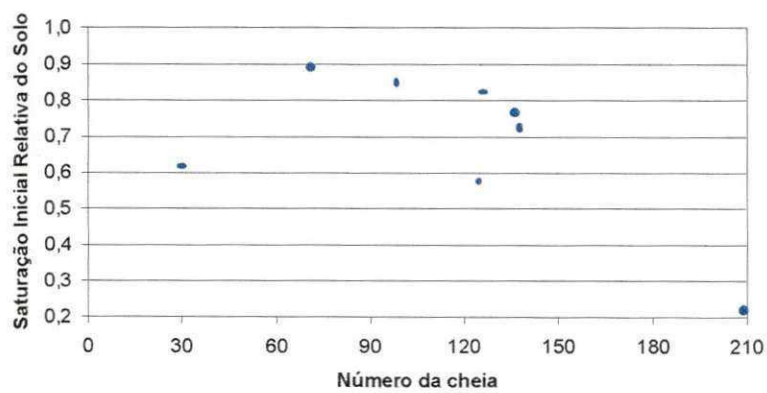


Figura 5.34. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a microbacia 1.

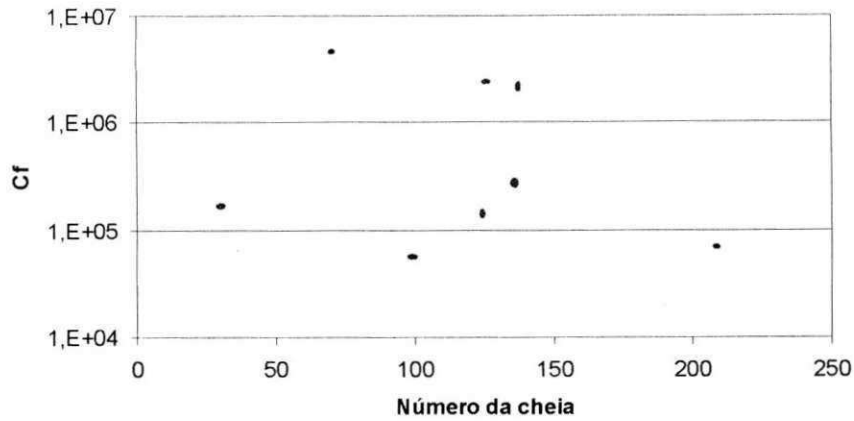


Figura 5.35. Valor do parâmetro c_f versus número da cheia para a microbacia 1.

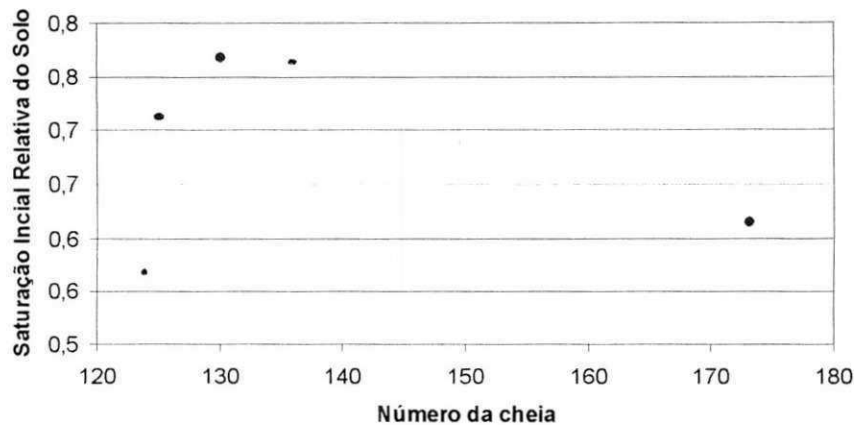


Figura 5.36. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número cheia para a microbacia 2.

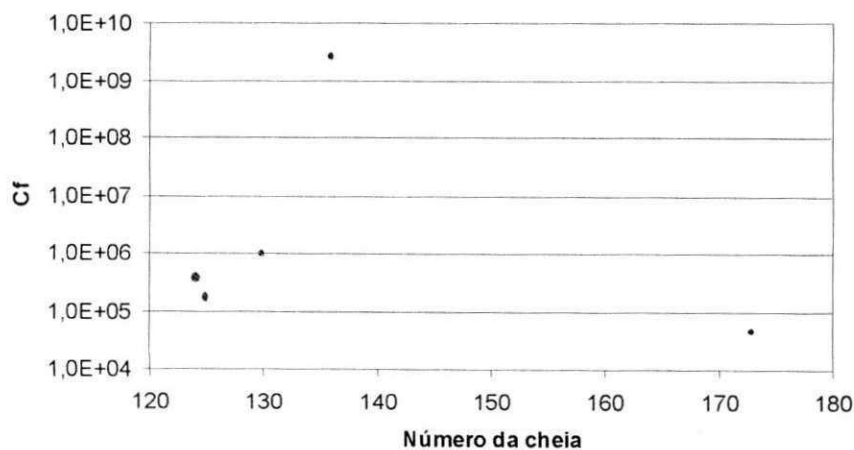


Figura 5.37. Valor do parâmetro c_f versus número da cheia para a microbacia 2.

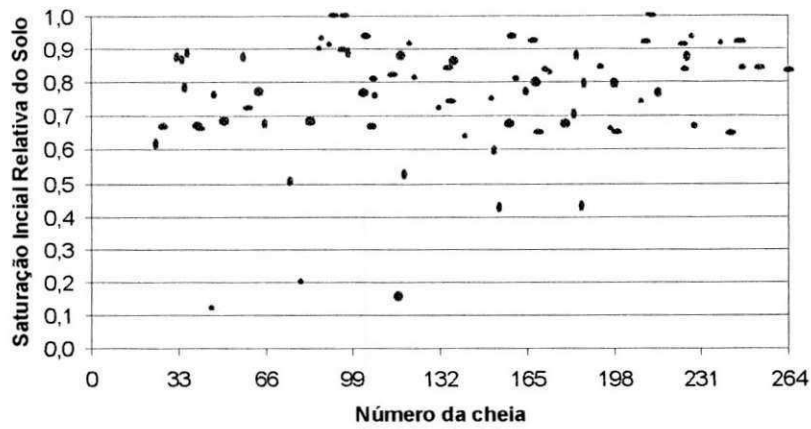


Figura 5.38. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número da cheia para a microbacia 3.

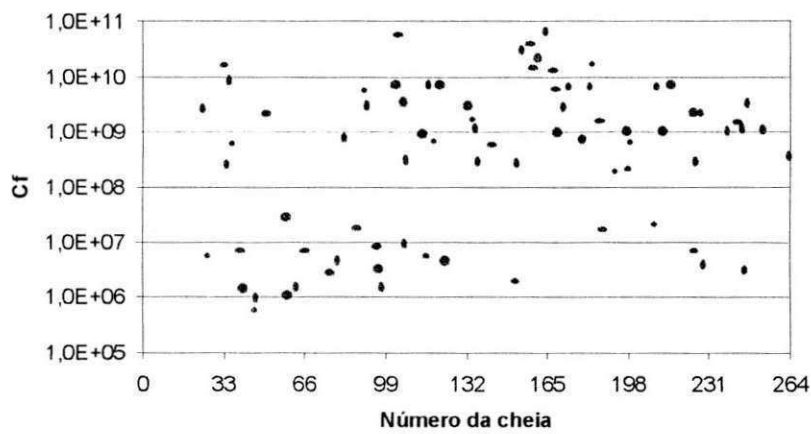


Figura 5.39. Valor do parâmetro c_f versus número da cheia para a microbacia 3.

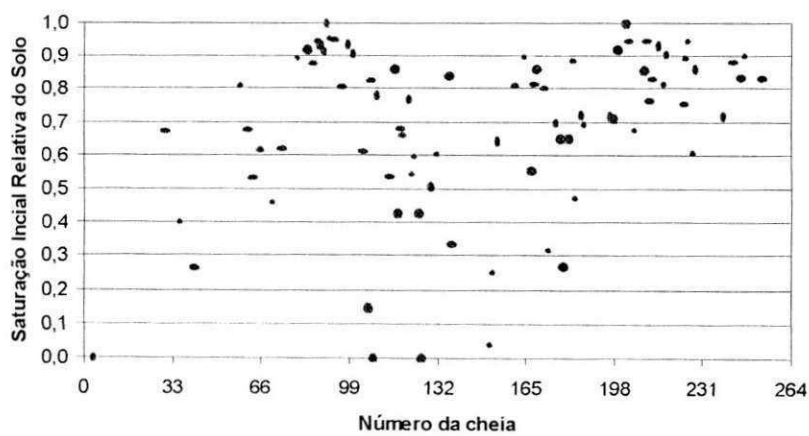


Figura 5.40. Valor da saturação inicial relativa do solo versus número cheia para a microbacia 4.

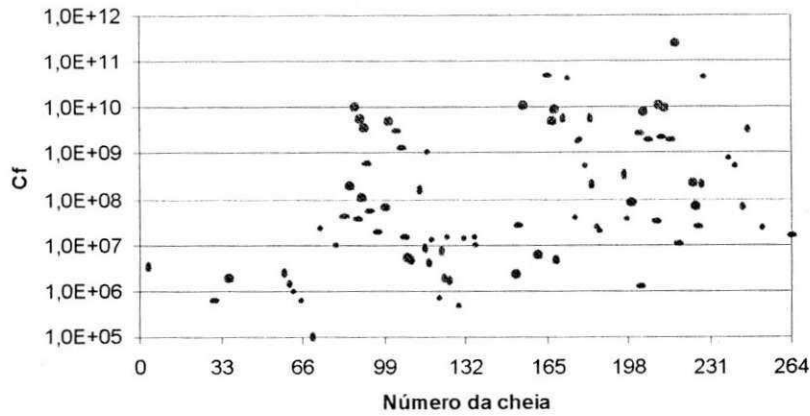


Figura 5.41. Valor do parâmetro c_f versus número da cheia para a microbacia 4.

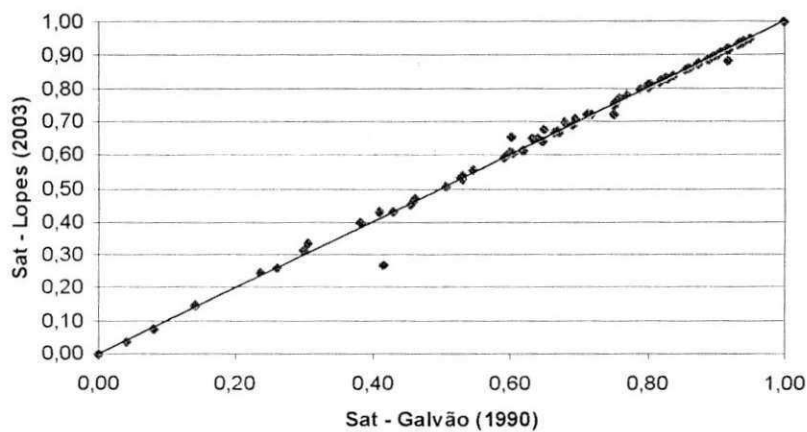


Figura 5.42. Comparação entre o valor do parâmetro S_i para a discretização feita neste estudo e a discretização feita por Galvão (1990) para a microbacia 4.

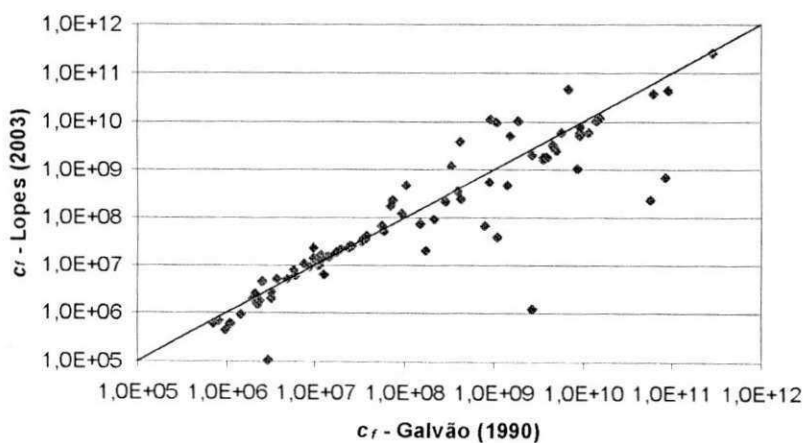


Figura 5.43. Comparação entre o valor do parâmetro S_i para a discretização feita neste estudo e a discretização feita por Galvão (1990) para a microbacia 4.

Tabela 5.6. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 1.

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Declividade lateral	Elemento anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
1	506,1	32,4	15,6	0,062					
2	1123	40,5	27,8	0,062					
3	254,2	18,2	14,0	0,044					
4	-	17,9	-	0,039	0	1	1	3	2
5	727,7	32,9	22,1	0,070					
6	101,3	12,2	8,3	0,066					
7	-	20,9	-	0,072	0	1	4	5	6
8	537,4	34,7	15,5	0,066					
9	-	17,0	-	0,059	0	1	7	8	
10	183,9	18,9	9,7	0,074					
11	163,1	14,9	11,0	0,067			10		
12	241,9	18,8	12,9	0,080			11		
13	388	17,7	21,9	0,073					
14	176,5	7,2	24,6	0,139			13		
15	-	22,2	-	0,063	0	1	9	12	14
16	466,4	24,7	18,9	0,085					
17	189,7	15,6	12,1	0,077					
18	-	17,8	-	0,062	0,2	0,5	15	17	16
19	467,6	28,4	16,5	0,099					
20	94,38	10,5	9,0	0,105					
21	-	16,4	-	0,092	0,3	0,5	18	20	19
22	130,2	14,1	9,2	0,106					
23	164,5	10,6	15,5	0,151			22		
24	284,1	25,2	11,3	0,119					
25	-	22,1	-	0,045	0,4	0,25	21	23	24

Tabela 5.7. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 2.

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Declividade lateral	Elemento anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
1	691	25,4	27,3	0,043					
2	406	28,7	14,1	0,021					
3	456	23,6	19,3	0,076			2		
4	1193	40,2	29,7	0,070					
5	-	53,2	-	0,045	0	1	1	4	3
6	536	23,2	23,1	0,034					
7	671	26,6	25,2	0,038					
8	696	22,6	30,8	0,075			7		
9	460	21,9	21,0	0,018					
10	809	36,8	22,0	0,060			9		
11	-	48,7	-	0,051	0	1	6	10	8
12	1492	49,5	30,2	0,065					
13	1771	50,2	35,2	0,076					
14	-	46,0	-	0,050	0,2	0,5	5,11	13	12
15	699	32,0	21,8	0,084					
16	200	21,7	9,2	0,051					
17	-	27,3	-	0,044	0,3	0,4	14	16	15
18	488	34,3	14,2	0,090					
19	130	16,4	7,9	0,073					
20	-	12,2	-	0,082	0,4	0,3	17	19	18

Tabela 5.8. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 3.

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

Tabela 5.9. Características geométricas e seqüência de cálculo dos elementos da microbacia 4.

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

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 como um conjunto de elementos planos e canais, dessa forma, as três bacias foram discretizadas levando-se em consideração o relevo (Figura 5.44) e a hidrografia e tipo de solo (Figura 5.45). A vegetação não foi levada em consideração neste processo de discretização devido à inexistência de mapas que a descrevesse na área de estudo.

Devido à inexistência de mapas de relevo na escala de 1:25.000 que possuíssem curvas de nível de 10 m, foi necessário interpolar as curvas de nível de 50 m a partir de um mapa na escala de 1: 100.000, utilizando valores de cotas comprovadas e não comprovadas indicadas nestes próprios mapas (Figura 5.44).

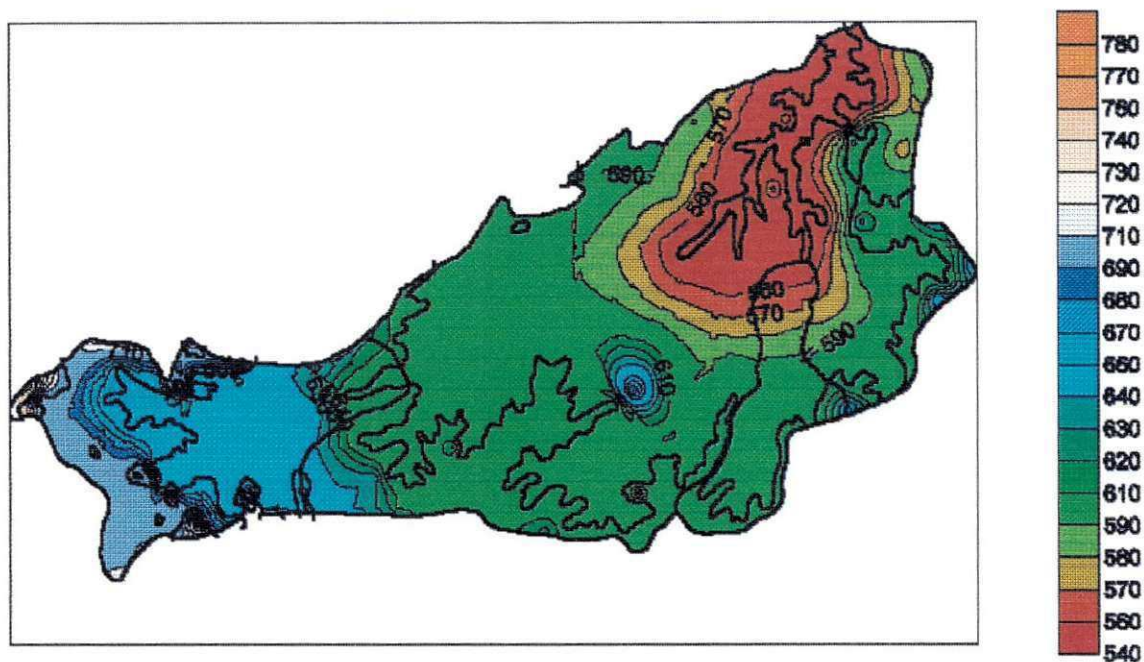


Figura 5.44. Mapa de Relevo da Bacia Representativa de Sumé.

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 5.46.

A sub-bacia de Umburana foi discretizada em 75 elementos, com 51 planos e 24 canais (Figura 5.47), a sub-bacia de Jatobá em 77 elementos, com 53 planos e 24 canais (Figura 5.48), e a Bacia Representativa de Sumé em 361 elementos, com 246 planos e 115 canais (Figura 5.49). 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 saturada (K_s) foram calibrados, e os que obtiveram um melhor resultado na simulação do volume do escoamento superficial foram: 3,5 mm/h para o solo bruno não-cálcico vértico; 4,5 mm/h para o solo litólico eutrófico; 10 mm/h para o solo podzólico; 3,7 mm/h para associações de solos bruno não-cálcicos e litólicos eutróficos e 60 mm/h para os solos aluviais.

A saturação inicial relativa do solo (S_i) e o potencial efetivo de capilaridade do solo (G) foram calibrados para cada cheia para as três bacias. Optou-se por calibrar o valor de G e não utilizar um valor médio desse parâmetro como indicado em Woolhiser et al. (1990) e como utilizado na simulação para as parcelas e microbacias, pelo fato desse parâmetro influenciar bastante o valor do escoamento superficial, além de que esse parâmetro

realmente varia com a umidade inicial do solo, devendo ser calibrado, principalmente quando o solo está com a umidade inicial baixa, ou seja, em condições secas.

O escoamento superficial também foi simulado com o modelo WESP. Os parâmetros utilizados foram os mesmos utilizados no modelo Kíneros2, desde que fossem parâmetros comuns aos dois modelos. Os parâmetros exigidos exclusivamente pelo modelo WESP e/ou os que são apresentados de maneira diferente do que no modelo Kíneros2 foram:

a) Viscosidade cinemática da água (ν): considerada igual a $0,894 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, viscosidade cinemática da água a 25°C (Streeter e Wylie, 1982), temperatura média normalmente apresentada na região;

b) Aceleração da gravidade: assumida igual a $9,81 \text{ m/s}^2$;

c) Peso específico da água: considerado como sendo 9.779 N/m^3 , a 25°C (Streeter e Wylie, 1982);

Para calibrar o volume escoado superficialmente na Bacia Representativa de Sumé utilizando o modelo WESP, foi calibrado o parâmetro potencial de capilaridade do solo (N_s), cujo valor é dado pelas Equações 4.20.

O resultado da aplicação dos modelos à Bacia Representativa de Sumé está mostrado na Tabela 5.10

Tabela 5.10. Resultado da calibração da lâmina escoada na BRS.

Cheia	Bacia	P (mm)	L _o (mm)	Modelo Kíneros2			Modelo WESP	
				S _i	G (mm)	L _c (mm)	N _s (mm)	L _c (mm)
1	Umburana	112,9	68,00	0,78	74	67,87	11	67,68
9	Umburana	37,0	11,40	0,67	86	11,40	26	11,47
11	Umburana	50,0	6,11	0,22	377	6,11	285	6,14
11	Jatobá	13,8	2,41	0,94	10	0,31	0,32	2,41
16	Jatobá	102,8	7,09	0,19	960	7,11	383	7,08
19	Jatobá	73,0	2,86	0,21	460	2,86	203	2,85
6	Gangorra	62,0	4,68	0,33	200	4,70	155	4,64
7	Gangorra	57,7	1,17	0,28	250	1,17	228	1,18
13	Gangorra	32,1	7,02	0,94	10	3,38	26	6,97

Os hidrogramas simulados e observados para as sub-bacias de Umburana, Jatobá e Gangorra utilizando os dois modelos estão apresentados nas Figuras 5.50 a 5.58.

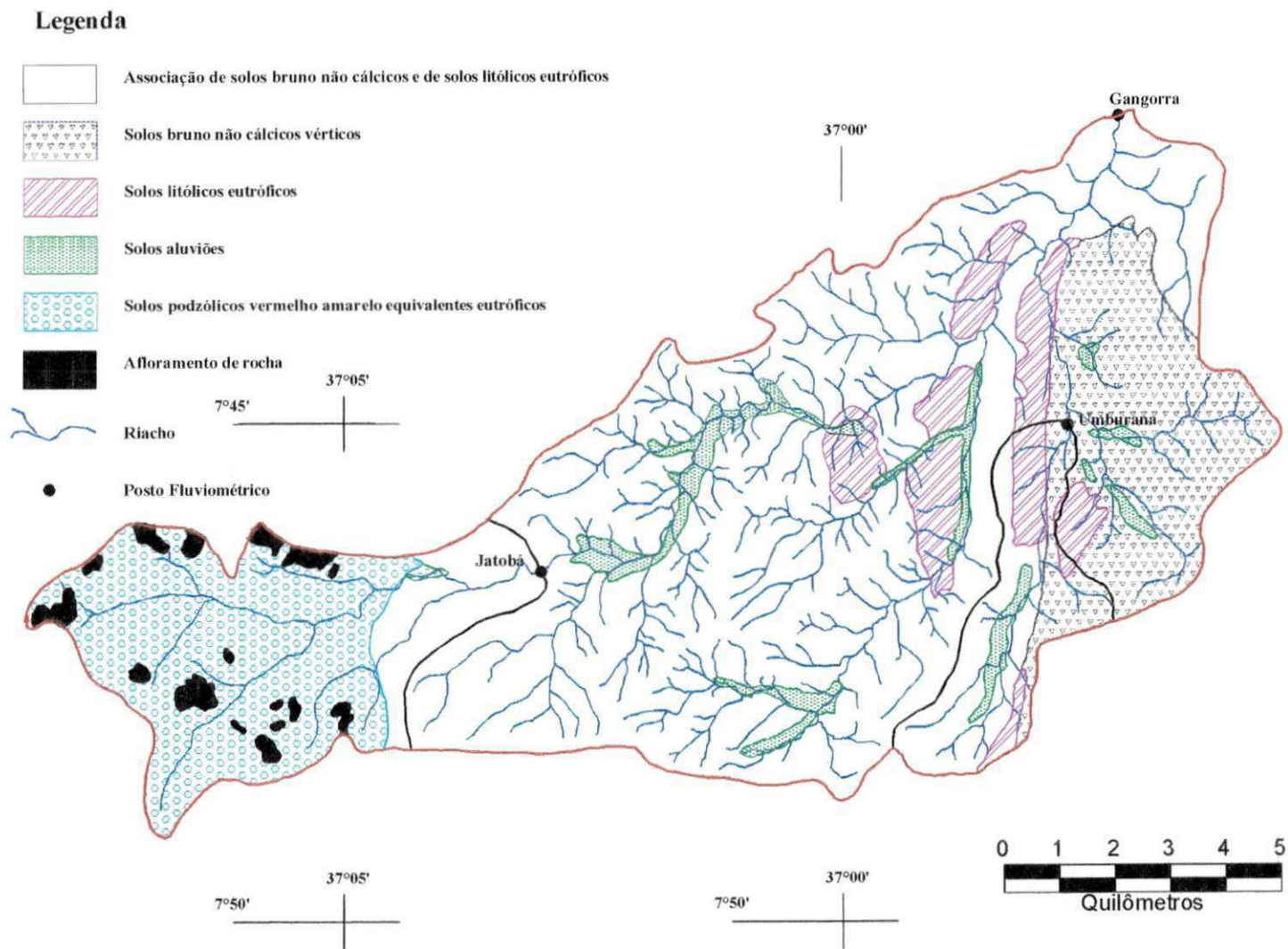


Figura 5.45. Mapa de Solos e Hidrografia da Bacia Representativa de Sumé

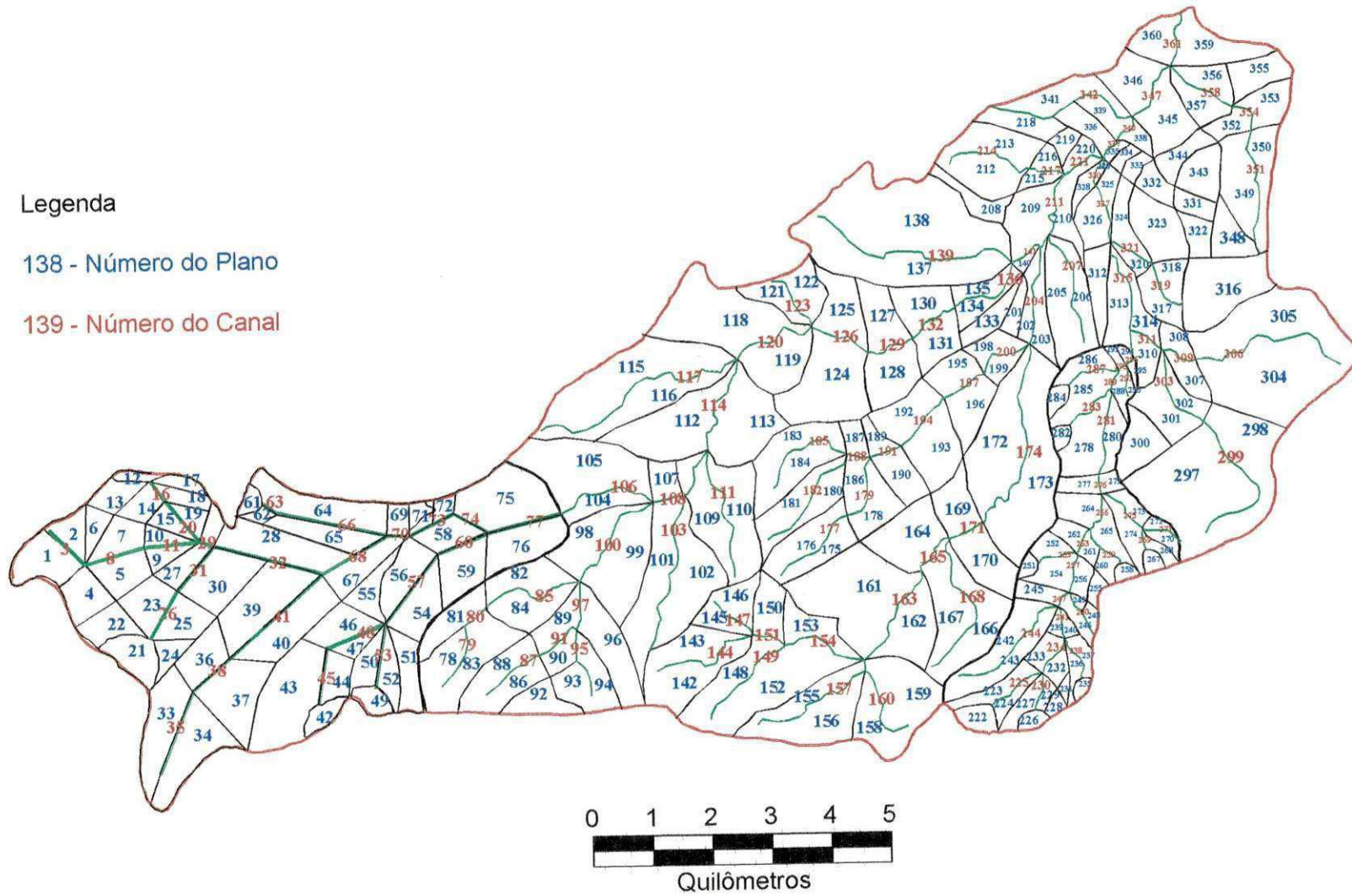


Figura 5.46. Determinação dos planos e canais na discretização da Bacia Representativa de Sumé.

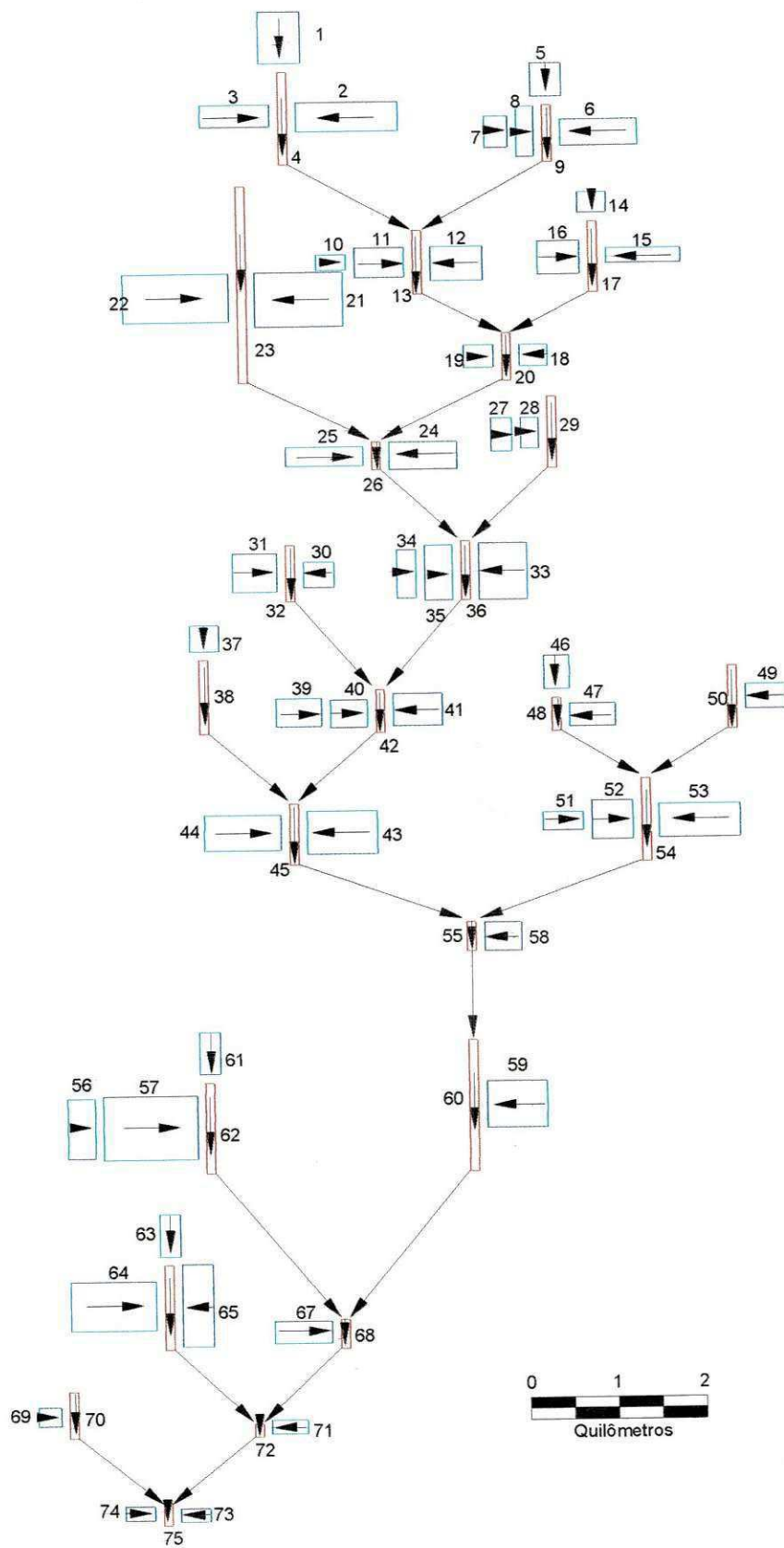


Figura 5.47. Discretização da bacia de Umburana em planos e canais.

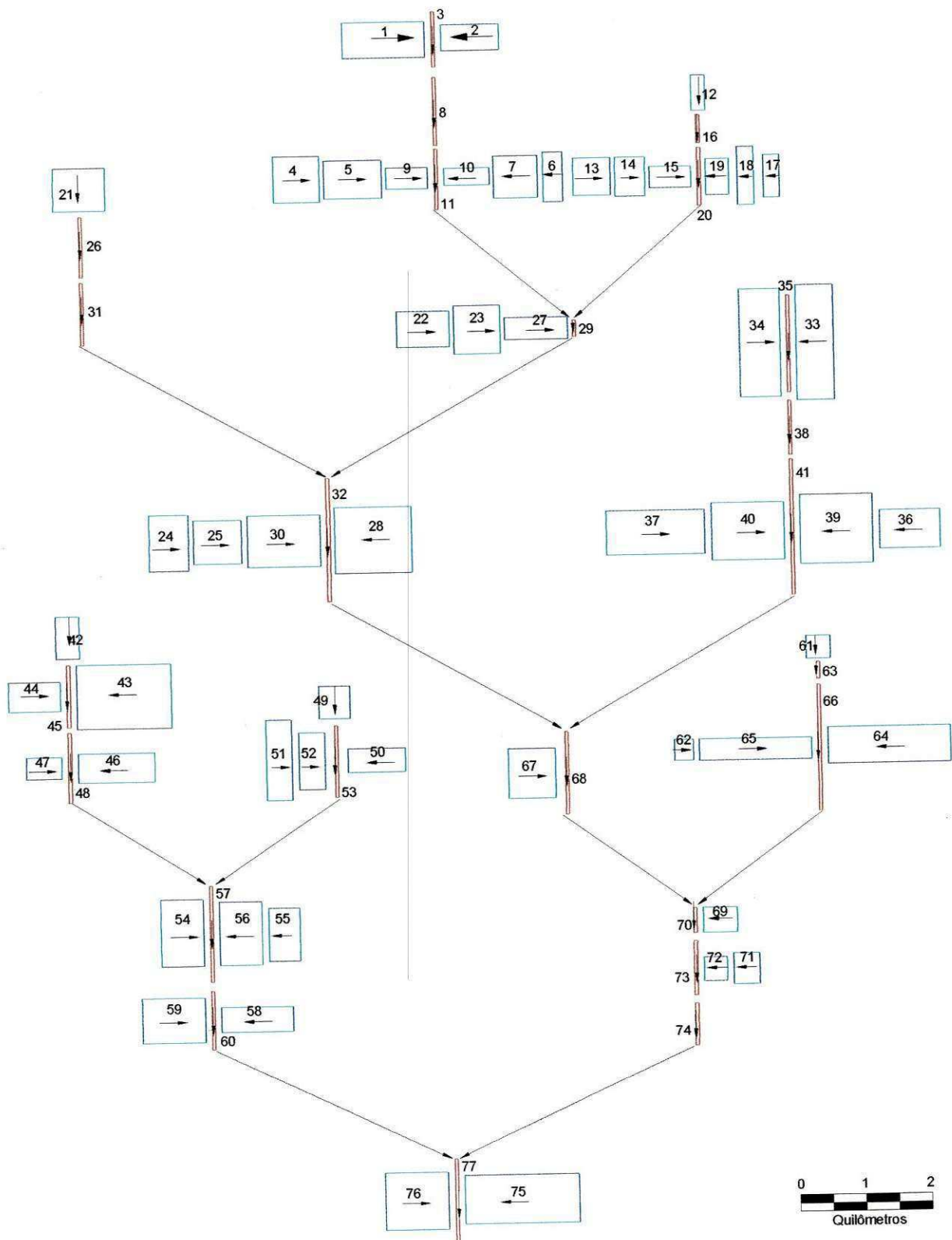


Figura 5.48. Discretização da bacia de Jatobá em planos e canais.

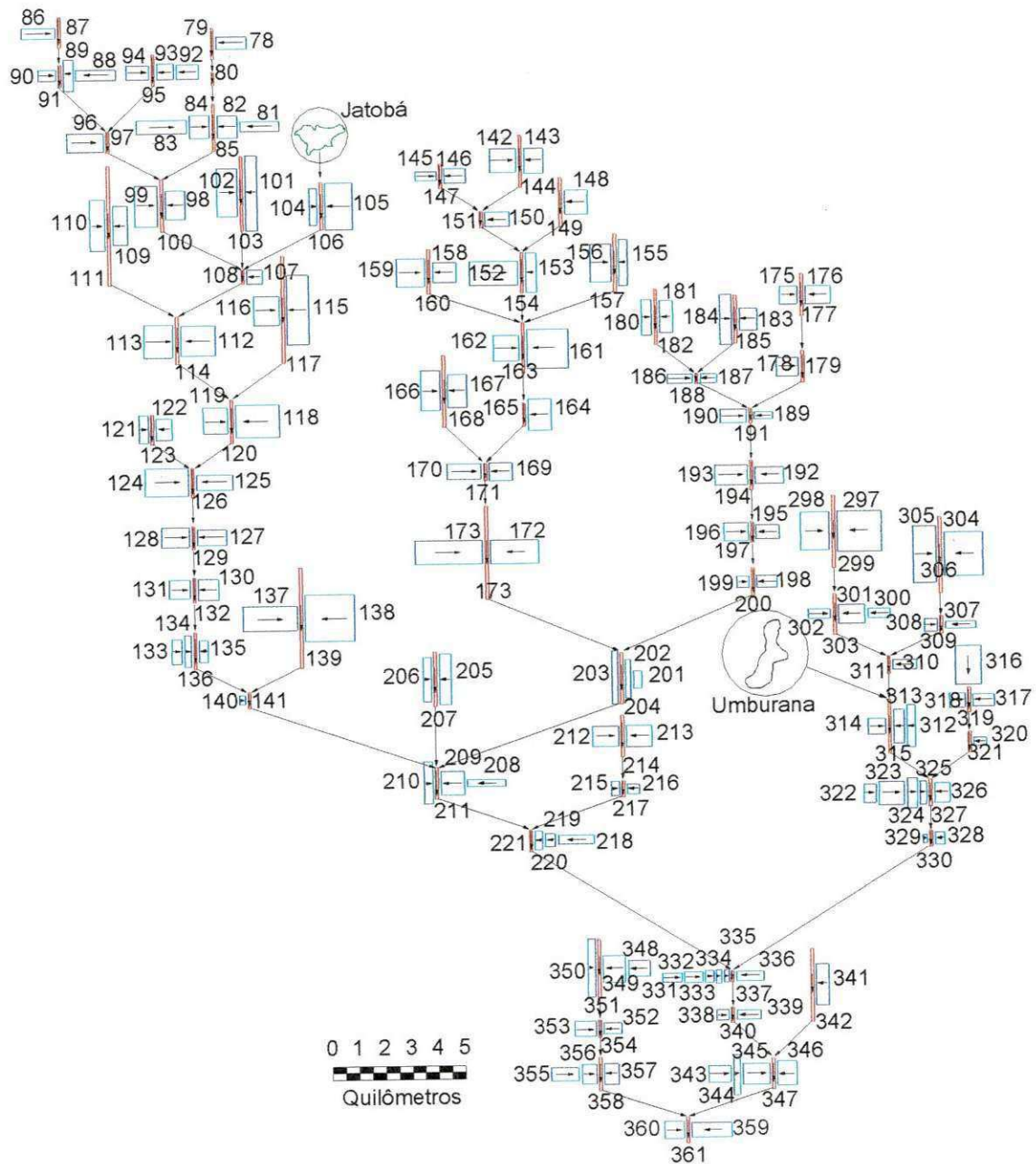


Figura 5.49. Discretização da Bacia Representativa de Sumé em planos e canais.

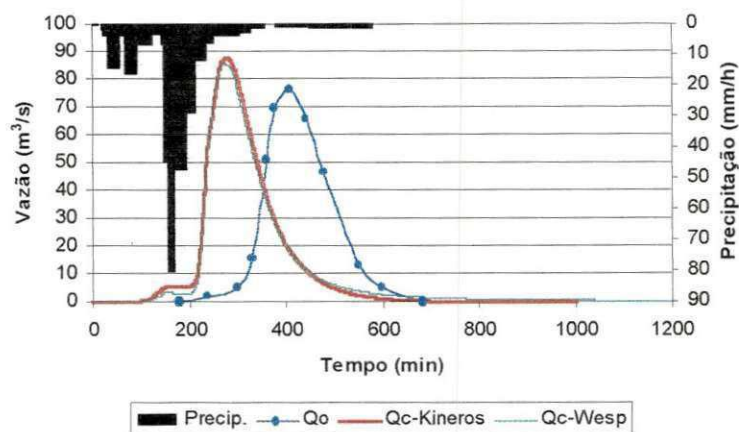


Figura 5.50. Hidrogramas observado e calculado pelos modelos KINEROS2 e WESP para a cheia 01 na sub-bacia de Umburana.

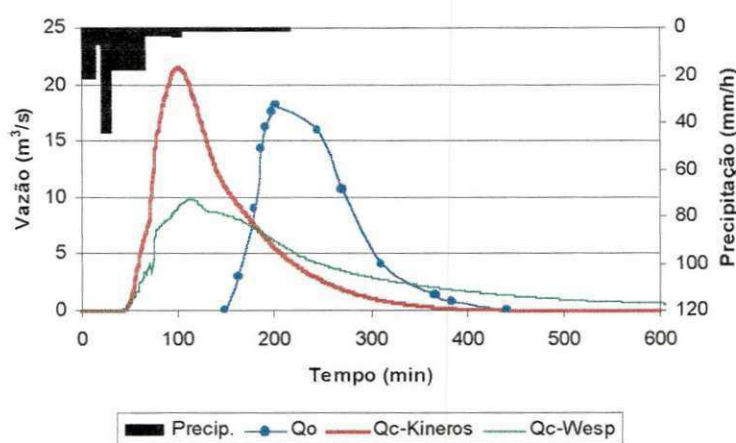


Figura 5.51. Hidrogramas observado e calculado pelos modelos KINEROS2 e WESP para a cheia 09 na sub-bacia de Umburana.

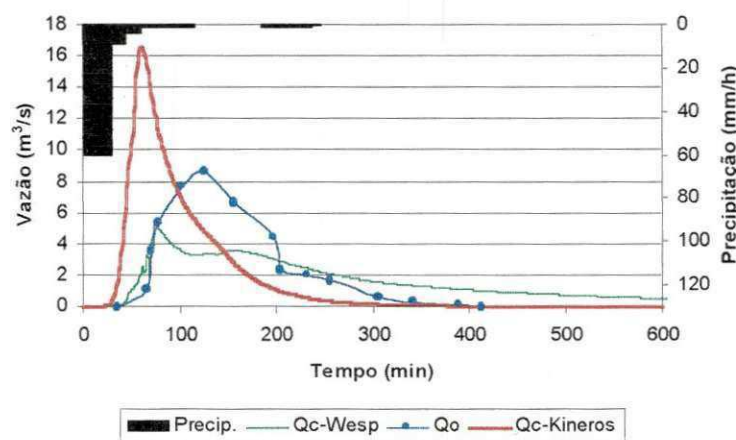


Figura 5.52. Hidrogramas observado e calculado pelos modelos KINEROS2 e WESP para a cheia 11 na sub-bacia de Umburana.

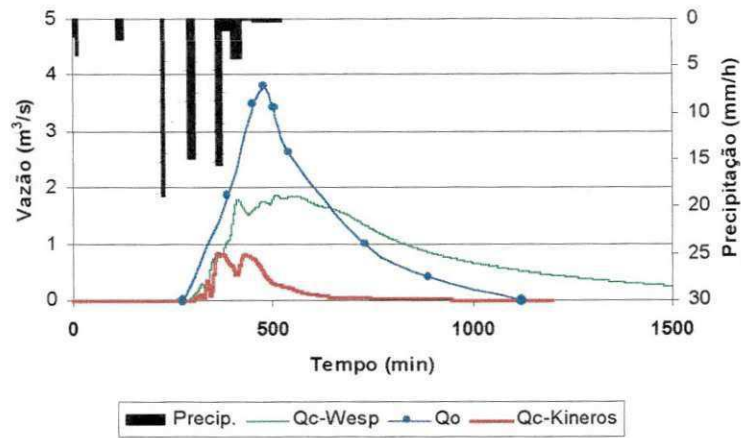


Figura 5.53. Hidrogramas observado e calculado pelos modelos KINEROS2 e WESP para a cheia 11 na sub-bacia de Jatobá.

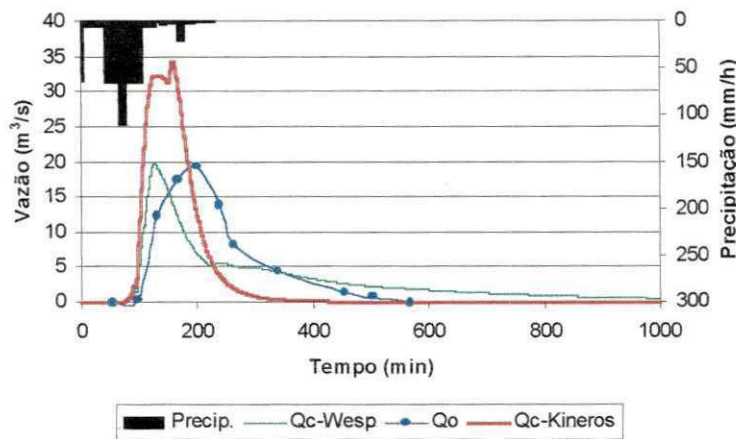


Figura 5.54. Hidrogramas observado e calculado pelos modelos KINEROS2 e WESP para a cheia 16 na sub-bacia de Jatobá.

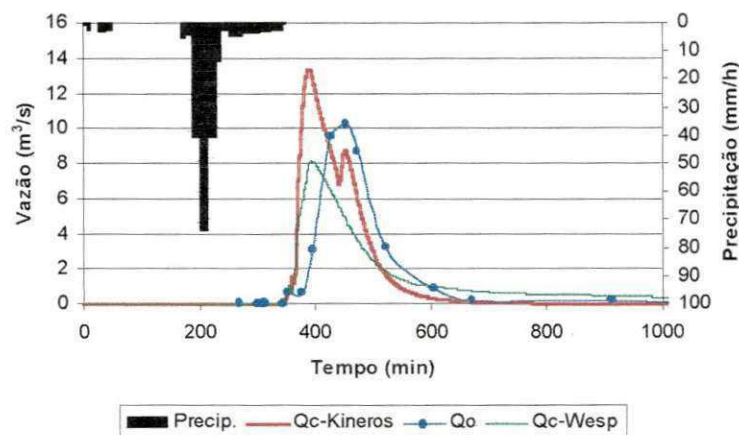


Figura 5.55. Hidrogramas observado e calculado pelos modelos KINEROS2 e WESP para a cheia 19 na sub-bacia de Jatobá.

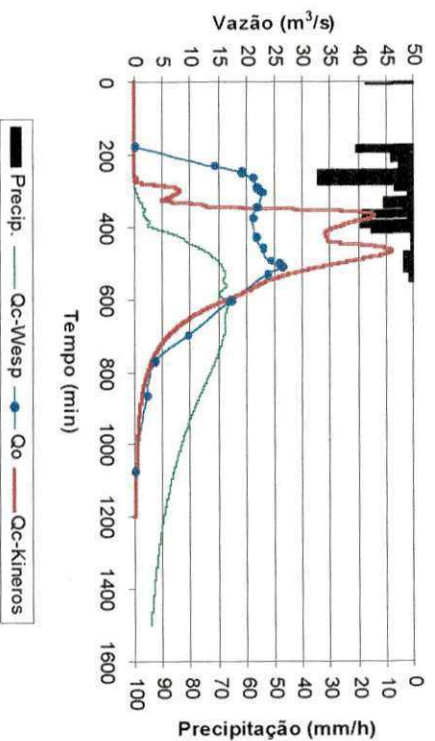


Figura 5.56. Hidrogramas observado e calculado pelos modelos Kineros2 e WESP para a cheia 06 na sub-bacia de Gangorra.

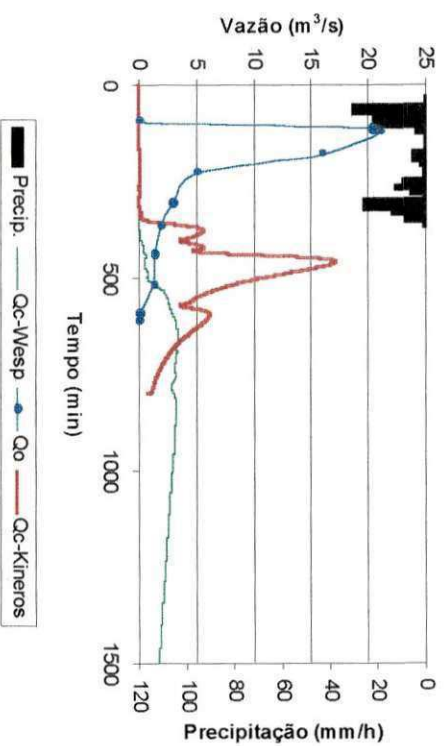


Figura 5.57. Hidrogramas observado e calculado pelos modelos Kineros2 e WESP para a cheia 07 na sub-bacia de Gangorra.

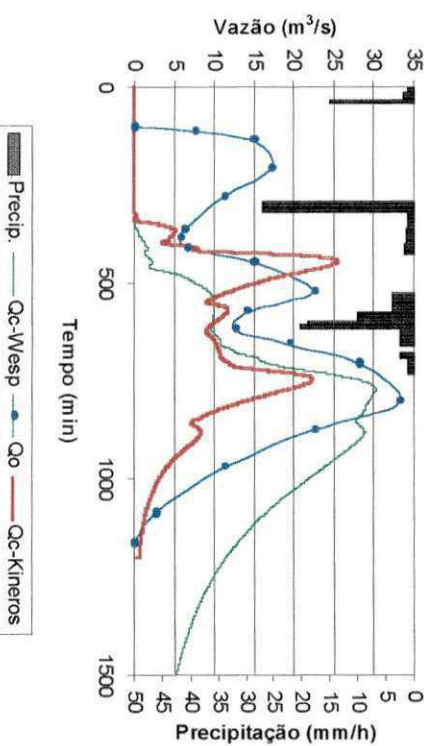


Figura 5.58. Hidrogramas observado e calculado pelos modelos Kineros2 e WESP para a cheia 13 na sub-bacia de Gangorra.

A produção de sedimentos também foi simulada utilizando os dois modelos. No entanto, não existem dados observados de produção de sedimentos nas sub-bacias de Umburana, Jatobá e Gangorra. Sendo assim, não temos como ajustar os parâmetros de erosão dos dois modelos. 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 (0,5 a 1 ha) pode ser calculada 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 dos dois modelos, 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 Kineros2 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, ou seja, d_{50} igual a 0,50 mm;

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) Parâmetro relacionado à coesão do solo (c_o): parâmetro da Equação (4.14) a qual influencia no cálculo da erosão por arrasto do fluxo superficial. Como a produção de sedimentos nas parcelas e microbacias mostrou-se praticamente insensível à sua variação, foi considerado o mesmo valor utilizado para as escalas menores. Sendo assim, o valor do parâmetro foi assumido como sendo igual a 0,01.

Os valores da produção de sedimento calculada com o modelo Kineros2 estão mostrados nas Tabelas 5.12 a 5.14, onde estão marcados os possíveis valores irrealis, ou seja, aqueles que superaram o valor da produção de sedimentos observada para as

microbacias desmatadas

No modelo WESP, os parâmetros utilizados para a modelagem da produção de sedimentos foram:

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

b) Parâmetro de deposição de sedimentos nos planos (ϵ_p): não foi encontrada nenhuma informação na literatura sobre este parâmetro, sendo adotado o valor $\epsilon_p = 0,5$, valor utilizado por Lopes (1987) de acordo com os estudos de Davis (1978).

c) Parâmetro de deposição para os canais (ϵ_c): foi assumido o mesmo valor recomendando por Lopes (1987), baseado nos estudos de Einstein (1968), ou seja, $\epsilon_c = 1,0$.

d) Parâmetro de erodibilidade pelo fluxo superficial nos planos (K_r): apesar deste parâmetro depender das condições de umidade do solo (Srinivasan e Galvão, 1995; Pereira, 1997), sendo geralmente calibrado para cada evento, na modelagem da produção de sedimentos nas sub-bacias, este parâmetro foi considerado constante, assumido o valor igual a $1,80 \text{ kg.m/N}^{1.5}.\text{s}$, valor médio igual ao encontrado por Aragão (2000) na calibração da produção de sedimentos para aproximadamente 100 eventos da microbacia 3 da Bacia Experimental de Sumé.

e) Fator de erodibilidade pelo fluxo superficial nos canais (a): este parâmetro também varia de evento para evento, no entanto, foi utilizado neste estudo um valor constante igual a $0,001 \text{ kg.m/N}^{1.5}.\text{s}$, encontrado em algumas simulações realizadas por Aragão (2000) em eventos na microbacia 3 da Bacia Experimental de Sumé.

f) Parâmetro de erodibilidade por impacto das gotas de chuva (K_i): apesar de Galvão (1990) e Santos (1994) terem afirmado que a produção de sedimentos era pouco sensível a variação de K_i , por analogia ao parâmetro c_f do modelo Kineros2, neste estudo este parâmetro 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 5.15 a 5.17, onde foram marcados os valores irrealistas 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 5.11. Produção de sedimentos média anual para as parcelas e microbacias da Bacia Experimental de Sumé.

Experimento	Produção de Sedimentos (kg/ha/ano)	Cobertura Vegetal
Microbacia 1	126	Caatinga nativa
Microbacia 2	135	Caatinga nativa
Microbacia 3	22.445	Desmatada
Microbacia 4	22.412	Desmatada
Parcela 1	35.449	Desmatada
Parcela 2	834	Cobertura morta
Parcela 3	3.459	Cobertura morta
Parcela 4	49.437	Desmatada
Parcela 5	60	Caatinga nativa
Parcela 6	14.586	Palma/Milho morro abaixo
Parcela 7	8.627	Palma/Feijão em contorno
Parcela 8	16.309	Tipo Wischmeier
Parcela 9	271	Caatinga nova

Tabela 5.12. Valores do parâmetro c_f e produção de sedimentos para a sub-bacia de Umburana com os possíveis valores irrealis marcados.

c_f	Umburana – cheia 01		Umburana – cheia 09		Umburana – cheia 11	
	E_c (kg/ha)	Acrésc.(%)	E_c (kg/ha)	Acrésc.(%)	E_c (kg/ha)	Acrésc.(%)
0	2.967	-	213	-	72	-
10^3	2.967	0,00	213	0,00	72	0,01
10^4	2.967	0,00	213	0,00	72	0,02
10^5	2.967	0,00	213	0,01	72	0,06
10^6	2.967	0,00	213	0,06	72	0,18
10^7	2.968	0,03	213	0,22	72	0,66
10^8	2.969	0,05	215	0,66	74	2,36
10^9	2.972	0,09	219	2,00	81	8,88
10^{10}	2.977	0,16	221	0,94	107	32,27
10^{11}	2.994	0,59	223	0,75	253	136,36
10^{12}	3.133	4,64	237	6,50	1003	330,70
10^{13}	4.477	42,89	394	66,27	67	519,66
10^{14}	17.802	297,65	1.980	402,03	61.681	814,90
10^{15}	150.912	747,70	17.847	801,22	610.894	890,41
10^{16}	1.482.174	882,15	176.514	889,07	6.103.034	899,03
10^{17}	14.794.890	898,19	1.763.198	898,90	61.024.410	899,90

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

c_f	Jatobá - cheia 11		Jatobá - cheia 16		Jatobá - cheia 19	
	E_c (kg/ha)	Acrésc.(%)	E_c (kg/ha)	Acrésc.(%)	E_c (kg/ha)	Acrésc.(%)
0	0,093	-	27	-	5	-
10^3	0,093	0,02	27	0,00	5	0,00
10^4	0,093	0,02	27	0,00	5	0,00
10^5	0,093	0,12	27	0,00	5	0,00
10^6	0,095	1,23	27	0,00	5	0,00
10^7	0,099	4,23	27	0,00	5	0,00
10^8	0,107	8,74	27	0,00	5	0,02
10^9	0,181	68,75	27	0,00	5	0,14
10^{10}	0,923	410,37	27	0,02	6	0,69
10^{11}	8	805,81	27	0,16	6	2,10
10^{12}	83	889,88	28	1,56	7	19,99
10^{13}	827	898,96	32	15,15	18	166,64
10^{14}	8.268	899,90	74	134,47	131	624,86
10^{15}	82.675	899,99	504	578,78	1.261	862,06
10^{16}	826.751	900,00	4.803	852,91	12.560	896,08
10^{17}	8.267.511	900,00	47.795	895,06	125.552	899,62

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

c_f	Gangorra - cheia 06		Jatobá - cheia 07		Jatobá - cheia 13	
	E_c (kg/ha)	Acrésc.(%)	E_c (kg/ha)	Acrésc.(%)	E_c (kg/ha)	Acrésc.(%)
0	21	-	3	-	12	-
10^3	21	0,00	3	0,00	12	0,00
10^4	21	0,00	3	0,00	12	0,00
10^5	21	0,00	3	0,01	12	0,00
10^6	21	0,02	3	0,03	12	0,03
10^7	21	0,15	3	0,14	12	0,22
10^8	21	1,14	3	0,64	12	1,53
10^9	21	1,45	3	3,33	14	9,24
10^{10}	22	1,70	3	9,14	20	47,75
10^{11}	24	10,77	5	44,75	70	246,23
10^{12}	47	97,71	16	225,32	514	639,64
10^{13}	282	495,13	124	677,71	4.900	853,21
10^{14}	2.632	833,97	1.206	869,90	48.749	894,88
10^{15}	26.153	893,65	12.029	897,02	487.253	899,51
10^{16}	261.367	899,36	120.253	899,71	4.872.274	899,95
10^{17}	2.613.498	899,94	1.202.501	899,97	48.722.480	899,99

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

K_i	Umburana – cheia 01		Umburana – cheia 09		Umburana – cheia 11	
	E_c (kg/ha)	Acrésc.(%)	E_c (kg/ha)	Acrésc.(%)	E_c (kg/ha)	Acrésc.(%)
0	70.076		763	-	179	-
10^3	70.076	0,00	763	0,00	179	0,00
10^4	70.076	0,00	763	0,00	179	0,00
10^5	70.076	0,00	763	0,00	179	0,00
10^6	70.077	0,00	763	0,00	179	0,00
10^7	70.087	0,01	763	0,00	179	0,00
10^8	70.182	0,14	763	0,04	179	0,02
10^9	71.137	1,36	766	0,39	179	0,16
10^{10}	80.525	13,20	796	3,84	182	1,53
10^{11}	176.009	118,58	1.088	36,81	202	11,14
10^{12}	1.128.122	540,95	3.969	264,68	391	93,49
10^{13}	10.650.360	844,08	32.411	716,51	2.276	482,40
10^{14}	106.157.100	896,75	316.480	876,46	21.134	828,41

Tabela 5.16. Valores do parâmetro K_i e produção de sedimentos para a sub-bacia de Jatobá com os possíveis valores irrealis marcados.

K_i	Jatobá - cheia 11		Jatobá - cheia 16		Jatobá - cheia 19	
	E_c (kg/ha)	Acrésc.(%)	E_c (kg/ha)	Acrésc.(%)	E_c (kg/ha)	Acrésc.(%)
0	547	-	174.767	-	18.846	-
10^3	547	0,00	174.767	0,00	18.846	0,00
10^4	547	0,00	174.767	0,00	18.846	0,00
10^5	547	0,00	174.767	0,00	18.846	0,00
10^6	547	0,00	174.767	0,00	18.846	0,00
10^7	547	0,00	174.769	0,00	18.846	0,00
10^8	547	0,00	174.769	0,00	18.847	0,01
10^9	547	0,04	175.001	0,13	18.857	0,05
10^{10}	549	0,38	177.101	1,20	18.952	0,50
10^{11}	564	2,60	197.704	11,63	19.829	4,63
10^{12}	641	13,72	388.128	96,32	25.964	30,94
10^{13}	1.411	120,17	2.117.011	445,44	80.568	210,30
10^{14}	9.114	545,72	19.396.140	816,20	625.863	676,82
10^{15}	86.129	845,04	192.180.500	890,82	6.078.159	871,16

Tabela 5.17. Valores do parâmetro K_i e produção de sedimentos para a sub-bacia de Gangorra com os possíveis valores irrealis marcados.

K_i	Gangorra - cheia 06		Gangorra - cheia 07		Gangorra - cheia 13	
	E_c (kg/ha)	Acrésc.(%)	E_c (kg/ha)	Acrésc.(%)	E_c (kg/ha)	Acrésc.(%)
0	169	-	5	-	418	-
10^3	169	0,000	5	0,000	418	0,000
10^4	169	0,000	5	0,000	418	0,000
10^5	169	0,000	5	0,000	418	0,000
10^6	169	0,000	5	0,000	418	0,000
10^7	169	0,000	5	0,000	418	0,000
10^8	169	0,024	5	0,000	418	0,004
10^9	169	-0,021	5	0,001	418	0,041
10^{10}	169	0,226	5	0,011	419	0,406
10^{11}	172	1,725	5	0,108	436	4,029
10^{12}	197	14,745	5	1,084	599	37,291
10^{13}	439	122,514	5	10,725	1.946	224,777
10^{14}	2.848	549,072	11	96,867	15.320	687,451
10^{15}	26.936	845,886	63	492,041	149.048	872,871
10^{16}	267.820	894,289	582	831,089	1.486.303	897,200
10^{17}	2.676.573	899,392	5.779	892,531	14.858.660	899,706

CAPÍTULO 6

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresentaremos as análises e discussões referentes aos resultados apresentados no capítulo 5.

Inicialmente o modelo Kineros2 foi aplicado às nove parcelas da Bacia Experimental de Sumé, sujeitas a várias condições de uso do solo, com o objetivo de verificar a variação dos principais parâmetros relativos ao escoamento superficial e erosão do solo. Em seguida, o modelo foi aplicado a quatro microbacias da Bacia Experimental de Sumé, onde também foram obtidos intervalos de variação dos parâmetros calibráveis do modelo. No caso da modelagem nas microbacias, foram necessárias fazer a discretização das mesmas para a aplicação do modelo. Por último, o escoamento superficial das subbacias foi modelado, onde foi feita uma tentativa de utilizar os mesmos parâmetros utilizados nas escalas menores. Para as escalas maiores, os dois modelos foram utilizados. Em seguida, foi feita uma análise do efeito de escala sobre os parâmetros dos modelos.

6.1. Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas Parcelas

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

a) Para a parcela 1 (Desmatada): De um total de 215 eventos simulados, o modelo não conseguiu representar o escoamento superficial em 43 eventos, tendo 11 eventos obtido $S_i = 0$ e 32 obtido $S_i = 1$. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,76. O parâmetro c_f variou entre 10^5 a 10^8 .

b) Para a parcela 2 (Cobertura morta): De um total de 38 eventos simulados, o modelo não conseguiu representar o escoamento superficial em 21 eventos, tendo 17 eventos obtido $S_i = 0$ e 4 obtido $S_i = 1$. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,56. O parâmetro c_f variou entre 10^4 a 10^8 .

c) Para a parcela 3 (Cobertura morta): De um total de 68 eventos simulados, o modelo não conseguiu representar o escoamento superficial em 26 eventos, tendo 25 eventos obtido $S_i = 0$ e 1 obtido $S_i = 1$. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,64. O parâmetro c_f variou entre 10^3 a 10^7 .

d) Para a parcela 4 (Desmatada): De um total de 189 eventos simulados, o modelo não conseguiu representar o escoamento superficial em 22 eventos, tendo 3 eventos obtido $S_i = 0$ e 19 obtido $S_i = 1$. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,75. O parâmetro c_f variou entre 10^5 a 10^8 .

e) Para a parcela 5 (Caatinga nativa): De um total de 29 eventos simulados, o modelo não conseguiu representar o escoamento superficial em 15 eventos, tendo 10 eventos obtido $S_i = 0$ e 5 obtido $S_i = 1$. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,42. O parâmetro c_f variou entre 10^3 a 10^6 .

f) Para a parcela 6 (Palma morro abaixo): De um total de 154 eventos simulados, o modelo não conseguiu representar o escoamento superficial em 26 eventos, tendo 13 eventos obtido $S_i = 0$ e 13 obtido $S_i = 1$. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,76. O parâmetro c_f variou entre 10^5 a 10^8 .

g) Para a parcela 7 (Palma em contorno): De um total de 142 eventos simulados, o modelo não conseguiu representar o escoamento superficial em 38 eventos, tendo 22 eventos obtido $S_i = 0$ e 16 obtido $S_i = 1$. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,76. O parâmetro c_f variou entre 10^3 a 10^8 .

h) Para a parcela 8 (Tipo Wischmeier): De um total de 72 eventos simulados, o modelo não conseguiu representar o escoamento superficial em 14 eventos, tendo 11 eventos obtido $S_i = 0$ e 3 obtido $S_i = 1$. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,68. O parâmetro c_f variou entre 10^5 a 10^8 .

i) Para a parcela 9 (Caatinga nova): De um total de 23 eventos simulados, o modelo não conseguiu representar o escoamento superficial em 8 eventos, tendo 5 eventos obtido $S_i = 0$ e 3 obtido $S_i = 1$. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,64. O parâmetro c_f variou entre 10^3 a 10^6 .

6.1.1. Escoamento Superficial

Pela aplicação do modelo Kineros2 às nove parcelas da Bacia Experimental de Sumé, pode-se observar que os valores da saturação inicial relativa do solo são bastante altos para todas as parcelas. Apesar desse parâmetro representar a umidade inicial relativa

do solo, ele não parece ser o valor real da saturação inicial relativa do solo em campo. Valores tão altos como estes não podem ocorrer, de forma alguma, em vários eventos de uma região semi-árida, cujo solo permanece seco a maior parte do ano. Para um solo do tipo franco argilo-arenoso, como o da Bacia Experimental de Sumé, a umidade relativa ao ponto de murcha fica em torno de 0,37 e a relativa à capacidade de campo, em torno de 0,64. Sendo assim, teoricamente, o valor do parâmetro S_i deveria está entre esses limites.

Uma explicação para o valor exagerado encontrado nas simulações para o parâmetro S_i pode ter sido a fixação do valor do potencial efetivo de capilaridade G 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 G pela Equação 4.2. Como não tínhamos, foi utilizado o valor recomendado por Woolhiser et al. (1990). Sendo assim, o valor de $G = 260$ mm parece ser alto para o tipo e para as condições de umidade normais do solo da Bacia Experimental de Sumé. Caso tivéssemos realizado simulações com um valor menor para o potencial de capilaridade, com certeza os valores obtidos para a saturação inicial relativa do solo seriam mais realistas.

Todavia, o modelo apresenta coerência entre os valores da saturação inicial relativa do solo, como pode ser observado pelo valor médio do parâmetro S_i . Para as parcelas desmatadas, o valor médio do parâmetro ficou em torno de 0,75. Para as parcelas com vegetação morta, ficou em torno de 0,60. Para as parcelas com plantação de palma, a média do parâmetro S_i foi 0,76. Isso demonstra que o modelo representa realmente a física do processo de infiltração, já que como as parcelas estão bem próximas umas das outras, elas devem ter o mesmo valor de saturação inicial para o mesmo tipo de cobertura.

Aragão (2000) utilizou o modelo WESP para simular o escoamento superficial nas parcelas 1 e 4. O parâmetro calibrável do modelo é o parâmetro N_s . Neste caso, os valores do potencial mátrico do solo, o qual varia com a umidade, e da umidade inicial do solo, são calibrados de uma só vez. Ele encontrou valores de N_s entre 0 e 81 mm para a parcela 1, e valores entre 0 e 88,35 para a parcela 4. O valor médio encontrado para a parcela 1 foi de 13,4 mm e para a parcela 4 foi de 11,3 mm. Se utilizarmos a Equação 4.20, podemos calcular o valor da saturação inicial relativa do solo. Utilizando os valores do potencial efetivo de capilaridade e da porosidade indicados por Woolhiser et al. (1990) para solos

franco argilo-arenosos, o valor médio da saturação inicial relativa do solo encontrada por Aragão seria 0,70 e 0,72 para a parcela 1 e parcela 4, respectivamente. Sendo assim, os dois modelos fornecem resultados semelhantes apesar de possuírem diferentes equações de infiltração.

6.1.2. Produção de Sedimentos

Em relação à produção de sedimentos, o modelo Kineros2 conseguiu simular quase todos os eventos, excetuando alguns onde, mesmo com o valor do parâmetro c_f igual a zero, o valor da produção de sedimentos calculada superou a observada.

Como não existem valores na literatura sobre este parâmetro, e como o mesmo não possui nenhuma relação com as características do solo e se mostrou bastante variável, o parâmetro teve que ser calibrado.

Dessa forma, pelo para as parcelas, os intervalos de variação do parâmetro c_f podem ser recomendados de acordo com o tipo de cobertura vegetal, já que o mesmo variou entre 10^5 a 10^8 para as parcelas desmatadas, de 10^3 a 10^6 para as parcelas com caatinga. Esperava-se que estes valores se mantivessem para as microbacias, mas como veremos adiante, não aconteceu.

O modelo de erosão do Kineros2 não parece representar bem a produção de sedimentos, ou melhor, esperava-se que o parâmetro c_f tivesse um intervalo de variação menor, para que fosse possível determinar um valor para cada tipo de cobertura vegetal. Sendo assim, atualmente ainda se faz necessárias muito mais pesquisas na área de produção de sedimentos. Uma explicação para tal desempenho seria a alta complexidade dos processos de erosão, transporte e deposição.

6.2. Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas Microbacias

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

a) Para a microbacia 1 (Caatinga): De um total de 15 eventos simulados, o modelo não conseguiu representar o escoamento superficial em 4 eventos, tendo 3 eventos obtido $S_i = 0$ e 1 obtido $S_i = 1$. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,68. O parâmetro c_f variou entre 10^4 a 10^6 .

b) Para a microbacia 2 (Caatinga): De um total de 19 eventos simulados, o modelo não conseguiu representar o escoamento superficial em 7 eventos, tendo 2 eventos

obtido $S_i = 0$ e 5 obtido $S_i = 1$. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,69. O parâmetro c_f variou entre 10^5 a 10^6 .

c) Para a microbacia 3 (Desmatada): De um total de 105 eventos simulados, o modelo não conseguiu representar o escoamento superficial em 19 eventos, tendo 6 eventos obtido $S_i = 0$ e 13 obtido $S_i = 1$. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,76. O parâmetro c_f variou entre 10^6 a 10^{11} .

d) Para a microbacia 4 (Desmatada): De um total de 97 eventos simulados, o modelo não conseguiu representar o escoamento superficial em 14 eventos, tendo 5 eventos obtido $S_i = 0$ e 5 obtido $S_i = 1$. A média do parâmetro S_i ficou em torno de 0,68. O parâmetro c_f variou entre 10^5 a 10^8 .

6.2.1. Escoamento Superficial

Novamente os valores médios da saturação inicial relativa do solo são bem altos para um solo franco argilo-arenoso numa região semi-árida. Os motivos para essa ocorrência são os mesmo apresentados para os casos das parcelas.

O modelo também manteve a coerência entre os valores médios do parâmetro S_i nas microbacias 1 e 2, as quais possui o mesmo tipo de cobertura vegetal (caatinga) e estão localizadas muito próximas. Obteve-se um valor médio de 0,68.

Já para as microbacia 3 e 4, os valores médios do parâmetro S_i foram diferentes. Apesar de ambas serem desmatadas, elas não se localizam tão próximas quanto as microbacias 1 e 2.

6.2.2. Produção de Sedimentos

O modelo Kineros2 conseguiu simular a produção de sedimentos em praticamente todos os eventos nas microbacias 3 e 4. Na microbacia 1, em 3 eventos não foi possível calibrar a produção de sedimentos, onde mesmo determinando o valor do parâmetro c_f igual a zero, o valor da produção de sedimentos calculada superou a observada. Na microbacia 2, a produção de sedimentos não foi simulada em 11 eventos. Isso pode ser explicado pelo fato da produção de sedimentos nas microbacias com caatinga ser bem pequena.

Novamente, o intervalo de variação do parâmetro c_f foi igual para experimentos com o mesmo tipo de cobertura vegetal. Para as microbacias com caatinga, o parâmetro variou de 10^4 a 10^6 e de 10^6 a 10^{11} para as microbacias desmatadas.

Percebe-se que a magnitude dos valores do parâmetro c_f aumentou quando comparando à variação obtida nas parcelas.

6.2.3. Análise do Efeito da discretização da Microbacia 4 sobre os Parâmetros do Modelo Kinos2

Pela análise das Figuras 5.42 e 5.43, percebe-se que os resultados obtidos para os parâmetros do modelo Kinos2 referentes ao escoamento superficial, parâmetro saturação inicial relativa do solo (S_i), e para o parâmetro relativo à erosão por impacto das gotas de chuva, parâmetro c_f , não sofreram alterações significativas, comparando a discretização realizada por Galvão (1990) e a discretização realizada neste estudo.

Uma explicação para esse resultado, seria que mesmo os planos não tendo sido bem delimitados no estudo feito por Galvão (1990), ou seja, a seqüência de cálculo dos elementos planos não seguiu corretamente a topografia na microbacia, podendo comprometer os valores dos parâmetros no cálculo do escoamento superficial e da produção de sedimentos, como o tempo de resposta da microbacia 4 é muito pequeno, todos os elementos contribuem praticamente ao mesmo tempo para a foz da microbacia. Com certeza, se tal procedimento de discretização fosse realizado em uma bacia com área relativamente grande, como é o caso da Bacia Representativa de Sumé, os parâmetros do modelo variariam bastante.

6.3. Escoamento Superficial e Erosão do Solo nas Sub-bacias

6.3.1. Escoamento Superficial

Das nove cheias analisadas, em somente duas o volume do escoamento superficial não foi bem simulado com o modelo Kinos2: a cheia nº 11 na bacia de Jatobá, e a cheia nº 13 na bacia de Gangorra (BRS).

Comparando-se especificamente essas duas cheias com as demais, observa-se que o padrão de chuva delas é semelhante em termos de conterem intervalos sem precipitação. Dessa forma, tudo indica que a umidade do solo calculada no modelo Kinos2 nestes intervalos sem precipitação é inferior à umidade real do solo. Sendo assim, como a umidade do solo calculada pelo modelo está menor do que na realidade, a maior parte da chuva é absorvida, e o escoamento superficial calculado é inferior ao escoamento observado.

Além disso, a má representação do volume dessas duas cheias pelo modelo pode ter sido agravado devido à presença de áreas cultivadas, principalmente na bacia de Jatobá, o

que influencia os parâmetros de infiltração utilizados no modelo, ou seja, esses parâmetros podem variar de evento para evento de acordo com o tipo de tratamento dado e ao tipo de vegetação da área cultivada. Outra razão seria a utilização de dados de precipitação média sobre toda a bacia. Apesar da área possuir 5 pluviógrafos, só estão disponíveis dados de precipitação média sobre a bacia.

No entanto, em todas as cheias, o volume de escoamento superficial observado foi bem representado pelo modelo WESP (Tabela 5.10). Isso se deve principalmente ao fato que o limite para o valor do parâmetro N_s é bem alto, chegando a aproximadamente 400 mm para solos franco argilo-arenosos em condições bastante secas. Já no modelo Kineros2, os parâmetros saturação inicial relativa do solo S_i e potencial efetivo de capilaridade do solo G possuem uma interdependência entre si, ou seja, temos que calibrar o modelo ajustando os dois parâmetros, mas mantendo uma coerência entre eles, ou seja, para solos em condições secas, o valor do parâmetro G deve ser alto, e para solos em condições úmidas, o valor de G deve ser baixo, sendo praticamente igual a zero para solos em condições saturadas.

Todavia, alguns hidrogramas obtidos com o modelo WESP apresentam curvas de recessão muito longas, indicando, que possa ter ocorrido erro numérico nas simulações.

Observa-se também que o modelo Kineros2 superestima as vazões observadas enquanto o modelo WESP subestima-as, ou seja, isso se deve ao fato da taxa de infiltração calculada pelo modelo de infiltração do Kineros2, equação de Smith e Parlange (1978), ser sempre inferior à taxa de infiltração calculada pelo modelo de infiltração do WESP, equação de Green e Ampt (1911), como podemos observar numericamente pelo seguinte cálculo: 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 $S_i = 0,50$. Variando o valor do total infiltrado I , chega-se aos valores da Tabela 6.1.

Sendo assim, o escoamento superficial calculado pelo modelo Kineros2 é sempre superior ao modelo WESP, como pode ser observado pela análise dos hidrogramas, excetuando naquelas simulações onde o evento de precipitação possui muitos intervalos sem chuva, como é o caso da cheia 11 da sub-bacia de Jatobá.

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)
5	38,4	39,9
10	20,3	21,7
15	14,2	15,6
20	11,2	12,6
25	9,4	10,8
30	8,2	9,6
35	7,4	8,7
40	6,7	8,1
45	6,2	7,5
50	5,9	7,1
55	5,5	6,8
60	5,3	6,5

6.3.2. Produção de Sedimentos

Como pode ser observado na Tabela 5.12, a qual representa as simulações da produção de sedimentos para a sub-bacia de Umburana com o modelo Kineros2, o parâmetro c_f assume um valor entre 10^{11} a 10^{14} para a cheia 01, um valor de 10^{12} a 10^{14} para a cheia 09 e um valor de 10^{10} a 10^{13} para a cheia 11, onde foram marcados com um traço os valores irrealis de produção de sedimentos. O mesmo procedimento foi adotado para as outras duas sub-bacias, como mostrados nas Tabelas 5.13 e 5.14. Para a sub-bacia de Jatobá, o parâmetro c_f variou de 10^{10} a 10^{14} para a cheia 11, de 10^{13} a 10^{16} para a cheia 16 e de 10^{12} a 10^{16} para a cheia 19. Para a Bacia Representativa de Sumé, sub-bacia de Gangorra, o intervalo de variação do parâmetro c_f foi de 10^{11} a 10^{14} para a cheia 06, de 10^{10} a 10^{15} para a cheia 07 e de 10^9 a 10^{13} para a cheia 13.

Comparando os resultados fornecidos pelos dois modelos, percebe-se que a produção de sedimentos calculada pelo modelo Kineros2 sempre supera a produção de sedimentos calculada pelo modelo WESP, apesar dos valores assumidos para os três parâmetros calibráveis do modelo WESP: K_r , K_i , α . Isso se deve principalmente ao fato de que no modelo WESP não existe uma limitação da concentração de sedimentos no fluxo, como existe no modelo Kineros2, determinada pela Equação 4.15.

6.4. Efeito de Escala sobre os parâmetros do Modelo Kineros2

Analisando os valores do parâmetro relacionado à erosão por impacto das gotas de chuva do modelo Kineros2, parâmetro c_f , percebe-se que existe efeito de escala sobre este parâmetro. 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 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, e diminuindo um pouco para a sub-bacia de Gangorra, como apresentado na Figura 6.1.

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.

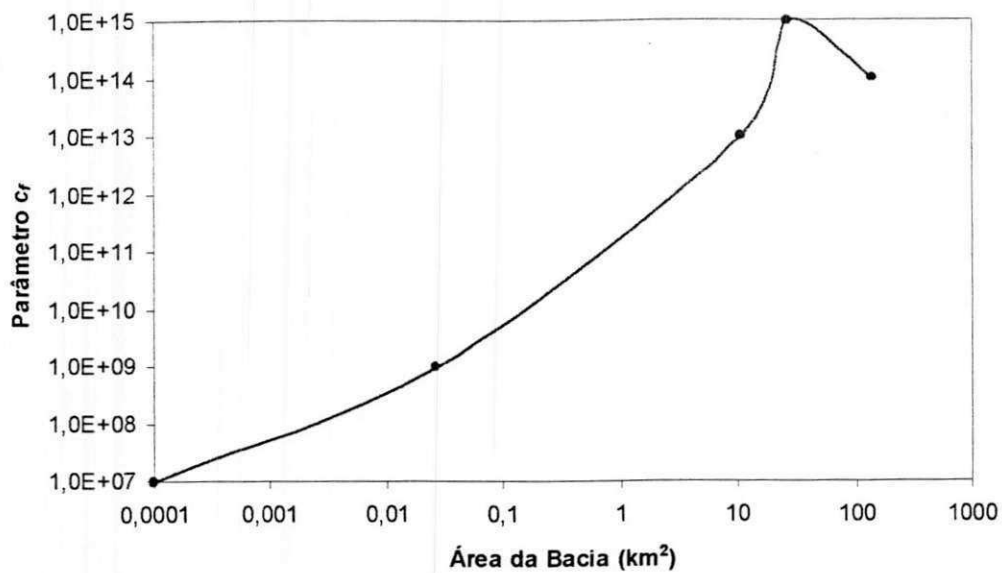


Figura 6.1. Variação do parâmetro c_f com a escala da bacia.

6.5. Efeito de Escala sobre os parâmetros do Modelo WESP

Pelos mesmos motivos apresentados da impossibilidade de relacionar o parâmetro G do modelo Kineros2 com a escala da bacia, também não se pode relacionar o valor do parâmetro de capilaridade N_s do modelo WESP. Porém, os valores encontrados para o parâmetro N_s nas simulações do escoamento superficial para as sub-bacias são, em sua maioria, bem superiores aos encontrados por Aragão (2000), quando ele aplicou o mesmo modelo às parcelas 1 e 4 e às microbacias 3 e 4, onde os valores do parâmetro N_s calibrados raramente superaram 80 mm. Sendo assim, pode-se afirmar que o parâmetro N_s também sofre efeito de escala.

Em relação ao parâmetro de erodibilidade pelo impacto das gotas de chuva, parâmetro K_i , não se pode afirmar que exista efeito de escala sobre esse parâmetro devido ao fato que o modelo WESP possui três parâmetros calibráveis, e os outros dois foram mantidos constantes neste estudo e em pesquisas anteriores tinha havido o oposto, o parâmetro K_i tinha sido fixado e os outros dois (K_r e a) tinham sido calibrados. Dessa forma, nada se pode afirmar sobre a influência da escala da bacia hidrográfica sobre esse parâmetro.

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho, dois modelos hidrossedimentológicos foram utilizados. Um deles, o modelo Kineros2, foi aplicado a nove parcelas e quatro microbacias da Bacia Experimental de Sumé, bem como, a três sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé. O segundo modelo, o modelo WESP, foi aplicado somente às sub-bacias. Com base nessas aplicações, algumas conclusões e recomendações podem ser feitas.

7.1. Conclusões

As principais conclusões advindas deste trabalho são:

a) Os dois modelos simulam bem o escoamento superficial e razoavelmente bem a produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas da região semi-árida, visto que os parâmetros relativos à produção de sedimentos variam em uma larga faixa;

b) Nas escalas maiores, o modelo Kineros2 superestima os picos de vazão enquanto o modelo WESP subestima-os. Fato explicado levando-se em conta a equação de infiltração de cada modelo. A taxa de infiltração calculada pela equação de Smith e Parlange (1978), utilizando o parâmetro $\alpha = 0,85$, é sempre inferior à taxa calculada pela equação de Green e Ampt (1911), utilizada no modelo WESP;

c) A produção de sedimentos calculada pelo modelo WESP sempre supera à calculada pelo modelo Kineros2. Isso se deve à presença de uma equação de capacidade de transporte de sedimentos no modelo Kineros2, o que reduz a produção de sedimentos calculada;

d) Existe efeito de escala sobre os parâmetros que representam o valor efetivo do potencial de capilaridade, parâmetro G , e sobre o parâmetro relativo à erosão por impacto das gotas de chuva, parâmetro c_f . O primeiro precisou ser calibrado para ajustar o volume do escoamento superficial nas sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé, enquanto nas parcelas e microbacias da Bacia Experimental, um valor fixo de 260 mm foi suficiente para

ajustar o volume do escoamento em praticamente todos os eventos utilizados. O parâmetro c_f aumenta com a escala de bacias hidrográficas com áreas inferiores a aproximadamente 30 km²;

e) O parâmetro c_f também varia conforme o tipo de cobertura das bacias, variando entre 10³ a 10⁶ para parcelas (100 m²) com cobertura vegetal de caatinga e de 10⁵ a 10⁸ para parcelas desmatadas. Para microbacias (0,5 a 1 ha), o parâmetro c_f variou de 10⁶ a 10¹¹, para as microbacias desmatadas e de 10⁴ a 10⁶, para microbacias com cobertura vegetal caatinga;

f) O parâmetro c_f assumiu um valor máximo de 10¹⁵ para bacias hidrográficas com área inferior a 140 km²;

g) O modelo de infiltração do Kineros2, apesar de haver uma expressão para o cálculo da recuperação da capacidade de infiltração (Eq. 4.3) baseada nos estudos de Smith et al. (1993) e Corradini et al. (1994), não obteve sucesso na simulação de chuvas com intervalos sem precipitação, como ficou evidente em duas simulações para as sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé;

h) O parâmetro potencial de capilaridade do modelo WESP, parâmetro N_s , também sofre efeito de escala, visto que em algumas simulações nas sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé, foram obtidos valores superiores a 200 mm. Aragão (2000) encontrou um valor máximo de 90 mm quando aplicou o mesmo modelo às parcelas e microbacias da Bacia Experimental de Sumé.

7.2. Recomendações

Com base nos estudos realizados, as seguintes recomendações podem ser feitas:

a) Discretizar as três sub-bacias da Bacia Representativa de Sumé em um número inferior de elementos planos e canais, com o objetivo de verificar o menor número possível de elementos para cada sub-bacia, com os quais, a modelagem do escoamento superficial não fique comprometida.

b) Implementar, no modelo WESP ou Kineros2, uma expressão que relacione o potencial de capilaridade do solo com a umidade, para que não seja necessária a utilização de um valor efetivo do potencial de capilaridade;

c) Aplicar o modelo Kineros2 a bacias hidrográficas com área superiores a 140 km², com o objetivo de verificar o comportamento da variação do parâmetro c_f com a escala dessas bacias.

8. 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.
- 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., Wicks, J. M., and 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.

- Bennett, J. P. (1974). Concepts of mathematical modeling of sediment yield. *Water Resources Research*, 10(3): 485-492.
- 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.
- 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.
- 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.
- Corradini, C., Melone, F. e Smith, R. E. (1994). Modeling infiltration during complex rainfall sequences. *Water Resources Research*, 30(10), 2777-2784.
- 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).
- 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).
- Engelund, F. e Hansen, E. (1967). A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams. Teknisk Vorlag, Copenhagen.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Júnior, H. B. L. (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.
- Kleeberg, H. B., Overland, H. e Paus, B. (1989). NAVMO, Version 1.1, Nieseschlag – Abfluss – Verdunstung Modell. Documentation. Universität der Bundeswehr München, Alemanha.

- 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.
- 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.
- Mehta, A. J. (1983). Characterization Tests for Cohesive Sediments. In: Shen, H. W. *Frontiers in hydraulic Engineering*, Cambridge, Mass., ASCEMT, 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.
- 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.
- 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
- 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.

- 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.
- 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.
- Smith, R. E. e Parlange, J. Y. (1978). A Parameter-Efficient Hydrologic Infiltration Model. Water Res. Res., 14(3): 533-538.
- Smith, R. E., Corradini, C. e Melone, F. (1993). Modeling Infiltration for Multistorm Runoff Events. Water Resources Research, 29(1): 133-144.
- 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., 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.
- 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.
- Streeter, V. L. e Wylie, E. B. (1982). Mecânica dos Fluidos. McGraw-Hill, São Paulo. 585p.
- 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. (1998). Modelos hidrológicos. Ed. da UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 668p.
- Wade, J. C. e Heady, E. O. (1978). Measurement of Sediment Control Impacts on Agriculture. *Water Resour. Res.*, 14: 1-8.
- 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.
- Wischmeier, W. H. e Smith, D. D. (1960). A universal Soil-loss Equation to Guide Conservation Farm Planning. 7th Int. Cong. Soil Sci. Trans.1: 418-425.
- 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, nº. 3, pp 671-678.

ANEXO 1 – Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para parcelas e microbacias da Bacia Experimental de Sumé.

Tabela 1. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a parcela 1.

Cheia	Parcela	L (mm)	E (kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração (min)
1	P1	0,10	3,4	0,420	0,10	1,9	4,00E+04	3,3	-4,4	80
4	P1	14,40	574	0,695	14,44	0,3	2,04E+06	575	0,2	130
5	P1	0,26	2,5	1,000	0,17	-36,1	-	-	-	170
12	P1	0,10	2,6	0,820	0,12	15	1,30E+06	3,0	16	120
13	P1	0,04	3,9	0,684	0,04	7,1	2,30E+06	4,1	3,4	190
14	P1	0,03	0,1	0,000	0,60	1899	-	-	-	430
15	P1	0,12	1,1	0,925	0,11	-8,3	8,00E+05	1,1	-1,5	710
16	P1	17,87	829	0,802	17,95	0,5	1,18E+07	832	0,4	470
17	P1	0,28	8,9	0,867	0,27	-3,1	4,00E+06	9,1	1,9	30
18	P1	0,17	2,4	1,000	0,15	-9,6	1,80E+06	2,1	-10,9	280
19	P1	1,21	117	0,400	1,21	-0,1	6,00E+05	117	-0,2	170
20	P1	0,07	3,3	0,455	0,07	13	6,00E+05	3,1	-6,7	580
21	P1	0,25	33,9	0,839	0,24	-0,3	2,10E+06	34,0	0,1	240
22	P1	6,26	572	0,460	6,27	0,2	8,10E+06	583	1,9	140
23	P1	0,06	1,4	0,703	0,07	14	1,50E+05	1,0	-24,8	30
25	P1	6,43	667	0,780	6,46	0,5	1,38E+07	666	-0,2	370
26	P1	1,18	81,0	0,779	1,22	3,7	1,30E+07	81,6	0,7	50
27	P1	10,94	1.490	0,770	10,76	-1,6	1,68E+07	1488	-0,1	340
28	P1	0,09	2,7	0,859	0,11	20	1,10E+06	3,1	16	100
30	P1	21,48	3.018	0,546	21,57	0,4	9,10E+05	3015	-0,1	150
31	P1	3,48	997	0,268	3,53	1,4	6,88E+06	995	-0,2	110

Cheia	Parcela	L (mm)	E (kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração (min)
32	P1	2,66	210	0,839	2,71	1,8	1,85E+06	213	1,5	250
33	P1	1,91	332	0,871	1,95	1,9	2,12E+06	333	0,2	170
34	P1	0,02	0,4	0,841	0,02	18	3,90E+04	0,4	-0,6	1300
35	P1	5,19	181	0,923	5,18	-0,2	2,26E+07	181	0,1	600
36	P1	22,63	652	1,000	18,15	-19,8	8,60E+04	653	0,2	1030
37	P1	7,84	251	0,948	7,80	-0,6	1,60E+07	253	0,8	260
38	P1	0,11	2,8	0,839	0,11	-2,5	3,30E+05	2,9	1,3	130
39	P1	2,79	258	0,900	2,77	-0,7	1,70E+07	258	0,0	930
40	P1	0,08	4,2	0,045	0,14	79	6,00E+04	4,3	2,7	280
41	P1	4,88	1.346	0,760	4,91	0,6	1,22E+06	1348	0,2	230
42	P1	56,79	12.843	0,828	56,86	0,1	1,51E+07	12843	0,0	380
45	P1	1,73	622	0,805	1,71	-1,1	2,20E+06	621	-0,2	270
46	P1	3,10	652	0,219	3,10	-0,1	7,46E+06	652	0,0	590
47	P1	6,05	1.978	0,886	6,12	1,2	3,47E+07	1977	0,0	290
48	P1	0,27	107	0,930	0,34	28	1,15E+08	108	0,4	1960
49	P1	12,58	3.030	0,797	12,51	-0,6	2,51E+07	3034	0,1	390
50	P1	7,84	1.536	0,887	7,79	-0,6	1,50E+07	1537	0,1	320
51	P1	7,33	632	1,000	7,15	-2,5	6,86E+07	632	0,0	330
52	P1	3,64	920	0,544	3,53	-2,9	7,45E+06	920	0,0	770
53	P1	5,75	1.134	0,065	5,91	2,9	9,93E+06	1134	0,0	640
54	P1	8,26	1.333	1,000	0,72	-91,3	-	-	-	20
55	P1	7,74	734	0,699	7,66	-1,1	1,59E+07	734	-0,1	320
56	P1	2,16	244	1,000	0,00	-100,0	-	-	-	570
57	P1	4,86	747	0,806	4,90	0,9	5,34E+06	745	-0,2	250
58	P1	6,83	942	0,933	6,80	-0,5	3,52E+07	943	0,1	180
59	P1	20,70	4.334	0,820	20,63	-0,3	1,87E+07	4344	0,2	290
60	P1	52,50	3.731	0,000	55,98	6,6	4,20E+06	3731	0,0	810
61	P1	16,00	632	1,000	16,24	1,5	1,83E+07	631	-0,1	650

Cheia	Parcela	L (mm)	E (kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração (min)
62	P1	2,41	17,0	1,000	1,65	-31,5	-	-	-	570
63	P1	15,10	2.962	0,850	15,24	0,9	8,70E+06	2967	0,2	610
64	P1	2,00	4,6	1,000	0,30	-85,2	-	-	-	530
66	P1	26,00	9.403	1,000	24,25	-6,7	1,45E+08	9413	0,1	370
67	P1	3,49	8.658	0,000	41,20	1081	-	-	-	490
68	P1	39,30	6.048	1,000	16,70	-57,5	-	-	-	970
69	P1	28,20	2.843	1,000	19,82	-29,7	-	-	-	350
70	P1	4,46	1.190	1,000	3,92	-12,2	2,80E+08	1195	0,4	470
71	P1	8,82	2.373	0,710	8,53	-3,3	2,05E+07	2389	0,7	190
72	P1	1,12	181	0,760	1,23	9,5	1,28E+07	182	0,3	90
73	P1	4,18	617	0,940	4,22	1,0	6,15E+07	620	0,4	380
74	P1	12,30	1.325	0,950	12,24	-0,5	4,30E+05	1314	-0,9	340
75	P1	1,54	177	0,550	1,52	-1,4	1,20E+07	175	-1,0	470
76	P1	12,50	6.309	0,870	12,38	-0,9	2,98E+07	6350	0,6	880
78	P1	2,46	8,1	0,930	2,47	0,4	2,65E+05	8,1	-0,4	980
79	P1	0,06	0,9	0,946	0,06	-8,1	2,90E+06	0,9	0,5	90
80	P1	51,39	31.500	0,000	79,04	54	-	-	-	880
82	P1	1,56	485	0,930	1,54	-1,3	4,75E+08	484	-0,2	310
83	P1	8,05	2.776	0,749	8,13	1,0	3,80E+07	2772	-0,1	270
84	P1	7,91	1.827	0,917	7,79	-1,6	1,67E+07	1831	0,2	240
87	P1	4,06	600	0,930	4,14	2,1	1,82E+07	601	0,2	70
88	P1	8,14	640	1,000	4,99	-38,7	-	-	-	2320
89	P1	2,18	166	1,000	1,99	-8,5	4,50E+07	164	-0,8	200
90	P1	6,31	298	1,000	3,35	-47,0	-	-	-	340
91	P1	4,49	1.062	1,000	3,68	-18,0	1,77E+08	1066	0,4	70
92	P1	7,85	1.069	0,879	7,98	1,7	8,95E+07	1072	0,3	420
93	P1	7,77	82,0	1,000	3,31	-57,4	-	-	-	740
94	P1	7,79	31,9	1,000	6,15	-21,1	-	-	-	440

Cheia	Parcela	L (mm)	E (kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
95	P1	18,24	298	0,550	18,10	-0,8	1,05E+06	301	1,0	310
96	P1	12,80	1.442	0,710	12,84	0,4	5,68E+06	1453	0,8	260
97	P1	1,20	43,6	1,000	0,37	-69,2	-	-	-	80
98	P1	3,56	492	0,817	3,70	3,9	3,92E+06	493	0,2	540
99	P1	7,86	857	0,643	7,95	1,2	8,50E+06	857	-0,1	380
100	P1	29,70	2.856	0,000	38,57	30	-	-	-	270
101	P1	1,52	316	0,940	1,45	-4,4	5,00E+07	314	-0,5	740
102	P1	7,90	1.936	1,000	3,94	-50,2	-	-	-	320
103	P1	1,06	321	0,760	1,04	-1,9	7,00E+05	322	0,4	60
104	P1	1,29	379	0,898	1,25	-3,2	9,20E+07	378	-0,3	100
106	P1	3,89	187	0,600	3,96	1,8	1,32E+06	187	-0,1	480
107	P1	11,70	1.904	0,330	11,62	-0,7	2,72E+06	1911	0,4	270
108	P1	7,78	1.118	0,931	7,65	-1,7	2,24E+05	1128	0,9	500
109	P1	0,77	182	0,737	1,03	33	-	-	-	190
110	P1	3,67	5.381	0,040	3,70	0,7	3,25E+07	5390	0,2	210
111	P1	17,09	4.048	0,650	17,06	-0,2	7,25E+06	4048	0,0	280
113	P1	0,77	220	0,660	0,76	-1,3	3,22E+06	221	0,1	120
114	P1	1,73	201	0,819	1,71	-0,9	7,65E+06	200	-0,3	410
115	P1	0,27	20,5	0,000	0,05	-80,7	-	-	-	420
116	P1	18,65	9.051	0,000	41,83	124	-	-	-	270
117	P1	7,75	423	1,000	7,64	-1,4	1,53E+07	423	0,1	710
118	P1	7,78	392	0,650	7,73	-0,7	1,90E+06	392	0,2	470
119	P1	7,99	472	0,550	7,91	-1,0	2,15E+06	475	0,7	690
120	P1	4,20	118	0,913	4,19	-0,2	2,90E+06	117	-0,9	740
121	P1	1,27	78,1	0,924	1,28	1,1	1,75E+06	78,6	0,7	340
122	P1	7,74	383	0,860	7,79	0,6	4,88E+05	385	0,4	40
123	P1	6,31	156	0,872	6,34	0,4	1,52E+06	156	0,0	160
124	P1	13,58	520	0,150	13,49	-0,7	8,65E+05	521	0,2	110

Cheia	Parcela	L (mm)	E (kg/ha)	S_f	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
125	P1	12,02	416	0,000	14,62	22	-	-	-	950
126	P1	43,11	3.898	0,000	67,81	57	-	-	-	590
130	P1	8,98	754	0,000	13,50	50	-	-	-	840
131	P1	0,87	62,4	0,830	0,86	-1,3	4,25E+06	62,3	-0,2	40
132	P1	8,94	489	0,717	9,02	0,8	6,30E+06	490	0,2	240
133	P1	0,30	31,5	0,590	0,31	2,9	4,20E+06	31,4	-0,4	120
134	P1	0,86	52,0	0,860	0,89	3,3	4,00E+06	51,6	-0,8	1160
135	P1	3,58	145	0,923	3,55	-0,7	5,70E+06	146	0,5	440
136	P1	17,93	1.622	0,730	17,95	0,1	7,40E+06	1633	0,7	340
137	P1	4,62	211	0,882	4,64	0,5	9,50E+05	211	-0,1	100
139	P1	1,27	30,5	0,694	1,27	0,2	2,85E+06	30,6	0,3	900
140	P1	0,10	14,4	0,465	0,12	23	-	-	-	1030
141	P1	0,04	2,7	0,000	0,14	241	-	-	-	1090
142	P1	0,15	7,3	0,352	0,14	-8,5	2,65E+04	7,3	-0,3	310
143	P1	1,01	168	0,341	1,03	2,5	4,70E+05	170	0,8	680
144	P1	2,59	237	0,738	2,57	-0,6	5,00E+06	237	0,1	70
146	P1	1,75	347	0,788	1,72	-1,6	5,16E+06	348	0,2	160
148	P1	0,14	6,0	0,669	0,14	0,6	6,00E+05	6,0	0,8	110
149	P1	17,07	1.445	0,700	17,09	0,1	1,00E+07	1454	0,6	800
150	P1	1,34	79,2	0,655	1,37	1,9	2,05E+05	78,7	-0,5	390
151	P1	1,30	68,3	0,920	1,30	-0,3	1,65E+05	67,8	-0,6	80
152	P1	13,62	388	0,770	13,66	0,4	4,00E+05	386	-0,5	270
153	P1	25,73	3.870	0,580	25,64	-0,4	6,10E+06	3882	0,3	330
154	P1	0,26	15,8	0,822	0,27	3,7	8,20E+05	15,9	0,8	290
155	P1	4,50	1.082	0,557	4,53	0,7	1,06E+07	1084	0,2	140
156	P1	0,22	52,8	0,220	0,21	-4,3	9,50E+04	52,3	-1,0	40
157	P1	0,02	1,9	0,871	0,03	27	-	-	-	390
158	P1	5,08	614	0,842	5,23	3,1	6,05E+06	615	0,0	510

Cheia	Parcela	L (mm)	E (kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o(\%)$	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o(\%)$	Duração(min)
159	P1	1,27	132	0,932	1,28	1,2	1,06E+06	132	0,0	100
160	P1	0,09	4,4	0,913	0,08	-4,3	6,50E+04	4,4	-0,9	150
161	P1	12,36	1.463	0,866	12,42	0,5	3,15E+07	1467	0,2	290
162	P1	7,69	1.642	0,125	7,82	1,6	7,03E+06	1635	-0,5	80
163	P1	44,83	6.905	0,120	44,58	-0,6	8,00E+06	6840	-0,9	180
164	P1	18,02	735	0,385	17,88	-0,8	9,60E+05	735	-0,1	120
165	P1	2,16	892	0,813	2,14	-0,8	4,77E+07	891	-0,1	180
166	P1	34,64	4.236	1,000	34,05	-1,7	1,10E+07	4243	0,2	380
167	P1	7,72	609	1,000	7,74	0,3	7,00E+05	606	-0,4	200
168	P1	7,90	602	0,890	8,05	1,8	3,13E+05	602	0,0	250
169	P1	3,98	451	0,677	3,75	-6,0	1,15E+06	449	-0,3	150
170	P1	33,01	3.835	0,650	33,07	0,2	3,78E+06	3870	0,9	180
171	P1	0,15	7,8	0,845	0,15	-0,2	1,35E+05	7,7	-0,7	100
172	P1	7,09	2.723	0,890	7,10	0,2	5,12E+07	2748	0,9	130
173	P1	21,84	3.638	0,845	21,79	-0,2	8,30E+06	3667	0,8	110
174	P1	0,35	72,1	0,610	0,32	-7,8	5,78E+05	72,6	0,7	100
175	P1	12,87	3.860	0,782	12,87	0,0	1,73E+07	3886	0,7	140
177	P1	13,13	2.375	0,768	13,22	0,7	5,66E+06	2355	-0,8	80
178	P1	8,82	4.405	0,580	8,85	0,4	1,97E+07	4413	0,2	130
179	P1	7,94	1.463	0,880	7,92	-0,2	9,40E+06	1451	-0,8	90
181	P1	18,60	4.366	0,765	18,62	0,1	9,40E+06	4385	0,4	190
183	P1	12,87	3.354	0,842	12,87	0,0	2,95E+07	3349	-0,1	110
184	P1	1,46	135	0,909	1,52	3,7	1,32E+06	135	-0,1	80
185	P1	13,78	2.169	1,000	7,38	-46,5	-	-	-	610
186	P1	20,06	2.262	1,000	13,16	-34,4	-	-	-	60
187	P1	8,04	1.624	0,840	8,01	-0,4	9,65E+06	1617	-0,4	80
188	P1	15,60	3.073	0,640	15,54	-0,4	1,08E+07	3062	-0,4	490
189	P1	29,39	3.370	0,670	29,61	0,7	3,86E+06	3380	0,3	470

Cheia	Parcela	L (mm)	E (kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_0)/L_0$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_0)/E_0$ (%)	Duração (min)
190	P1	1,41	67,5	0,896	1,42	0,5	9,00E+05	67,2	-0,4	180
191	P1	0,98	29,9	0,950	0,98	0,1	3,45E+04	29,8	0,0	150
193	P1	4,51	676	0,628	4,00	-11,1	1,57E+04	677	0,0	380
194	P1	0,57	34,4	0,842	0,57	0,4	7,86E+06	34,2	-0,4	360
195	P1	7,79	851	0,800	7,77	-0,2	9,15E+06	852	0,1	220
196	P1	0,30	28,1	0,889	0,27	-10,8	7,90E+06	28,2	0,3	110
197	P1	8,10	1.710	0,775	8,07	-0,4	1,84E+07	1712	0,1	180
198	P1	17,20	4.222	0,620	17,20	0,0	1,88E+07	4195	-0,6	150
199	P1	18,25	4.604	0,830	18,30	0,3	1,25E+07	4600	-0,1	880
200	P1	0,94	126	0,829	0,95	0,2	1,24E+06	127	0,4	220
201	P1	58,26	7.324	0,858	58,31	0,1	4,64E+06	7324	0,0	820
202	P1	3,38	40,4	0,823	3,36	-0,6	3,64E+05	40,4	0,1	30
203	P1	1,22	24,7	0,899	1,27	4,2	2,15E+05	24,8	0,4	320
204	P1	3,17	41,3	0,931	3,14	-1,0	1,75E+06	41,2	-0,2	130
205	P1	0,71	8,8	0,937	0,70	-2,0	9,89E+06	8,7	-0,8	480
206	P1	0,70	7,7	0,913	0,71	1,8	5,63E+05	7,7	0,4	300
207	P1	8,43	12.153	1,000	0,87	-89,7	-	-	-	240
208	P1	16,32	1.900	1,000	14,16	-13,2	5,00E+07	1899	0,0	540
209	P1	24,51	2.610	0,490	24,61	0,4	8,26E+05	2611	0,0	150
211	P1	1,03	142	0,837	1,06	2,2	9,50E+05	143	0,6	410
212	P1	7,99	1.564	0,720	8,07	1,0	7,79E+06	1566	0,1	460
213	P1	0,10	2,3	0,786	0,10	-1,9	3,50E+05	2,3	0,3	110
214	P1	0,68	34,4	0,881	0,68	-1,0	3,75E+06	34,3	-0,3	760
215	P1	4,10	893	0,742	4,14	0,9	2,68E+05	893	0,0	320
216	P1	0,34	97,1	0,849	0,31	-6,3	5,10E+07	97,5	0,4	280
217	P1	1,26	158	0,913	1,25	-0,6	6,85E+06	158	-0,2	270
218	P1	9,51	1.270	0,798	9,38	-1,4	2,33E+06	1272	0,1	350
219	P1	19,12	1.867	0,929	19,12	0,0	8,30E+06	1877	0,5	760

Cheia	Parcela	L (mm)	E (kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração (min)
220	P1	2,61	59,6	1,000	2,08	-20,2	-	-	-	320
223	P1	0,57	24,1	0,900	0,55	-3,5	3,00E+06	24,0	-0,4	140
224	P1	2,86	210	0,897	2,84	-0,5	1,25E+06	209	-0,2	240
225	P1	17,31	1.591	0,865	17,35	0,2	3,76E+06	1581	-0,7	370
226	P1	19,90	6.137	0,840	19,71	-0,9	2,00E+07	6153	0,3	390
227	P1	14,92	1.157	0,928	14,85	-0,4	2,24E+07	1162	0,5	500
229	P1	14,70	2.797	0,615	14,61	-0,6	2,15E+07	2818	0,7	210
238	P1	16,33	2.282	1,000	4,64	-71,6	-	-	-	440
239	P1	3,29	1.679	0,847	3,30	0,3	1,45E+06	1689	0,6	130
240	P1	2,73	2.791	0,770	2,74	0,3	7,62E+06	2767	-0,9	590
241	P1	4,99	351	0,885	5,00	0,3	5,02E+06	350	-0,2	470
242	P1	3,23	996	0,730	3,21	-0,8	1,50E+07	1001	0,5	350
244	P1	0,10	7,4	0,885	0,07	-27,2	-	-	-	460
245	P1	7,90	1.152	0,905	7,97	0,9	2,40E+07	1160	0,7	980
246	P1	7,84	565	0,725	7,80	-0,5	4,30E+06	567	0,4	70
247	P1	6,35	530	0,871	6,33	-0,3	8,95E+06	527	-0,5	450
249	P1	0,45	21,8	0,773	0,46	0,8	2,95E+06	21,8	0,0	130
250	P1	0,08	1,0	0,879	0,07	-0,1	5,75E+05	1,0	-0,9	250
251	P1	0,09	1,4	0,770	0,08	-10,2	4,70E+04	1,4	-0,9	70
252	P1	0,11	23,3	0,807	0,11	-0,5	1,08E+07	23,4	0,4	250
254	P1	0,17	20,5	0,705	0,16	-2,7	8,20E+05	20,5	0,2	140
259	P1	75,79	25.102	1,000	4,76	-93,7	-	-	-	330
260	P1	15,57	7.890	0,850	15,56	-0,1	4,78E+05	7912	0,3	960
261	P1	20,43	1.138	1,000	1,90	-90,7	-	-	-	870
263	P1	0,03	2,3	0,598	0,03	32	-	-	-	260
264	P1	4,98	468	0,859	5,07	1,7	-	-	-	260

Tabela 2. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a parcela 2.

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
4	P2	4,91	201	0,10	5,30	7,88	4,0E+04	203	0,94	130
12	P2	0,15	8,00	0,84	0,15	0,17	1,4E+06	7,96	-0,44	120
22	P2	0,12	3,59	0,00	3,51	2824,4	-	-	-	140
27	P2	0,17	6,20	0,00	1,04	511,3	-	-	-	340
31	P2	0,54	12,0	0,00	1,31	141,8	-	-	-	110
32	P2	0,16	1,28	0,66	0,12	-22,2	1,6E+04	1,29	0,78	250
36	P2	0,17	1,17	0,07	0,17	-0,59	3,0E+04	1,18	1,12	1030
37	P2	0,10	0,33	0,70	0,10	1,12	4,2E+05	0,33	0,76	260
42	P2	36,7	88,2	0,12	36,7	0,14	0,0E+00	130	47,1	380
49	P2	0,14	1,33	0,00	3,95	2828,2	-	-	-	390
60	P2	10,2	7,30	0,00	54,5	434,4	-	-	-	810
61	P2	8,09	6,40	0,86	8,12	0,34	0,0E+00	7,48	16,9	650
63	P2	6,20	6,60	0,63	6,39	3,13	0,0E+00	7,84	18,9	610
65	P2	2,12	587	0,92	2,10	-0,81	9,8E+07	586	-0,24	40
66	P2	9,22	2,55	0,65	9,19	-0,32	0,0E+00	8,76	244	370
68	P2	33,4	168	1,00	24,8	-25,6	-	-	-	970
69	P2	23,4	15,0	1,00	19,8	-15,3	-	-	-	350
80	P2	80,2	82,9	0,05	80,3	0,13	0,0E+00	196	136	875
83	P2	0,62	0,62	0,00	1,33	114,0	-	-	-	270
85	P2	1,88	1,47	0,71	1,88	0,26	0,0E+00	1,58	7,25	930
92	P2	13,7	13,6	1,00	12,2	-10,7	1,6E+08	13,5	-0,79	420
94	P2	5,48	0,72	0,94	5,53	0,92	0,0E+00	3,61	402	440
95	P2	39,8	300	1,00	33,3	-16,4	1,1E+06	301	0,43	310
96	P2	14,5	14,4	0,78	14,4	-0,33	0,0E+00	30,5	112	255
100	P2	52,3	37,0	0,75	52,2	-0,22	0,0E+00	242	553	270
118	P2	0,10	4,35	0,00	2,54	2439,9	-	-	-	465

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
124	P2	3,29	116	0,00	12,3	273,0	-	-	-	115
125	P2	10,2	253	0,00	14,6	43,5	-	-	-	950
126	P2	76,9	4334	0,47	77,3	0,48	7,2E+09	4363	0,67	590
132	P2	6,59	166	0,58	6,47	-1,89	2,6E+05	166	-0,49	240
136	P2	0,93	73,6	0,00	9,41	912,1	-	-	-	340
138	P2	15,9	567	0,18	15,9	0,07	1,1E+06	564	-0,51	940
163	P2	0,17	1,28	0,00	43,8	25686,6	-	-	-	180
166	P2	0,13	1,81	0,00	9,44	7449,5	-	-	-	380
173	P2	2,48	28,1	0,00	10,8	336,0	-	-	-	115
177	P2	0,10	1,50	0,00	6,49	6386,7	-	-	-	80
178	P2	0,11	3,30	0,00	4,30	3809,8	-	-	-	130
199	P2	0,30	10,4	0,00	9,04	2955,7	-	-	-	880
201	P2	8,13	67,0	0,00	38,3	371,3	-	-	-	830

Tabela 3. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a parcela 3.

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
1	P3	1,57	81,0	0,552	1,52	-3,16	2,8E+06	80,7	-0,33	80
4	P3	12,4	1203	0,610	12,4	0,17	3,1E+06	1209	0,52	130
11	P3	0,15	1,70	0,853	0,14	-6,72	7,5E+04	1,69	-0,61	30
12	P3	0,98	71,0	0,888	0,95	-2,86	7,3E+06	71,0	0,01	120
16	P3	2,34	16,0	0,252	2,34	0,13	6,8E+03	16,1	0,47	470
20	P3	0,14	1,01	0,490	0,14	1,05	1,8E+05	1,01	-0,49	580
22	P3	2,20	11,1	0,000	3,67	66,6	-	-	-	140
25	P3	3,53	56,0	0,644	3,58	1,41	9,3E+05	55,7	-0,57	370
27	P3	5,72	49,0	0,500	5,87	2,58	7,5E+03	48,9	-0,26	340
31	P3	6,14	225	0,527	6,07	-1,13	1,6E+05	224	-0,40	110
32	P3	1,08	204	0,730	1,07	-0,99	2,4E+06	206	0,79	250
33	P3	1,60	16,0	0,865	1,62	1,32	1,4E+05	16,1	0,67	170
35	P3	1,01	3,48	0,810	1,09	7,83	3,6E+05	3,48	0,03	600
37	P3	1,39	3,41	0,800	1,39	0,26	5,0E+04	3,43	0,48	260
39	P3	0,17	0,32	0,745	0,17	2,21	1,5E+03	0,32	-0,45	930
40	P3	1,27	2,40	0,255	1,29	1,39	0,0E+00	2,75	14,5	280
41	P3	3,23	13,6	0,602	3,18	-1,55	0,0E+00	17,4	27,4	230
42	P3	26,8	21824	0,000	35,2	31,6	-	-	-	380
44	P3	1,61	3,00	0,696	1,64	2,13	0,0E+00	4,72	57,3	1040
45	P3	0,17	0,21	0,626	0,16	-3,74	0,0E+00	0,21	-1,49	270
46	P3	1,21	11,0	0,000	1,44	18,9	-	-	-	590
47	P3	1,46	39,5	0,696	1,45	-0,61	3,0E+06	39,6	0,17	290
49	P3	3,52	4,90	0,000	3,86	9,70	-	-	-	390
50	P3	0,70	2,26	0,588	0,69	-1,18	8,0E+04	2,26	-0,18	320
52	P3	0,17	0,32	0,102	0,17	-1,35	1,5E+03	0,32	0,17	770
59	P3	0,14	1,36	0,000	9,99	7,037	-	-	-	290

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
60	P3	5,43	3,41	0,000	55,2	917	-	-	-	810
61	P3	1,72	4,00	0,676	1,81	5,30	2,5E+03	4,03	0,70	650
63	P3	4,70	4,30	0,526	4,70	0,07	0,0E+00	14,9	246	610
66	P3	5,24	2,83	0,550	5,20	-0,76	0,0E+00	13,1	364	370
67	P3	27,6	27,5	0,300	27,8	0,83	0,0E+00	258	839	490
68	P3	14,1	14,0	0,795	14,2	0,47	0,0E+00	59,2	323	970
69	P3	12,1	6,80	0,830	12,2	0,61	0,0E+00	56,9	737	350
70	P3	1,33	0,75	0,895	1,26	-4,91	0,0E+00	2,38	218	470
71	P3	0,38	1,44	0,000	3,21	745	-	-	-	190
80	P3	92,0	14,0	0,400	91,8	-0,21	0,0E+00	590	4.111	880
83	P3	2,10	1,79	0,120	2,01	-4,48	0,0E+00	7,41	314	270
85	P3	5,55	3,17	0,827	5,47	-1,51	0,0E+00	15,1	376	930
88	P3	0,69	0,61	0,834	0,69	-0,28	0,0E+00	1,18	93,1	2320
90	P3	0,14	0,24	0,822	0,15	6,07	3,1E+03	0,24	-0,28	340
91	P3	0,11	0,06	0,823	0,09	-13,9	0,0E+00	0,08	35,2	70
92	P3	11,1	16,4	0,930	11,0	-0,76	0,0E+00	27,3	66,4	420
93	P3	0,96	0,44	0,875	0,93	-2,90	0,0E+00	1,30	196	740
94	P3	7,50	2,10	1,000	6,15	-18,0	0,0E+00	11,9	468	440
95	P3	24,2	16,7	0,800	24,4	0,52	0,0E+00	172	928	310
96	P3	13,2	9,24	0,724	13,1	-0,89	0,0E+00	71,4	673	260
99	P3	0,98	5,64	0,000	1,90	93,9	-	-	-	380
100	P3	19,2	16,0	0,000	48,2	152	-	-	-	930
102	P3	2,73	6,10	0,915	2,76	1,00	0,0E+00	9,57	56,8	320
111	P3	0,15	0,98	0,000	6,87	4.478	-	-	-	280
124	P3	1,27	65,5	0,000	12,3	869	-	-	-	110
125	P3	8,04	173	0,000	14,6	81,1	-	-	-	950
130	P3	0,93	72,3	0,000	13,3	1.331	-	-	-	830
132	P3	5,39	166	0,437	5,37	-0,38	3,0E+06	168	1,04	240

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
136	P3	1,07	78,4	0,000	9,82	817	-	-	-	340
138	P3	8,11	131	0,000	14,5	78,9	-	-	-	940
163	P3	0,32	1,31	0,000	42,7	13.154	-	-	-	170
164	P3	1,08	20,6	0,000	14,5	1.252	-	-	-	128
170	P3	0,17	2,98	0,000	26,0	15.165	-	-	-	180
173	P3	1,62	32,0	0,000	11,0	576	-	-	-	105
198	P3	0,17	4,62	0,000	1,20	626	-	-	-	150
201	P3	8,05	54,5	0,000	38,3	375	-	-	-	820
209	P3	0,13	0,78	0,000	19,7	15.030	-	-	-	150
227	P3	0,63	2618	0,340	0,63	-0,10	-	-	-	500

Tabela 4. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a parcela 4.

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
4	P4	13,3	2.044	0,653	13,3	0,11	8,2E+06	2.044	0,00	130
12	P4	0,17	13,0	0,825	0,15	-12,1	2,2E+06	13,1	0,72	120
13	P4	0,47	12,0	0,746	0,47	0,63	3,3E+06	12,0	0,31	190
16	P4	12,2	739	0,701	12,2	-0,28	2,0E+07	741	0,18	470
17	P4	1,39	134	0,919	1,43	3,21	1,7E+07	133	-0,79	30
19	P4	1,34	72,0	0,397	1,32	-1,37	5,5E+05	71,3	-1,02	170
20	P4	0,16	4,00	0,485	0,16	1,27	6,1E+05	4,00	-0,02	580
21	P4	1,05	87,9	0,891	1,04	-1,42	1,5E+07	87,9	0,02	240
22	P4	8,01	1.961	0,594	7,77	-2,97	2,4E+07	1.954	-0,36	140
25	P4	8,05	1.992	0,831	7,99	-0,75	3,0E+07	1.963	-1,43	370
26	P4	0,26	34,0	0,726	0,27	4,62	2,0E+06	33,9	-0,38	50
27	P4	11,2	4.908	0,758	11,3	0,41	5,6E+07	4.908	0,00	340
31	P4	4,41	2.250	0,380	4,44	0,72	2,4E+07	2.269	0,84	110
32	P4	2,09	717	0,802	2,16	3,20	2,0E+07	719	0,28	250
33	P4	3,62	4.747	0,925	3,63	0,37	2,4E+08	4.751	0,08	170
35	P4	5,50	2.359	0,932	5,52	0,41	3,1E+08	2.360	0,05	600
36	P4	21,3	3.502	1,000	18,1	-14,9	2,2E+06	3.503	0,03	1030
37	P4	8,22	1.285	1,000	7,72	-6,08	1,1E+08	1.291	0,49	260
38	P4	1,37	2.616	0,915	1,38	0,75	2,3E+05	2.615	-0,03	140
39	P4	5,36	659	1,000	4,98	-7,19	5,2E+07	656	-0,36	930
40	P4	11,4	1.975	0,853	11,2	-1,41	2,5E+07	1.973	-0,07	280
41	P4	8,21	2.106	0,935	8,19	-0,20	1,7E+07	2.103	-0,13	230
42	P4	54,2	24.520	0,780	54,3	0,17	2,3E+07	24.532	0,05	380
44	P4	7,54	2.458	0,937	7,49	-0,61	6,8E+07	2.455	-0,13	1040
45	P4	3,53	935	0,896	3,47	-1,66	1,3E+07	936	0,08	270
46	P4	5,91	1.709	0,480	5,90	-0,25	5,2E+07	1.710	0,07	590

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
47	P4	6,23	4.584	0,900	6,23	-0,01	2,9E+07	4.576	-0,17	290
49	P4	15,7	14.336	0,894	15,4	-1,93	7,2E+07	14.330	-0,04	390
50	P4	7,90	3.298	0,898	7,95	0,62	9,0E-01	3.299	0,03	320
51	P4	4,43	695	0,915	4,43	0,00	6,1E+07	696	0,17	330
52	P4	5,01	3.163	0,611	4,98	-0,64	4,6E+07	3.191	0,88	770
53	P4	8,16	3.055	0,388	8,19	0,36	5,4E+06	3.052	-0,08	640
55	P4	6,16	1.122	0,640	6,23	1,20	1,7E+07	1.121	-0,12	320
57	P4	2,86	856	0,681	2,84	-0,84	1,3E+07	857	0,13	250
58	P4	7,21	1.820	0,940	7,23	0,34	7,7E+07	1.817	-0,18	180
59	P4	20,9	11.980	0,800	21,1	0,82	6,1E+07	11.940	-0,33	290
60	P4	60,9	9.544	0,400	60,6	-0,43	8,9E+06	9.605	0,65	810
61	P4	10,8	11.193	0,892	11,3	4,42	4,8E+07	11.297	0,93	650
62	P4	1,02	491	0,934	1,00	-1,58	2,7E+08	495	0,82	360
63	P4	14,1	6.231	0,840	14,2	0,49	3,5E+06	6.187	-0,71	610
65	P4	2,47	703	0,922	2,51	1,46	8,8E+06	702	-0,20	40
66	P4	18,8	14.100	0,847	18,9	0,47	7,3E+07	14.241	1,00	370
67	P4	42,6	3.798	0,880	42,8	0,44	4,7E+06	3.765	-0,86	500
68	P4	27,4	15.566	1,000	25,0	-8,87	1,8E+08	15.580	0,09	970
69	P4	22,3	6.014	1,000	19,8	-11,1	7,2E+07	6.001	-0,21	350
70	P4	1,66	1.596	0,900	1,71	3,14	4,9E+08	1.587	-0,53	470
71	P4	11,2	5.183	0,749	11,1	-0,75	6,6E+07	5.183	0,00	190
72	P4	3,67	1.317	0,887	3,69	0,50	3,9E+07	1.326	0,68	90
74	P4	9,19	4.003	0,868	9,25	0,64	1,2E+07	3.986	-0,41	340
75	P4	2,43	468	0,550	2,50	2,95	2,3E+07	472	0,83	470
76	P4	12,5	4.493	0,870	12,4	-0,28	2,2E+07	4.513	0,46	880
78	P4	1,61	43,6	0,907	1,62	0,58	3,7E+06	43,5	-0,10	980
80	P4	88,7	60.590	0,330	89,3	0,76	6,0E+07	60.982	0,65	880
82	P4	1,08	273	0,912	1,02	-5,44	2,1E+07	272	-0,50	310

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
83	P4	10,9	1.956	0,865	11,0	1,04	2,1E+07	1.965	0,47	270
84	P4	9,18	1.822	0,945	9,15	-0,34	5,3E+07	1.830	0,45	240
85	P4	9,42	1.197	0,902	9,42	0,01	9,8E+06	1.193	-0,34	930
87	P4	3,58	255	0,920	3,60	0,58	1,7E+07	256	0,37	70
88	P4	4,47	166	0,941	4,51	0,83	5,0E+06	166	0,13	2320
89	P4	2,47	97,4	1,000	2,01	-18,6	2,8E+07	98,3	0,90	200
90	P4	1,13	4,83	0,870	1,13	-0,04	1,1E+05	4,86	0,56	340
91	P4	3,24	12,2	0,939	3,25	0,40	2,0E+04	12,1	-0,59	70
93	P4	2,78	8,20	0,938	2,82	1,44	8,0E+05	8,25	0,57	740
95	P4	33,0	3.757	1,000	33,4	0,99	1,1E+07	3.755	-0,05	310
96	P4	13,6	2.775	0,750	13,5	-0,95	1,6E+07	2.773	-0,07	260
98	P4	4,95	59,0	0,880	4,94	-0,15	8,5E+05	59,5	0,88	540
99	P4	10,1	1.514	0,755	10,0	-0,30	7,7E+06	1.516	0,15	380
100	P4	49,9	1.889	0,100	49,8	-0,22	7,7E+05	1.894	0,26	940
101	P4	1,48	32,0	0,940	1,50	1,08	5,5E+03	31,8	-0,53	740
103	P4	2,35	125	0,860	2,36	0,47	1,3E+06	124	-0,58	60
104	P4	2,69	596	0,942	2,71	0,82	7,5E+07	599	0,48	100
106	P4	7,83	1.445	0,830	7,87	0,51	9,5E+06	1.451	0,43	480
107	P4	16,0	15.591	0,620	16,0	-0,02	2,3E+07	15.538	-0,34	270
108	P4	5,05	1.142	0,850	4,91	-2,84	8,5E+06	1.146	0,42	500
109	P4	2,52	323	0,830	2,40	-4,84	4,0E+06	320	-0,78	190
110	P4	7,18	270	0,370	7,18	-0,06	1,1E+06	272	0,62	200
111	P4	20,5	3.680	0,745	20,2	-1,01	2,1E+07	3.677	-0,07	280
113	P4	1,28	94,0	0,720	1,27	-0,45	2,4E+06	95,0	1,00	120
114	P4	2,63	195	0,881	2,61	-0,89	7,2E+06	196	0,68	410
115	P4	0,17	12,3	0,856	0,17	-1,84	3,5E+05	12,3	-0,50	420
116	P4	52,1	7.403	0,500	52,4	0,65	7,8E+06	7.394	-0,11	270
117	P4	4,99	195	0,883	5,22	4,51	5,6E+06	194	-0,28	710

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
118	P4	10,6	505	0,720	10,5	-0,76	3,3E+06	507	0,45	470
119	P4	11,6	631	0,710	11,6	0,23	3,3E+06	630	-0,08	690
120	P4	1,07	93,0	0,753	1,05	-1,55	4,9E+06	93,3	0,33	740
121	P4	0,50	28,9	0,885	0,50	0,77	3,9E+05	29,0	0,21	340
122	P4	6,14	281	0,760	6,16	0,37	2,8E+05	279	-0,71	40
123	P4	6,68	150	0,883	6,63	-0,69	1,3E+06	150	-0,42	160
124	P4	18,2	819	0,600	18,3	0,70	1,1E+06	817	-0,16	110
125	P4	22,2	1.111	0,700	22,2	-0,09	1,2E+06	1.110	-0,11	950
130	P4	14,3	967	0,040	14,0	-2,06	7,2E+05	973	0,59	830
131	P4	0,27	15,5	0,700	0,28	2,18	1,2E+06	15,6	0,59	40
132	P4	12,7	699	0,870	12,6	-0,50	6,3E+06	701	0,36	240
134	P4	0,36	32,2	0,815	0,36	0,20	6,6E+06	32,3	0,20	1160
135	P4	2,56	105	0,892	2,55	-0,55	1,6E+06	104	-0,82	440
136	P4	14,8	2.035	0,506	14,7	-0,66	3,0E+06	2.033	-0,08	340
137	P4	3,15	195	0,810	3,11	-1,38	1,3E+06	195	-0,14	100
138	P4	28,2	933	0,820	28,3	0,54	1,9E+06	932	-0,10	940
139	P4	3,29	56,3	0,800	3,26	-1,03	1,4E+06	56,0	-0,49	900
143	P4	4,34	66,4	0,670	4,24	-2,35	6,8E+04	66,0	-0,57	680
144	P4	2,84	244	0,750	2,85	0,22	2,3E+06	243	-0,44	70
146	P4	1,34	292	0,782	1,34	-0,27	1,4E+06	295	0,82	160
149	P4	18,1	3.018	0,750	18,3	1,01	1,8E+07	3.020	0,08	440
150	P4	1,30	228	0,657	1,32	1,44	1,7E+06	227	-0,70	390
151	P4	0,64	48,8	0,880	0,64	0,26	4,1E+06	48,4	-0,95	80
152	P4	11,8	558	0,700	11,9	0,86	1,2E+05	559	0,18	270
154	P4	0,59	77,5	0,850	0,55	-7,06	1,2E+06	78,0	0,60	300
155	P4	6,43	1.583	0,715	6,45	0,26	3,6E+07	1.587	0,27	140
158	P4	5,97	11.432	0,849	6,42	7,43	4,0E+06	11.433	0,01	510
159	P4	1,20	129	0,930	1,19	-0,95	1,8E+07	129	-0,12	100

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
163	P4	41,8	7.351	0,000	42,6	1,86	4,9E+06	7.312	-0,53	180
164	P4	19,9	3.138	0,590	20,0	0,75	4,2E+06	3.113	-0,80	120
165	P4	1,48	300	0,771	1,47	-0,95	4,5E+07	303	0,78	180
166	P4	16,5	2.929	0,578	16,6	0,58	1,5E+07	2.926	-0,09	380
167	P4	5,14	538	0,892	5,14	0,11	3,6E+07	537	-0,18	200
169	P4	5,35	222	0,770	5,31	-0,66	1,8E+06	223	0,62	150
170	P4	29,9	4.389	0,400	29,9	0,11	3,0E+06	4.391	0,06	180
171	P4	0,16	15,3	0,843	0,15	-2,39	2,4E+05	15,3	0,37	100
172	P4	6,25	3.029	0,870	6,31	1,00	4,2E+07	3.025	-0,11	130
173	P4	21,7	4.299	0,840	21,7	0,12	8,2E+06	4.291	-0,18	110
174	P4	1,31	126	0,785	1,30	-0,89	8,6E+06	126	-0,15	100
175	P4	11,8	3.233	0,750	11,7	-0,93	7,5E+06	3.211	-0,66	130
177	P4	11,9	4.300	0,680	12,0	0,54	9,6E+06	4.263	-0,87	80
178	P4	8,29	3.568	0,530	8,33	0,51	1,6E+07	3.542	-0,72	130
179	P4	7,01	2.515	0,828	6,90	-1,54	5,8E+06	2.541	1,03	90
181	P4	13,9	4.214	0,480	13,9	0,47	8,9E+06	4.226	0,28	190
183	P4	8,74	2.889	0,670	8,63	-1,22	1,9E+07	2.908	0,65	110
184	P4	1,27	127	0,890	1,26	-0,13	1,5E+06	126	-0,63	80
185	P4	10,6	1.987	0,870	10,7	0,98	1,2E+06	1.981	-0,31	610
186	P4	7,96	135	0,765	7,99	0,41	1,9E+04	133	-1,56	60
187	P4	8,14	1.900	0,840	8,15	0,21	1,3E+07	1.887	-0,65	80
188	P4	16,8	3.905	0,700	16,6	-0,92	8,8E+06	3.938	0,86	490
189	P4	24,3	5.218	0,440	24,6	0,97	1,3E+07	5.187	-0,58	470
190	P4	0,30	9,20	0,817	0,31	1,14	2,4E+06	9,13	-0,74	180
191	P4	0,15	5,10	0,914	0,16	7,23	1,4E+05	5,05	-0,92	150
193	P4	3,52	193	0,580	3,36	-4,68	1,4E+06	193	0,17	380
194	P4	0,24	16,7	0,778	0,24	4,07	1,1E+06	16,8	0,22	360
195	P4	5,82	615	0,660	5,84	0,49	5,3E+06	620	0,81	210

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
197	P4	7,97	1.752	0,770	7,97	0,02	1,8E+07	1.738	-0,77	180
198	P4	15,8	7.307	0,500	15,7	-0,56	6,8E+06	7.310	0,04	150
199	P4	16,8	4.149	0,770	16,8	0,25	8,7E+06	4.151	0,06	880
200	P4	0,17	6,02	0,174	0,17	5,31	1,6E+04	5,88	-2,45	220
201	P4	48,5	23.023	0,700	48,8	0,56	4,3E+05	23.085	0,27	830
202	P4	5,44	1.404	0,915	5,47	0,51	2,7E+07	1.398	-0,39	30
204	P4	0,93	200	0,960	0,96	3,53	6,3E+06	199	-0,38	130
205	P4	0,10	6,78	0,915	0,10	0,01	1,1E+06	6,82	0,52	480
208	P4	12,2	2.456	0,925	12,3	1,05	4,7E+07	2.443	-0,53	540
209	P4	23,1	4.138	0,400	23,2	0,41	3,2E+06	4.123	-0,37	150
210	P4	2,41	177	0,873	2,41	-0,12	9,0E+06	178	0,66	160
211	P4	3,12	269	0,943	3,08	-1,06	1,1E+07	269	-0,05	410
212	P4	7,97	975	0,715	8,02	0,59	7,5E+06	984	0,85	460
213	P4	0,15	16,6	0,792	0,15	-2,33	9,9E+05	16,6	0,35	100
214	P4	0,41	17,9	0,862	0,43	3,97	3,8E+05	17,8	-0,25	760
215	P4	2,43	184	0,640	2,41	-0,77	1,1E+06	186	1,05	320
216	P4	0,24	50,7	0,838	0,22	-5,52	5,5E+06	50,7	-0,04	280
217	P4	2,60	370	1,000	2,36	-9,46	9,3E+07	372	0,58	270
218	P4	9,54	757	0,816	9,33	-2,15	5,3E+08	764	0,91	350
223	P4	0,82	11,7	0,913	0,81	-0,91	3,3E+06	11,7	-0,14	140
224	P4	3,97	235	0,930	3,98	0,40	6,8E+06	233	-0,53	240
226	P4	14,8	3.648	0,600	15,0	1,03	9,0E+06	3.662	0,38	390
227	P4	12,8	1.248	0,905	12,9	1,02	2,5E+07	1.238	-0,76	500
228	P4	5,50	157	0,935	5,64	2,72	4,7E+05	158	0,57	440
229	P4	10,6	1.661	0,270	10,6	-0,03	9,5E+05	1.645	-0,94	210
239	P4	1,97	605	0,766	1,96	-0,19	6,3E+05	607	0,27	130
240	P4	1,34	56,4	0,590	1,33	-0,32	1,6E+06	56,3	-0,20	590
241	P4	3,39	82,1	0,788	3,37	-0,68	2,3E+04	83,4	1,59	480

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
242	P4	4,46	720	0,807	4,41	-1,02	2,3E+07	716	-0,55	350
243	P4	1,25	18,9	0,770	1,24	-1,23	7,0E+05	18,8	-0,16	1260
245	P4	7,74	388	0,900	7,82	1,05	1,1E+07	388	-0,11	980
252	P4	0,35	15,2	0,831	0,35	-0,05	3,3E+05	15,2	0,14	250
253	P4	3,17	384	0,290	3,20	0,94	4,2E+06	384	-0,08	100
254	P4	0,11	282	0,673	0,11	-0,06	9,0E+06	280	-0,71	140
263	P4	1,37	451	0,740	1,36	-0,63	1,6E+06	455	0,99	260
264	P4	5,37	309	0,870	5,35	-0,38	6,0E+06	309	0,03	260

Tabela 5. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a parcela 5.

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
4	P5	1,57	19,0	0,709	1,93	23,1	3,1E+05	18,2	-4,29	130
16	P5	0,13	1,76	0,870	0,11	-12,8	2,0E+06	2,00	13,9	470
30	P5	0,17	9,20	0,000	0,18	3,51	3,6E+04	8,97	-2,46	150
42	P5	4,98	8,50	0,000	11,0	122	0,0E+00	70,9	734	380
60	P5	0,59	2,05	0,000	21,1	3468	0,0E+00	117	5605	810
68	P5	0,24	0,38	0,680	0,24	-0,66	5,0E+04	0,38	-0,63	970
69	P5	1,95	1,94	0,878	2,01	3,10	0,0E+00	6,00	209	350
80	P5	58,3	87,0	0,906	58,6	0,55	0,0E+00	443	409	880
85	P5	0,17	0,51	0,900	0,16	-4,32	1,1E+04	0,52	1,78	930
92	P5	6,24	4,61	1,000	0,21	-96,7	-	-	-	420
94	P5	1,99	1,80	1,000	0,00	-100	-	-	-	440
95	P5	24,4	106	1,000	19,7	-19,0	0,0E+00	140	31,8	310
96	P5	14,2	23,9	1,000	12,7	-10,7	0,0E+00	79,4	233	260
99	P5	0,11	0,89	0,748	0,11	0,94	2,5E+04	0,89	0,49	380
100	P5	18,9	34,5	0,100	18,9	0,05	0,0E+00	194	463	270
102	P5	2,03	4,15	1,000	0,88	-56,7	1,5E+04	4,36	5,11	320
107	P5	0,17	0,51	0,366	0,17	0,41	9,0E+03	0,52	2,38	270
116	P5	0,17	11,6	0,000	10,2	5901	-	-	-	270
124	P5	0,11	6,11	0,070	0,12	6,46	7,5E+03	6,13	0,34	110
130	P5	0,10	6,40	0,000	0,17	65,5	7,0E+00	5,88	-8,08	840
136	P5	0,13	8,39	0,210	0,13	0,17	2,0E+05	8,35	-0,45	340
138	P5	1,12	49,2	0,101	1,11	-0,53	9,5E+02	49,3	0,16	940
163	P5	0,12	1,02	0,000	10,6	8697	-	-	-	180
164	P5	0,17	1,11	0,000	0,49	188	-	-	-	130
170	P5	0,17	2.465	0,000	9,89	5715	-	-	-	190
173	P5	0,59	14,6	0,100	0,60	0,69	8,0E+03	14,7	0,96	110

188	P5	0,15	0,38	0,108	0,15	-0,11	5,5E+02	0,37	-0,54	500
189	P5	0,15	1.812	0,000	1,38	848	-	-	-	470
201	P5	0,42	2,07	0,000	17,2	4008	0,0E+00	138	6560	830

Tabela 6. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a parcela 6.

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o(\%)$	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o(\%)$	Duração(min)
16	P6	0,74	22,0	0,000	1,09	46,8	-	-	-	470
20	P6	0,12	1,65	0,484	0,10	-16,7	7,0E+05	1,98	20,0	580
22	P6	0,53	18,0	0,000	3,77	618	-	-	-	140
25	P6	0,18	39,0	0,261	0,29	62,8	3,8E+06	38,5	-1,38	370
27	P6	4,18	221	0,461	4,54	8,71	3,1E+05	221	0,04	340
30	P6	19,5	2.011	0,475	19,5	-0,33	5,1E+06	2.013	0,08	150
31	P6	7,96	500	0,676	8,00	0,46	8,5E+05	500	0,02	110
32	P6	3,05	88,0	0,862	3,05	-0,14	2,5E+06	88,0	0,03	250
33	P6	1,95	221	0,875	1,95	-0,21	3,3E+07	222	0,24	170
35	P6	2,26	52,6	0,861	2,26	0,20	2,0E+06	52,2	-0,68	600
36	P6	11,0	242	0,844	11,0	0,10	7,6E+06	242	0,10	1030
37	P6	3,19	94,2	0,885	3,19	0,03	5,2E+06	94,6	0,39	260
39	P6	0,50	7,10	0,788	0,52	3,70	1,1E+05	7,30	2,84	930
40	P6	2,02	92,0	0,400	2,03	0,73	3,1E+06	93,2	1,33	280
41	P6	2,44	55,0	0,560	2,43	-0,28	4,2E+05	54,6	-0,76	230
45	P6	0,35	2,96	0,676	0,32	-7,36	3,1E+04	2,96	-0,12	270
46	P6	0,13	3,25	0,000	1,95	1.403	-	-	-	590
47	P6	0,15	13,0	0,556	0,15	0,02	2,5E+06	13,0	0,02	290
49	P6	0,36	239	0,000	3,59	897	-	-	-	390
50	P6	0,13	4,46	0,524	0,13	1,41	8,5E+05	4,49	0,61	320
51	P6	0,17	0,30	0,722	0,17	0,96	1,4E+05	0,30	0,43	330
52	P6	0,17	0,74	0,117	0,17	-0,96	3,8E+04	0,74	0,60	770
53	P6	0,17	1,90	0,000	5,32	3.027	-	-	-	640
54	P6	0,17	2,12	0,939	0,17	-0,92	2,6E+06	2,11	-0,31	20
55	P6	0,14	2,72	0,000	0,43	208	-	-	-	320
57	P6	0,32	13,5	0,450	0,32	0,45	1,6E+06	13,5	0,02	250

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o(\%)$	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o(\%)$	Duração(min)
58	P6	1,27	100	0,772	1,27	-0,16	3,3E+06	101	0,57	180
59	P6	14,1	578	0,600	13,9	-1,26	5,6E+07	578	0,02	290
60	P6	56,3	794	0,100	56,5	0,29	7,7E+05	793	-0,08	810
61	P6	8,04	157	0,854	8,06	0,24	3,0E+06	157	0,30	650
63	P6	9,01	95,8	0,702	9,04	0,33	9,0E+04	95,8	-0,02	610
65	P6	0,33	4,63	0,838	0,31	-6,26	1,7E+06	4,64	0,16	40
66	P6	11,4	65,5	0,728	11,3	-0,91	4,5E+05	65,5	0,00	370
68	P6	29,6	473	1,000	24,6	-16,9	2,2E+06	473	-0,01	970
69	P6	21,4	570	1,000	19,6	-8,55	4,2E+06	570	0,06	350
70	P6	1,24	257	0,892	1,24	0,24	5,7E+07	257	0,13	470
71	P6	6,77	65,0	0,631	6,76	-0,14	8,8E+05	65,3	0,39	190
72	P6	0,32	5,90	0,705	0,31	-3,36	2,4E+05	5,88	-0,42	90
73	P6	0,50	5,04	0,767	0,48	-4,20	1,1E+06	5,04	-0,05	380
74	P6	3,52	17,0	0,601	3,47	-1,48	2,4E+05	17,2	1,20	340
75	P6	0,11	1,96	0,393	0,11	0,83	1,8E+05	1,97	0,76	470
76	P6	9,95	451	0,737	9,95	0,02	1,6E+06	452	0,13	880
78	P6	0,36	0,51	0,779	0,36	0,62	4,2E+04	0,51	0,31	985
80	P6	92,0	1.724	0,501	92,1	0,06	2,3E+09	1.723	-0,05	880
82	P6	0,54	6,83	0,542	0,54	0,35	9,5E+06	6,81	-0,27	310
83	P6	11,0	4.182	0,872	11,0	0,05	5,8E+07	4.188	0,13	270
84	P6	8,06	231	0,929	8,06	0,04	7,9E+06	231	-0,01	
85	P6	12,2	178	0,937	12,2	0,01	6,0E+06	178	-0,03	930
87	P6	3,77	56,1	0,936	3,77	0,02	7,1E+05	56,2	0,31	70
88	P6	6,44	88,0	1,000	4,92	-23,6	4,1E+06	88,1	0,09	2320
89	P6	1,10	9.044	0,929	1,10	-0,42	3,8E+09	9.458	4,58	200
90	P6	4,66	16,0	1,000	3,34	-28,3	2,1E+06	16,1	0,62	340
91	P6	3,29	28,0	0,947	3,30	0,38	2,2E+06	28,1	0,21	70
92	P6	19,1	88,6	1,000	12,0	-37,2	4,3E+04	88,2	-0,50	420

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
93	P6	5,18	8,86	1,000	3,30	-36,4	1,3E+06	8,88	0,18	740
94	P6	9,64	36,0	1,000	6,16	-36,1	4,7E+06	36,3	0,73	440
95	P6	43,4	314	1,000	33,0	-23,9	7,9E+05	314	0,08	310
96	P6	26,3	329	1,000	22,9	-13,1	1,2E+06	330	0,10	260
97	P6	0,47	1,56	1,000	0,24	-48,2	4,4E+05	1,56	-0,18	85
98	P6	1,98	11,0	0,728	1,56	-21,2	2,1E+05	11,0	0,26	540
100	P6	57,6	2.061	0,900	57,7	0,20	1,4E+06	2.062	0,07	265
101	P6	1,53	49,0	0,944	1,54	0,58	2,5E+06	49,0	0,04	740
102	P6	12,3	176	1,000	3,64	-70,4	-	-	-	320
103	P6	1,32	11,0	0,796	1,33	0,92	5,6E+04	11,1	0,87	60
104	P6	1,24	16,0	0,899	1,26	1,46	6,4E+05	16,1	0,91	100
106	P6	0,13	1,52	0,134	0,13	-0,58	9,3E+04	1,52	-0,30	480
107	P6	8,02	83,0	0,000	8,70	8,51	1,9E+05	83,2	0,25	270
108	P6	4,53	9.697	0,827	4,57	0,85	3,3E+08	9.698	0,01	500
109	P6	0,36	9,62	0,706	0,37	3,53	1,5E+05	9,60	-0,19	190
110	P6	1,85	55,2	0,000	3,56	92,1	-	-	-	205
111	P6	18,9	731	0,715	18,9	-0,08	5,2E+06	731	0,00	280
113	P6	0,81	74,1	0,713	0,81	-0,19	1,5E+05	74,2	0,16	120
114	P6	2,31	127	0,855	2,35	1,66	8,7E+05	127	0,12	410
115	P6	0,27	17,0	0,875	0,27	0,60	2,1E+05	16,9	-0,21	420
118	P6	8,61	307	0,620	8,59	-0,18	2,8E+06	306	-0,22	470
119	P6	12,0	611	0,768	12,0	-0,09	1,4E+06	611	-0,01	690
120	P6	1,21	56,5	0,779	1,16	-4,25	2,7E+05	56,2	-0,50	740
121	P6	0,43	23,6	0,892	0,41	-5,02	3,8E+06	23,6	-0,13	340
122	P6	6,02	216	0,800	6,02	0,01	1,3E+05	216	0,03	40
123	P6	4,74	131	0,815	4,71	-0,66	9,3E+05	131	-0,01	160
125	P6	25,8	1.960	0,846	25,8	-0,03	2,5E+06	1.961	0,00	950
130	P6	8,48	367	0,000	13,4	58,3	-	-	-	835

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
131	P6	0,13	9,30	0,699	0,13	-0,04	1,6E+05	9,28	-0,20	40
132	P6	15,1	901	0,934	15,1	0,06	8,6E+06	901	0,03	240
133	P6	0,64	49,8	0,713	0,64	0,05	2,0E+06	49,8	0,05	120
134	P6	0,42	32,0	0,843	0,41	-2,92	1,9E+06	31,9	-0,22	1160
135	P6	2,37	106	0,880	2,46	3,71	4,0E+04	107	0,88	440
136	P6	20,2	1.121	0,831	20,2	-0,09	4,7E+06	1.121	-0,02	340
138	P6	32,5	1.471	0,910	32,5	0,06	4,3E+06	1.471	0,00	940
139	P6	1,29	40,6	0,700	1,29	0,19	2,1E+06	40,5	-0,13	900
143	P6	0,11	1.375	0,000	0,29	161	-	-	-	680
144	P6	2,18	93,4	0,720	2,13	-2,50	2,4E+06	93,4	0,01	65
146	P6	1,20	40,5	0,782	1,19	-1,04	8,2E+05	40,1	-1,03	160
148	P6	0,15	2,97	0,708	0,15	0,61	1,4E+05	2,98	0,19	110
149	P6	22,1	1.076	0,861	22,0	-0,28	1,2E+06	1.077	0,01	435
150	P6	1,09	41,9	0,634	1,10	0,09	9,0E+03	41,6	-0,74	390
151	P6	0,83	17,7	0,910	0,83	-0,21	9,8E+04	17,7	-0,48	85
153	P6	29,4	3.684	0,760	29,5	0,37	9,2E+06	3.684	0,01	330
155	P6	7,43	646	0,767	7,37	-0,76	6,8E+06	645	-0,02	140
156	P6	0,52	82,2	0,402	0,52	-0,46	6,5E+04	82,6	0,46	40
158	P6	6,01	523	0,880	6,08	1,21	4,6E+06	523	0,01	510
159	P6	1,33	96,9	0,946	1,32	-1,20	1,5E+04	96,9	0,00	100
162	P6	10,1	969	0,380	10,2	0,87	3,4E+06	969	0,00	80
163	P6	35,2	4.220	0,000	42,6	21,0	5,1E+06	4,21	-100	175
165	P6	2,74	110	0,838	2,76	0,87	1,7E+06	110	-0,06	180
166	P6	28,6	2.169	0,870	28,6	0,14	8,4E+06	21,7	-99	380
167	P6	6,59	306	0,930	6,55	-0,51	1,9E+07	306	-0,02	200
168	P6	6,51	250	0,859	6,38	-1,98	2,4E+05	250	0,04	250
169	P6	5,50	253	0,782	5,44	-0,99	2,7E+05	253	0,10	150
171	P6	0,19	7,07	0,861	0,19	0,32	1,0E+05	7,10	0,39	100

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o(\%)$	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o(\%)$	Duração(min)
172	P6	6,37	983	0,000	7,71	20,9	2,6E+07	983	-0,01	130
173	P6	21,1	1.855	0,830	21,1	-0,09	1,5E+06	1.854	-0,02	110
174	P6	0,82	45,3	0,739	0,82	0,00	1,1E+06	45,3	-0,03	100
175	P6	12,8	2.824	0,790	12,9	0,30	3,6E+06	2.824	0,01	135
177	P6	13,9	849	0,830	13,9	-0,13	1,2E+06	849	0,03	80
178	P6	10,4	1.377	0,710	10,4	0,05	4,9E+06	1.377	-0,01	130
179	P6	8,15	577	0,916	8,14	-0,09	1,8E+06	577	0,02	90
181	P6	19,2	1.375	0,810	19,3	0,47	1,7E+06	1.375	0,03	185
183	P6	13,0	1.506	0,860	13,1	0,43	1,3E+07	1.507	0,01	110
184	P6	2,21	51,5	0,949	2,00	-9,26	2,3E+06	51,5	-0,01	80
185	P6	14,6	530	0,000	48,0	230	-	-	-	610
186	P6	8,17	436	0,800	8,19	0,22	2,1E+06	436	0,01	60
187	P6	8,20	498	0,851	8,19	-0,12	1,5E+06	498	-0,02	80
188	P6	17,5	1.297	0,751	17,5	-0,03	1,9E+06	1.298	0,04	495
190	P6	1,15	28,2	0,891	1,17	1,40	3,3E+05	28,3	0,21	180
191	P6	0,49	10,5	0,931	0,49	-0,31	1,2E+05	4,75	-54,6	150
192	P6	0,17	4,76	0,851	0,17	-0,56	1,3E+05	4,73	-0,69	70
193	P6	1,58	121	0,416	1,58	-0,24	4,0E+03	110	-9,35	380
194	P6	0,11	3,20	0,780	0,11	1,36	1,9E+04	3,25	1,35	360
195	P6	6,81	740	0,758	6,81	0,10	1,7E+07	740	0,00	115
196	P6	0,27	25,5	0,901	0,21	-21,5	3,8E+07	25,5	0,00	110
197	P6	6,44	752	0,664	6,41	-0,52	4,1E+06	752	0,00	180
198	P6	16,2	3.384	0,575	16,2	0,00	9,4E+06	3.383	-0,01	150
199	P6	15,0	3.516	0,688	15,0	0,18	5,5E+06	3.516	0,00	880
201	P6	62,7	6.982	0,907	62,7	0,13	5,4E+06	6.982	0,00	825
202	P6	5,15	1.220	0,927	5,14	-0,21	1,5E+07	1.221	0,02	30
203	P6	2,57	230	0,925	2,58	0,27	1,1E+05	229	-0,21	325
204	P6	3,81	382	0,950	3,83	0,52	2,4E+07	382	0,01	130

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
205	P6	0,73	17,7	0,939	0,72	-0,64	3,2E+06	17,7	-0,03	480
206	P6	0,38	9,62	0,906	0,38	0,30	5,3E+05	9,63	0,15	300
207	P6	8,37	150	1,000	0,58	-93,1	-	-	-	240
208	P6	15,7	1.723	1,000	14,1	-9,95	3,8E+07	1.723	-0,01	540
209	P6	24,0	4.141	0,400	23,9	-0,21	9,4E+06	4.140	-0,01	150
210	P6	1,63	146	0,814	1,61	-1,03	1,5E+06	146	0,04	160
211	P6	1,25	91,6	0,863	1,26	0,87	5,5E+05	91,5	-0,02	410
212	P6	8,22	1.077	0,752	8,23	0,05	1,6E+06	1.077	-0,02	460
215	P6	2,72	276	0,680	2,72	0,08	1,1E+06	276	-0,09	320
216	P6	0,17	4,42	0,850	0,18	4,89	2,6E+03	4,42	0,04	280
217	P6	0,87	8,85	0,898	0,87	-0,16	1,1E+05	8,88	0,34	270
218	P6	7,96	161	0,782	7,99	0,40	3,6E+05	161	-0,07	345
219	P6	12,4	1.006	0,813	12,4	0,04	1,0E+06	1.006	0,01	760
220	P6	0,98	6,50	0,881	0,98	-0,16	5,0E+05	6,50	0,00	315
223	P6	0,17	1,87	0,874	0,20	14,7	1,8E+05	1,86	-0,24	140
224	P6	1,70	31,6	0,854	1,71	0,21	1,4E+06	31,6	0,01	240
225	P6	12,2	390	0,689	12,2	-0,05	5,2E+05	391	0,04	370
226	P6	22,7	530	0,907	22,7	0,15	1,6E+06	530	-0,01	390
229	P6	7,94	363	0,070	7,55	-4,93	1,7E+04	357	-1,57	210
239	P6	3,53	849	0,877	3,53	0,04	2,7E+07	849	0,00	130
241	P6	2,57	132	-	-	-	-	-	-	-
242	P6	2,14	273	0,669	2,14	0,04	7,9E+06	273	0,00	350
245	P6	6,38	111	0,862	6,15	-3,66	3,0E+06	111	0,01	980
246	P6	6,23	435	0,614	6,23	-0,06	1,2E+06	435	-0,01	70
247	P6	5,78	580	0,850	5,79	0,18	1,4E+07	580	0,00	450
248	P6	0,10	0,85	-	-	-	-	-	-	-
249	P6	1,17	5,75	-	-	-	-	-	-	-
250	P6	0,16	3,38	0,890	0,17	4,53	2,8E+05	3,37	-0,24	250

Cheia	Parcela	L_0 (mm)	E_0 (Kg/ha)	S_f	L_c (mm)	$(L_c - L_0)/L_0$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c - E_0)/E_0$ (%)	Duração (min)
251	P6	0,48	6,22	-	-	-	-	-	-	-
252	P6	0,58	78,2	0,862	0,57	-1,53	3,3E+07	78,2	-0,01	250
253	P6	8,04	2.889	0,762	8,05	0,05	1,3E+07	2.889	0,02	100
264	P6	5,11	53,1	0,880	5,08	-0,49	1,4E+06	53,1	-0,02	260

Tabela 7. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a parcela 7.

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o(\%)$	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o(\%)$	Duração(min)
16	P7	0,17	4,59	0,000	0,99	481	-	-	-	470
22	P7	0,13	8,78	0,000	3,06	2.252	-	-	-	140
25	P7	0,16	25,0	0,294	0,15	-9,12	3,10E+06	24,9	-0,22	370
27	P7	0,53	72,0	0,000	0,87	64,3	-	-	-	340
30	P7	9,43	639	1,000	2,06	-78,2	-	-	-	150
31	P7	0,72	445	0,000	0,72	-0,57	5,86E+06	445	-0,21	110
32	P7	0,12	2,40	0,675	0,12	1,06	6,90E+04	2,40	-0,18	250
35	P7	0,13	0,86	0,769	0,13	-0,72	5,00E+04	0,85	-0,71	600
36	P7	0,79	6,00	0,213	0,91	15,7	2,40E+04	6,03	0,55	1030
37	P7	0,17	1,59	0,737	0,17	-1,88	4,90E+05	1,60	0,91	260
40	P7	0,17	1,40	0,105	0,17	-1,19	1,25E+05	1,40	-0,27	280
41	P7	0,17	4,89	0,057	0,17	-0,19	1,58E+05	4,92	0,71	230
46	P7	0,15	3,75	0,000	1,25	735	-	-	-	590
47	P7	0,11	3,50	0,560	0,11	-0,72	2,10E+06	3,48	-0,54	290
49	P7	0,25	32,0	0,000	3,64	1.358	-	-	-	390
50	P7	0,15	2,05	0,544	0,15	-2,22	8,50E+05	2,03	-0,97	320
52	P7	0,16	2,78	0,150	0,16	1,62	6,60E+05	2,77	-0,22	770
53	P7	0,17	2,12	0,000	4,31	2.433	-	-	-	640
55	P7	0,17	4,25	0,000	0,32	88,9	-	-	-	320
57	P7	0,15	2,69	0,430	0,17	10,3	2,60E+05	2,68	-0,24	250
58	P7	1,37	40,0	0,799	1,40	2,35	1,45E+06	40,0	-0,12	180
59	P7	7,94	271	0,000	9,53	20,1	3,65E+05	271	-0,12	290
60	P7	36,2	364	0,000	54,7	51,0	-	-	-	810
61	P7	2,36	23,5	0,724	2,36	-0,15	2,50E+05	23,5	0,14	650
63	P7	8,09	101	0,710	8,03	-0,78	1,35E+05	102	0,90	610
66	P7	13,7	113	0,778	13,7	-0,19	8,50E+05	113	-0,03	370

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o(\%)$	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o(\%)$	Duração(min)
68	P7	32,2	55,0	1,000	24,4	-24,1	-	-	-	970
69	P7	22,4	40,1	1,000	19,5	-12,9	7,00E+03	40,3	0,40	350
70	P7	0,60	448	0,867	0,59	-1,34	2,40E+08	444	-0,91	470
71	P7	0,81	61,0	0,000	2,74	238	-	-	-	190
72	P7	0,14	9,28	0,693	0,14	1,41	1,35E+06	9,29	0,12	90
73	P7	0,13	2,28	0,750	0,13	1,52	8,00E+05	2,27	-0,43	380
74	P7	0,58	8,12	0,375	0,53	-8,58	5,30E+05	8,13	0,10	340
76	P7	4,82	133	0,298	4,71	-2,24	4,50E+04	132	-0,79	880
80	P7	92,0	2.583	0,420	91,6	-0,41	5,30E+06	2.582	-0,06	880
82	P7	0,11	0,89	0,895	0,12	6,64	2,70E+06	0,89	-0,43	310
83	P7	7,67	355	0,740	7,63	-0,47	1,95E+06	356	0,23	270
84	P7	6,22	43,4	0,880	6,29	1,06	1,15E+06	43,1	-0,64	250
85	P7	8,05	32,4	0,890	8,02	-0,32	1,25E+06	32,5	0,26	930
87	P7	0,18	0,95	0,777	0,19	5,65	4,00E+05	0,97	1,40	70
88	P7	6,73	72,0	1,000	4,76	-29,3	-	-	-	2320
89	P7	0,10	0,05	0,888	0,10	-4,38	2,30E+04	0,05	0,59	200
90	P7	2,50	2,24	0,919	2,53	1,03	1,00E+02	2,24	-0,07	340
91	P7	0,40	4,53	0,862	0,41	2,26	1,35E+00	4,57	0,80	70
92	P7	24,6	50,0	1,000	11,8	-51,9	-	-	-	420
93	P7	4,72	5,08	1,000	3,29	-30,2	-	-	-	740
94	P7	10,8	15,6	1,000	6,13	-43,1	-	-	-	440
95	P7	43,8	144	1,000	33,0	-24,8	-	-	-	310
96	P7	22,7	144	1,000	22,7	0,03	6,00E+05	143	-0,18	260
99	P7	6,59	337	0,608	6,61	0,31	8,40E+05	338	0,21	380
100	P7	62,0	917	0,760	61,7	-0,49	3,50E+05	920	0,35	940
101	P7	0,16	38,0	0,904	0,16	1,67	4,80E+07	37,9	-0,28	740
102	P7	8,05	85,9	1,000	3,53	-56,1	-	-	-	320
104	P7	0,16	2,09	0,852	0,16	-0,73	2,20E+05	2,10	0,31	100

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
106	P7	0,15	4,13	0,185	0,15	0,05	4,60E+05	4,15	0,40	480
107	P7	5,28	31,0	0,000	7,88	49,3	-	-	-	270
108	P7	1,43	5,66	0,644	1,54	7,64	1,50E+05	5,64	-0,30	500
111	P7	16,2	515	0,644	16,2	0,50	6,20E+06	513	-0,52	280
114	P7	0,54	43,3	0,745	0,54	-0,64	3,55E+05	43,5	0,34	410
116	P7	55,2	2.617	0,652	55,7	0,93	6,80E+06	2.601	-0,59	270
117	P7	1,35	62,5	0,798	1,35	0,22	1,75E+06	62,4	-0,10	710
118	P7	6,09	159	0,520	6,06	-0,56	2,35E+05	160	0,81	470
119	P7	7,48	172	0,580	7,41	-0,94	1,15E+05	174	0,69	690
120	P7	0,10	5,65	0,676	0,07	-33,8	7,40E+04	5,70	0,94	740
122	P7	3,80	156	0,500	3,79	-0,14	5,30E+04	155	-0,46	40
123	P7	2,48	81,4	0,668	2,59	4,47	6,20E+04	81,2	-0,27	160
124	P7	18,6	625	0,660	18,8	0,93	4,60E+05	624	-0,22	114
125	P7	12,0	1.319	0,000	14,3	19,0	9,90E+05	1.314	-0,39	960
130	P7	10,6	615	0,000	13,1	24,2	-	-	-	830
132	P7	13,2	615	0,890	13,3	0,73	1,27E+06	616	0,26	240
133	P7	0,10	7,40	0,565	0,10	0,52	1,90E+04	7,54	1,95	120
137	P7	1,73	246	0,742	1,79	3,34	6,00E+06	245	-0,20	100
138	P7	22,1	879	0,650	22,2	0,14	4,50E+06	888	1,04	950
139	P7	0,15	5,70	0,567	0,13	-13,7	3,00E+04	5,70	0,04	900
143	P7	0,15	5,48	0,000	0,21	41,0	-	-	-	680
149	P7	10,5	225	0,228	10,4	-1,57	8,20E+05	223	-0,72	800
152	P7	3,69	111	0,000	6,12	65,7	-	-	-	270
153	P7	24,5	1.819	0,400	24,4	-0,48	6,90E+06	1.835	0,86	950
155	P7	0,54	139	0,198	0,54	-0,33	1,75E+07	139	0,15	140
158	P7	0,17	17,0	0,508	0,17	0,08	4,10E+06	16,9	-0,71	680
161	P7	5,20	201	0,652	5,22	0,44	3,00E+06	203	0,54	290
162	P7	6,13	124	0,000	6,19	0,99	1,01E+06	123	-0,75	180

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
163	P7	43,3	1.216	0,000	42,9	-0,76	2,20E+06	1.204	-0,98	180
164	P7	19,6	531	0,580	19,7	0,67	3,50E+05	526	-1,03	130
165	P7	0,17	9,86	0,669	0,17	0,79	7,00E+06	9,86	-0,04	180
166	P7	28,7	948	0,870	29,0	0,97	2,55E+06	945	-0,39	470
167	P7	4,01	69,2	0,869	3,99	-0,35	8,70E+06	69,8	0,88	250
168	P7	2,28	71,8	0,666	2,26	-0,66	2,65E+05	71,3	-0,69	350
170	P7	26,2	483	0,080	26,4	0,81	2,65E+05	481	-0,57	180
172	P7	2,11	75,2		2,13	0,67	1,23E+05	75,2	0,01	130
173	P7	20,4	891	0,800	20,3	-0,50	1,30E+06	884	-0,71	110
175	P7	9,59	581	0,620	9,52	-0,73	1,22E+06	579	-0,34	310
177	P7	12,9	350	0,000	25,8	100	-	-	-	190
178	P7	5,55	117	0,000	13,4	141	-	-	-	130
179	P7	4,70	104	0,000	13,4	184	-	-	-	630
181	P7	16,4	508	0,600	16,4	-0,05	1,50E+05	509	0,20	230
183	P7	9,73	163	0,723	9,67	-0,53	2,40E+05	163	-0,13	630
184	P7	0,17	8,59	0,801	0,13	-22,9	-	-	-	80
185	P7	7,61	89,1	0,780	7,65	0,54	6,00E+05	88,7	-0,50	1900
186	P7	2,24	910	0,146	2,46	10,1	3,35E+05	906	-0,43	60
187	P7	4,89	123	0,652	5,02	2,68	9,00E+04	122	-0,82	230
188	P7	10,9	185	0,200	10,9	-0,01	1,05E+05	187	0,74	490
189	P7	25,8	519	0,510	25,7	-0,50	1,15E+06	524	0,90	480
193	P7	2,76	220	0,600	3,17	14,7	-	-	-	380
194	P7	0,17	27,6	0,805	0,17	2,40	1,40E+05	27,6	-0,20	360
195	P7	7,30	549	0,420	7,38	0,98	4,00E+07	555	1,04	210
196	P7	0,18	8,64	0,904	0,20	11,6	7,30E+06	8,68	0,42	110
197	P7	7,42	733	0,735	7,39	-0,41	2,80E+06	738	0,60	180
198	P7	19,5	2.615	0,770	19,3	-0,89	2,10E+07	2.596	-0,73	150
199	P7	20,5	1.358	0,900	20,5	0,28	1,48E+06	1.364	0,42	880

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração (min)
201	P7	73,4	3.577	1,000	65,5	-10,7	4,80E+06	3.544	-0,94	830
202	P7	5,25	658	0,931	5,21	-0,83	6,30E+06	652	-0,80	30
203	P7	2,77	387	0,931	2,80	0,98	3,00E+05	385	-0,52	320
204	P7	3,56	342	0,945	3,59	0,84	5,40E+06	340	-0,58	130
205	P7	0,56	23,9	0,937	0,54	-4,09	4,80E+07	24,2	0,93	480
206	P7	0,22	9,49	0,908	0,18	-17,5	6,70E+05	9,55	0,65	300
207	P7	7,89	144	1,000	4,40	-44,2	-	-	-	300
208	P7	18,6	1.468	1,000	13,9	-24,9	-	-	-	540
209	P7	27,1	2.739	0,750	27,0	-0,38	6,50E+05	2.731	-0,32	820
210	P7	1,56	83,5	0,828	1,54	-1,48	9,50E+05	83,8	0,42	160
211	P7	1,15	103	0,862	1,11	-3,61	1,05E+06	104	0,99	410
212	P7	26,4	439	1,000	15,6	-40,7	-	-	-	460
215	P7	0,28	30,7	0,390	0,28	0,02	1,28E+05	30,9	0,68	320
218	P7	2,25	18,7	0,320	2,27	0,90	2,60E+05	18,7	-0,27	350
219	P7	6,52	77,9	0,450	6,49	-0,51	3,10E+04	78,3	0,43	760
224	P7	0,17	1,62	0,610	0,17	-0,90	3,90E+03	1,62	0,05	500
225	P7	8,04	35,8	0,180	8,08	0,47	1,10E+04	36,1	0,75	370
226	P7	17,9	295	0,760	17,7	-1,05	4,00E+05	298	1,00	390
227	P7	5,26	20,1	0,760	5,31	0,99	1,10E+06	20,1	0,04	500
228	P7	1,08	12,8	0,765	1,09	1,00	1,95E+05	12,7	-0,55	440
229	P7	2,54	73,1	0,000	7,04	177	-	-	-	210
238	P7	14,0	2.793	1,000	4,26	-69,6	-	-	-	450
239	P7	3,19	625	0,862	3,18	-0,09	5,35E+07	622	-0,34	130
241	P7	3,70	219	0,850	3,69	-0,14	2,00E+05	221	0,71	480
242	P7	1,94	8.532	0,637	1,96	0,67	7,60E+07	8.540	0,09	350
243	P7	1,21	223	0,802	1,23	1,08	8,60E+06	221	-0,78	1260
245	P7	7,42	369	0,910	7,37	-0,68	3,40E+06	366	-0,67	980
246	P7	6,44	1.065	0,859	6,44	-0,09	2,95E+07	1.060	-0,55	250

Chcia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
249	P7	1,34	85,0	0,893	1,35	1,02	9,70E+05	85,8	0,87	130
250	P7	0,13	6,44	0,890	0,12	-6,13	8,50E+05	6,45	0,20	250
251	P7	0,36	8,43	0,828	0,40	10,4	2,50E+06	8,42	-0,09	80
252	P7	0,63	39,3	0,866	0,64	1,13	1,56E+07	39,3	0,14	250
253	P7	27,4	13,547	1,000	13,3	-51,4	-	-	-	100
263	P7	1,31	29,7	0,758	1,32	0,65	7,80E+07	29,7	-0,02	260
264	P7	5,21	512	0,886	5,19	-0,49	1,20E+07	514	0,50	260

Tabela 8. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a parcela 8.

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
118	P8	0,14	24,1	0,000	2,55	1.719	3,30E+05	25,0	3,65	470
119	P8	7,68	550	0,575	7,71	0,37	1,37E+06	552	0,39	690
120	P8	1,36	93,0	0,790	1,40	2,80	6,00E+05	92,8	-0,18	740
121	P8	1,15	97,2	0,922	1,16	0,53	8,00E+06	96,6	-0,69	340
122	P8	7,95	596	0,873	7,95	-0,03	5,57E+05	596	-0,01	40
123	P8	7,22	373	0,907	7,24	0,30	3,34E+06	373	-0,03	160
124	P8	14,5	1.146	0,270	14,5	0,04	1,67E+06	1.148	0,18	110
125	P8	20,0	920	0,605	20,0	0,40	1,33E+06	921	0,11	950
132	P8	7,84	319	0,679	7,81	-0,36	5,55E+06	320	0,26	240
135	P8	1,01	86,4	0,834	0,96	-4,59	2,40E+06	87,1	0,74	440
136	P8	11,6	1.098	0,294	11,4	-1,40	2,65E+06	1.097	-0,11	340
137	P8	3,65	229	0,851	3,63	-0,52	1,18E+07	228	-0,49	100
138	P8	12,7	781	0,000	13,3	4,73	3,20E+06	783	0,17	940
143	P8	0,28	8,21	0,000	0,30	6,39	2,50E+04	8,33	1,51	680
144	P8	0,95	81,5	0,588	0,95	-0,16	8,30E+06	81,0	-0,61	70
146	P8	0,42	106	0,713	0,42	0,81	9,25E+05	106	-0,55	160
149	P8	12,6	1.351	0,400	12,7	0,42	8,05E+05	1.352	0,14	440
151	P8	0,35	27,7	0,861	0,32	-9,12	1,45E+05	27,9	0,79	90
152	P8	12,2	843	0,692	12,3	0,79	6,90E+04	84,7	-90,0	270
153	P8	15,6	4.998	0,000	18,7	19,5	2,12E+07	5.008	0,19	330
155	P8	1,27	474	0,317	1,27	0,06	2,30E+07	470	-0,77	140
159	P8	0,17	55,0	0,841	0,16	-7,43	2,60E+05	55,5	0,90	100
161	P8	4,24	802	0,589	4,25	0,17	1,20E+03	807	0,59	290
162	P8	8,11	4.965	0,200	8,10	-0,10	1,67E+07	4.966	0,02	80
163	P8	48,7	1.870	0,360	48,7	-0,03	3,32E+06	1.872	0,10	180
164	P8	22,7	1.461	0,780	22,8	0,62	2,80E+06	1.448	-0,90	130

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
166	P8	40,2	4.504	1,000	33,9	-15,8	1,79E+06	4.500	-0,10	380
167	P8	6,58	1.506	0,925	6,60	0,28	7,07E+07	1.507	0,07	200
169	P8	3,07	662	0,628	3,09	0,58	1,05E+07	661	-0,08	150
172	P8	6,32	1.596	0,865	6,25	-1,04	5,10E+07	1.592	-0,23	130
173	P8	25,1	2.999	0,890	25,1	-0,15	7,50E+06	2.979	-0,67	120
174	P8	0,82	292	0,735	0,83	0,79	7,20E+06	293	0,34	100
175	P8	14,6	3.456	0,850	14,5	-0,98	8,73E+06	3.456	-0,01	140
177	P8	15,6	4.720	0,880	15,6	-0,36	1,10E+07	4.738	0,38	80
178	P8	3,82	1.034	0,000	4,32	12,9	3,90E+06	1.030	-0,38	130
179	P8	6,59	999	0,810	6,62	0,48	1,24E+07	1.004	0,50	90
181	P8	19,8	2.305	0,813	19,8	0,19	6,10E+06	2.308	0,09	190
183	P8	12,8	4.460	0,840	12,8	0,20	5,34E+07	4.461	0,02	110
185	P8	15,6	3.349	1,000	7,25	-53,4	-	-	-	610
186	P8	4,85	1.127	0,377	4,91	1,17	3,00E+05	1.126	-0,07	60
187	P8	6,75	853	0,743	6,86	1,62	3,15E+06	854	0,15	230
188	P8	8,43	535	0,000	9,92	17,7	5,40E+05	532	-0,57	500
189	P8	7,82	1.907	0,000	19,9	155	-	-	-	480
193	P8	0,19	98,0	0,194	0,16	-16,0	4,85E+06	98,0	0,01	380
195	P8	0,14	21,9	0,000	1,82	1.248	-	-	-	220
197	P8	0,57	99,0	0,000	1,15	102	-	-	-	180
198	P8	11,2	1.529	0,050	11,2	-0,04	1,23E+07	1.531	0,12	150
199	P8	17,6	2.383	0,820	17,7	0,85	6,00E+06	2.399	0,67	880
200	P8	0,19	70,8	0,789	0,19	-0,08	6,60E+06	70,6	-0,35	220
201	P8	69,9	10.606	1,000	65,9	-5,73	1,70E+07	10.558	-0,45	830
202	P8	5,36	435	0,914	5,39	0,60	5,20E+06	434	-0,27	30
207	P8	0,34	29,2	0,932	0,34	-0,27	6,80E+05	29,3	0,21	240
208	P8	7,64	1.013	0,840	8,30	8,75	1,40E+07	1.021	0,73	540
209	P8	22,7	1.068	0,380	22,9	0,65	7,50E+07	1.069	0,07	830

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
212	P8	0,77	217	0,100	0,49	-36,0	3,10E+04	217	-0,06	460
215	P8	0,12	26,6	0,250	0,10	-15,8	4,50E+05	26,9	0,88	320
218	P8	0,96	132	0,000	1,32	38,5	-	-	-	350
219	P8	10,2	649	0,825	10,2	-0,01	7,60E+05	648	-0,17	760
220	P8	1,16	43,9	0,888	1,15	-0,47	5,30E+06	43,7	-0,35	320
225	P8	12,4	964	0,700	12,4	-0,19	1,34E+06	968	0,48	370
226	P8	19,2	1.202	0,820	19,1	-0,54	4,70E+06	1.193	-0,72	390
227	P8	11,4	2.192	0,877	11,5	1,07	3,20E+06	2.195	0,14	500
228	P8	5,67	290	0,944	5,68	0,30	6,20E+05	291	0,32	440
240	P8	0,89	86,7	0,530	0,89	0,10	1,12E+06	86,7	0,04	590
241	P8	1,29	389	0,630	1,27	-0,85	9,00E+06	392	0,68	480
242	P8	0,89	79,2	0,498	0,90	0,85	1,75E+06	79,2	0,01	350
243	P8	0,15	12,8	0,611	0,15	-0,58	1,13E+05	12,8	-0,40	1250
245	P8	3,04	304	0,676	3,06	0,60	6,70E+06	305	0,08	980
247	P8	1,22	74,3	0,535	1,19	-2,42	4,90E+05	75,1	0,99	450
249	P8	0,12	17,6	0,625	0,12	-0,36	1,40E+05	17,6	-0,29	130
253	P8	0,62	69,3	0,000	1,65	166	1,09E+05	69,8	0,70	100
264	P8	3,33	243	0,795	3,34	0,33	2,00E+07	245,4	0,83	260

Tabela 9. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a parcela 9.

Cheia	Parcela	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
119	P9	0,13	7,48	0,696	0,13	-0,15	1,60E+03	7,51	0,42	690
125	P9	17,5	649	0,930	17,4	-0,25	2,70E+05	644	-0,82	950
130	P9	1,73	89,6	0,401	1,76	1,90	5,00E+04	89,7	0,16	840
132	P9	7,94	259	1,000	5,23	-34,1	-	-	-	240
136	P9	1,12	124	0,625	1,12	-0,71	1,20E+05	123	-0,95	340
137	P9	0,09	6,12	0,871	0,09	5,75	2,10E+06	6,10	-0,26	100
138	P9	10,6	242	0,832	10,5	-0,29	5,30E+05	242	0,23	940
149	P9	0,06	0,40	0,410	0,06	2,32	7,50E+04	0,41	0,57	430
152	P9	0,07	0,72	0,510	0,11	59,5	2,00E+03	0,73	1,18	270
153	P9	0,17	11,4	0,000	1,66	878	-	-	-	330
162	P9	0,07	0,52	0,320	0,07	1,57	3,10E+02	0,52	0,12	80
163	P9	1,44	10,7	0,000	9,84	584	-	-	-	180
164	P9	2,20	35,1	0,344	2,15	-1,88	5,70E+03	35,5	1,00	130
166	P9	0,34	5,24	0,593	0,29	-15,5	7,30E+02	5,24	0,07	380
170	P9	0,17	3,15	0,000	9,22	5.325	-	-	-	190
199	P9	0,09	4,89	0,326	0,07	-20,8	-	-	-	880
201	P9	6,55	19,0	0,000	16,3	149	-	-	-	830
208	P9	0,16	0,72	0,890	0,15	-4,20	5,70E+04	0,72	0,53	540
209	P9	1,21	21,9	0,000	2,53	110	-	-	-	150
226	P9	0,16	0,80	0,318	0,16	-0,10	3,50E+03	0,79	-0,93	390
227	P9	1,75	3,27	1,000	1,74	-0,60	1,20E+04	3,24	-0,84	500
259	P9	4,53	32,4	1,000	1,38	-69,7	-	-	-	330
260	P9	1,34	31,8	0,696	1,34	0,00	3,00E+05	31,8	0,04	970

Tabela 10. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a microbacia 1.

Cheia	Microbacia	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_o	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração (min)
30	M1	0,20	3,83	0,612	0,20	-0,97	0,01	1,63E+05	3,84	0,17	1.340
60	M1	6,73	13,0	0,260	6,75	0,34	2,90E-05	0,00E+00	13,1	0,42	810
71	M1	0,14	0,74	0,894	0,14	0,60	0,01	4,50E+06	0,74	-0,28	190
80	M1	41,1	32,7	1,000	36,7	-10,78	0,01	0,00E+00	533	-1,531	880
95	M1	3,53	6,78	0,818	3,55	0,48	2,60E-05	0,00E+00	6,78	-0,05	310
99	M1	0,42	1,38	0,851	0,42	0,78	0,01	5,50E+04	1,37	-0,61	380
100	M1	2,26	3,09	0,000	9,84	335	0,01	0,00E+00	147	-4,647	270
116	M1	0,15	3,27	0,000	0,88	503	0,01	0,00E+00	3,80	16	270
125	M1	0,18	2,49	0,577	0,19	0,84	0,01	1,45E+05	2,50	0,50	950
126	M1	25,5	833	0,820	25,4	-0,67	0,01	2,30E+06	835	0,20	590
136	M1	0,53	6,92	0,770	0,53	-0,62	0,01	2,80E+05	6,92	-0,12	340
138	M1	1,95	59,2	0,729	1,65	-15,43	0,01	2,20E+06	59,7	0,84	940
170	M1	0,11	1,23	0,000	3,94	3,653	0,01	-	-	-	190
209	M1	0,25	2,60	0,224	0,25	0,65	0,01	6,70E+04	2,62	0,82	150
226	M1	0,13	0,05	0,543	0,13	-1,03	9,00E-06	0,00E+00	0,06	4,72	390

Tabela 11. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a microbacia 2.

Cheia	Microbacia	L_o (mm)	E_o (Kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_o	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração (min)
60	M2	4,67	5,08	0,180	4,67	-0,04	1,90E-05	0,00E+00	5,03	-1,01	810
63	M2	0,80	0,22	0,905	0,80	-0,48	4,80E-06	0,00E+00	0,22	0,26	610
66	M2	5,64	0,94	1,000	1,13	-79,9	-	-	-	-	370
69	M2	3,81	0,80	1,000	2,09	-45,1	-	-	-	-	350
71	M2	0,98	1,65	0,947	1,00	1,48	4,30E-05	0,00E+00	1,64	-0,08	190
95	M2	27,5	69,3	1,000	11,49	-58,2	-	-	-	-	310
96	M2	6,13	20,0	0,925	6,13	-0,06	7,70E-05	0,00E+00	19,9	-0,41	260
99	M2	0,68	2,92	0,875	0,68	0,31	4,00E-04	0,00E+00	2,90	-0,47	380
102	M2	0,34	13,0	1,000	-	-	-	-	-	-	415
116	M2	0,14	2,34	0,000	0,59	329	-	-	-	-	270
124	M2	0,18	3,88	0,567	0,18	-1,13	0,01	3,80E+05	3,86	-0,45	110
125	M2	2,28	22,9	0,713	2,30	0,94	0,01	1,80E+05	22,7	-0,80	950
126	M2	51,7	661	1,000	34,50	-33,3	-	-	-	-	590
130	M2	2,33	41,3	0,769	2,31	-0,78	0,01	9,40E+05	41,4	0,32	840
136	M2	0,30	115	0,762	0,30	-0,65	0,01	2,58E+09	115	0,01	340
173	M2	1,68	11,5	0,617	1,69	0,49	0,01	4,50E+04	11,5	-0,59	110
201	M2	2,32	7,91	0,000	4,75	105	-	-	-	-	830
208	M2	1,52	0,55	1,000	0,44	-70,8	-	-	-	-	540
209	M2	1,28	1,33	0,348	1,28	0,34	2,00E-05	0,00E+00	1,30	-1,76	150
226	M2	0,15	0,14	0,578	0,15	-0,90	5,20E-05	0,00E+00	0,14	0,05	390

Tabela 12. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a microbacia 3.

Cheia	Microbacia	L_o (mm)	E_o (kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(mm)
4	M3	6,64	299	0,195	6,63	-0,20	1,35E+06	301	0,52	130
22	M3	1,52	27,6	0,000	3,72	145	-	-	-	140
25	M3	3,36	519	0,621	3,34	-0,64	2,80E+09	523	0,90	370
27	M3	8,02	502	0,669	8,03	0,12	5,20E+06	505	0,60	340
33	M3	2,14	399	0,882	2,14	0,09	1,55E+10	398	-0,22	170
35	M3	3,22	368	0,874	3,26	1,10	2,70E+08	367	-0,23	600
36	M3	9,32	1.354	0,790	9,25	-0,83	8,80E+09	1.345	-0,69	1.030
37	M3	3,71	250	0,892	3,63	-2,23	6,00E+08	250	0,12	260
39	M3	2,22	85,2	0,875	2,17	-2,27	6,10E+06	84,8	-0,53	930
40	M3	4,95	243	0,674	4,92	-0,54	6,80E+06	243	0,11	280
41	M3	3,77	273	0,662	3,81	1,00	1,50E+06	274	0,35	230
46	M3	2,22	43,0	0,120	2,21	-0,29	5,40E+05	43,0	-0,10	590
47	M3	2,55	55,0	0,764	2,56	0,25	1,00E+06	55,1	0,27	290
49	M3	5,10	90,0	0,200	5,11	0,12	0,00E+00	147	63,7	380
50	M3	2,03	225	0,691	2,03	-0,05	2,10E+09	223	-0,88	320
58	M3	3,79	376	0,879	3,74	-1,19	3,00E+07	373	-0,94	180
59	M3	16,8	784	0,722	16,7	-0,60	1,15E+06	785	0,04	290
60	M3	54,6	2.299	0,017	54,5	-0,25	0,00E+00	2.385	3,71	810
61	M3	9,22	500	0,868	9,13	-0,96	0,00E+00	651	30,3	650
63	M3	10,7	372	0,775	10,6	-0,35	1,60E+06	370	-0,60	610
66	M3	8,97	428	0,680	8,89	-0,86	6,65E+06	425	-0,62	370
69	M3	9,76	198	0,760	9,78	0,21	0,00E+00	263	32,6	350
71	M3	12,7	292	0,811	12,6	-1,14	2,20E+05	294	0,76	190
74	M3	6,00	113	0,769	6,01	0,12	0,00E+00	120	5,85	340
76	M3	7,13	581	0,510	7,16	0,45	2,70E+06	581	0,06	880
80	M3	85,5	9.474	0,200	85,7	0,27	4,90E+06	9.478	0,04	880

Cheia	Microbacia	L_o (mm)	E_o (kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
83	M3	7,14	1.607	0,691	7,08	-0,87	8,00E+08	1.615	0,52	270
85	M3	11,8	706	0,928	11,9	0,36	0,00E+00	971	37,5	930
87	M3	2,81	230	0,900	2,83	0,81	1,70E+07	231	0,36	70
88	M3	3,71	165	0,932	3,85	3,83	1,75E+07	166	0,63	2.320
90	M3	5,34	851	1,000	3,31	-37,91	-	-	-	340
91	M3	2,07	209	0,911	2,04	-1,44	5,30E+09	208	-0,49	70
92	M3	12,2	1.200	1,000	12,2	0,07	3,00E+09	1.189	-0,95	420
93	M3	6,80	222	1,000	3,28	-51,67	-	-	-	740
94	M3	5,52	18,6	0,938	5,52	0,07	0,00E+00	56,8	206,0	440
95	M3	29,7	4.501	0,895	29,9	0,57	8,30E+06	4.507	0,12	310
96	M3	23,1	1.713	1,000	23,1	-0,23	3,50E+06	1.723	0,59	260
98	M3	5,14	181	0,891	5,14	0,13	1,55E+06	181	-0,14	540
99	M3	13,3	850	0,840	13,4	0,80	3,20E+06	854	0,57	380
102	M3	13,5	5.285	1,000	3,92	-70,97	-	-	-	320
103	M3	1,11	367	0,774	1,10	-0,63	7,50E+09	364	-0,85	60
104	M3	2,67	1.196	0,941	2,67	0,06	5,40E+10	1.197	0,04	100
106	M3	4,60	1.166	0,670	4,59	-0,26	3,70E+09	1.163	-0,30	480
107	M3	21,7	4.383	0,810	21,8	0,59	1,00E+07	4.343	-0,91	270
108	M3	3,24	546	0,762	3,24	-0,11	3,20E+08	546	0,01	500
114	M3	1,68	210	0,821	1,66	-1,24	9,50E+08	211	0,50	410
116	M3	44,9	6.557	0,160	45,0	0,33	5,20E+06	6.522	-0,53	270
117	M3	4,58	1.317	0,886	4,62	0,96	7,30E+09	1.307	-0,74	710
118	M3	1,06	279	0,000	2,80	164	-	-	-	470
119	M3	7,84	1.102	0,530	7,85	0,10	6,50E+08	1.106	0,28	690
121	M3	1,14	132	0,918	1,15	1,16	7,50E+09	132	-0,35	340
122	M3	2,49	309	0,000	3,71	48,9	-	-	-	40
123	M3	4,97	420	0,812	5,00	0,59	4,70E+06	422	0,59	160
132	M3	8,60	2.479	0,720	8,63	0,44	3,10E+09	2.466	-0,52	240

Cheia	Microbacia	L_o (mm)	E_o (kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
135	M3	1,35	126	0,840	1,35	0,15	1,60E+09	126	-0,28	440
136	M3	18,3	6.003	0,740	18,5	0,61	1,18E+09	6.043	0,66	340
137	M3	4,22	660	0,870	4,37	3,55	3,00E+08	659	-0,10	100
142	M3	1,25	126	0,637	1,24	-0,97	5,50E+08	125	-0,45	310
152	M3	13,0	1.219	0,750	13,0	0,04	1,90E+06	1.217	-0,15	270
153	M3	27,7	9.232	0,600	27,6	-0,13	2,80E+08	9.271	0,43	950
155	M3	2,31	2.336	0,430	2,29	-0,97	3,15E+10	2.338	0,11	140
158	M3	1,21	1.047	0,680	1,20	-1,18	3,75E+10	1.046	-0,16	690
159	M3	1,37	323	0,939	1,37	0,22	1,38E+10	325	0,38	510
161	M3	9,79	5.430	0,808	9,79	-0,05	2,20E+10	5.395	-0,65	290
162	M3	5,71	3.965	0,000	7,41	29,7	-	-	-	80
165	M3	1,58	1.093	0,775	1,59	0,98	6,80E+10	1.100	0,61	180
167	M3	6,45	1.925	0,925	6,45	-0,02	1,25E+10	1.938	0,72	200
168	M3	4,64	1.099	0,803	4,31	-7,01	5,80E+09	1.110	0,96	350
169	M3	3,39	862	0,650	3,39	-0,11	1,00E+09	861	-0,07	150
172	M3	5,67	3.607	0,836	5,63	-0,62	2,90E+09	3.571	-1,00	130
174	M3	1,69	1.116	0,827	1,71	1,18	6,80E+09	1.124	0,74	100
177	M3	13,5	7.729	0,000	26,5	96,2	-	-	-	190
178	M3	10,6	6.953	0,000	13,2	24,7	-	-	-	130
179	M3	7,23	2.474	0,680	7,21	-0,32	7,60E+08	2.463	-0,45	630
183	M3	9,63	6.740	0,710	9,69	0,57	6,80E+09	6.690	-0,74	110
184	M3	1,81	850	0,885	1,83	0,98	1,65E+10	851	0,16	80
185	M3	13,0	5.181	1,000	7,31	-43,66	-	-	-	610
186	M3	5,36	1.707	0,435	5,41	0,98	1,50E+09	1.724	1,01	60
187	M3	7,82	1.751	0,800	7,86	0,48	1,65E+07	1.743	-0,43	240
193	M3	9,15	1.435	0,845	9,18	0,32	1,80E+08	1.447	0,81	380
197	M3	6,75	1.811	0,660	6,70	-0,74	1,10E+09	1.814	0,13	180
198	M3	20,6	5.192	0,800	20,6	-0,15	2,00E+08	5.177	-0,28	150

Cheia	Microbacia	L_o (mm)	E_o (kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
199	M3	14,9	7.483	0,651	14,7	-0,91	6,20E+08	7.495	0,16	880
204	M3	5,39	1.077	1,000	3,86	-28,32	-	-	-	130
206	M3	3,32	414	1,000	2,33	-29,81	-	-	-	300
207	M3	10,4	1.375	1,000	0,84	-91,95	-	-	-	240
208	M3	22,3	4.330	1,000	14,1	-36,79	-	-	-	540
209	M3	28,0	8.456	0,740	28,1	0,53	2,00E+07	8.519	0,74	150
210	M3	3,75	1.340	0,920	3,76	0,26	6,50E+09	1.345	0,33	160
211	M3	4,73	1.100	1,000	3,35	-29,23	-	-	-	410
212	M3	16,8	5.953	1,000	16,3	-2,60	1,05E+09	5.993	0,67	460
215	M3	4,79	2.327	0,773	4,82	0,73	7,60E+09	2.324	-0,12	320
217	M3	2,96	594	1,000	2,30	-22,44	-	-	-	270
224	M3	3,47	898	0,912	3,46	-0,28	2,30E+09	898	-0,07	240
225	M3	16,2	1.984	0,835	16,2	0,37	6,50E+06	1.990	0,30	370
226	M3	21,8	7.037	0,880	21,6	-0,82	3,00E+08	7.087	0,72	390
228	M3	5,27	839	0,935	5,39	2,31	2,20E+09	835	-0,48	440
229	M3	16,1	1.017	0,670	16,3	0,94	4,10E+06	1.017	0,04	210
239	M3	5,10	813	0,918	5,11	0,30	1,10E+09	819	0,77	130
242	M3	2,09	258	0,646	2,10	0,19	1,45E+09	260	0,83	350
245	M3	8,28	1.125	0,920	8,30	0,19	1,20E+09	1.116	-0,79	980
246	M3	8,56	552	0,920	8,64	0,96	3,20E+06	547	-0,86	70
247	M3	5,18	1.563	0,840	5,20	0,43	3,40E+09	1.565	0,15	450
253	M3	10,2	2.794	0,840	10,1	-0,68	1,15E+09	2.801	0,26	100
264	M3	4,06	484	0,832	4,05	-0,17	3,80E+08	480	-0,94	260

Tabela 13. Valores dos parâmetros S_i e c_f para todos os eventos utilizados para a microbacia 4.

Cheia	Microbacia	L_o (mm)	E_o (kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
4	M4	4,44	238	0,078	4,45	0,25	3,78E+06	239	0,24	130
30	M4	14,3	505	0,000	14,7	2,40	6,02E+05	505	0,00	140
36	M4	5,41	63,0	0,666	5,43	0,40	2,00E+06	63,2	0,39	1030
37	M4	1,06	8,72	0,798	1,04	-2,43	0,00E+00	80,4	823	260
41	M4	1,58	18,0	0,397	1,60	1,68	2,70E+04	18,1	0,57	230
59	M4	11,4	493	0,260	11,4	0,06	2,72E+06	494	0,26	290
60	M4	55,4	935	0,050	55,4	0,01	0,00E+00	1.029	10,1	810
61	M4	5,34	57,7	0,805	5,32	-0,39	1,50E+06	57,9	0,35	650
63	M4	6,96	110	0,672	6,98	0,24	9,20E+05	110	0,39	610
64	M4	5,35	57,7	1,000	0,27	-95,0	-	-	-	520
66	M4	4,03	35,3	0,528	4,02	-0,20	6,00E+05	35,4	0,31	370
69	M4	8,60	18,0	0,680	8,61	0,12	0,00E+00	321	1.684	350
71	M4	6,09	178	0,610	6,10	0,16	1,05E+05	178	-0,10	190
74	M4	1,54	118	0,455	1,55	0,38	2,35E+07	118	0,32	340
76	M4	1,99	291	0,000	3,47	74,5	-	-	-	880
80	M4	101	12.260	0,615	100	-0,21	9,80E+06	12.263	0,03	880
83	M4	12,1	2.662	0,889	12,0	-0,70	4,20E+07	2.684	0,84	270
85	M4	10,9	2.375	0,920	11,0	0,58	2,20E+08	2.376	0,03	930
87	M4	2,14	536	0,875	2,16	1,01	1,09E+10	536	0,00	70
88	M4	4,43	267	0,942	4,43	0,12	3,75E+07	267	-0,07	2320
89	M4	1,45	296	0,938	1,46	0,52	6,20E+09	295	-0,26	200
90	M4	2,86	380	0,933	2,87	0,35	1,20E+08	379	-0,17	340
91	M4	2,26	476	0,918	2,27	0,33	3,88E+09	477	0,12	70
92	M4	13,0	2.085	1,000	12,1	-6,96	5,80E+08	2.086	0,02	420
93	M4	3,18	139	0,949	3,17	-0,29	5,30E+07	140	0,29	740
94	M4	8,52	443	1,000	6,11	-28,2	-	-	-	440

Cheia	Microbacia	L_0 (mm)	E_0 (kg/ha)	S_1	L_c (mm)	$(L_c - L_0)/L_0$ (%)	C_r	E_c (kg/ha)	$(E_c - E_0)/E_0$ (%)	Duração (min)
95	M4	38,5	3.044	1,000	33,3	-13,7	8,30E+06	3.052	0,26	310
96	M4	22,7	3.223	0,943	22,7	0,27	1,88E+07	3.234	0,34	260
99	M4	11,9	3.478	0,802	11,8	-0,56	6,99E+07	3.447	-0,89	380
101	M4	1,24	1.863	0,938	1,27	2,04	5,30E+09	1.861	-0,12	740
102	M4	11,0	3.796	1,000	3,85	-65,0	-	-	-	320
104	M4	1,44	860	0,909	1,44	-0,24	2,93E+09	860	0,04	100
106	M4	3,50	1.313	0,609	3,51	0,42	1,25E+09	1.310	-0,26	480
107	M4	9,79	2.303	0,147	9,78	-0,04	1,48E+07	2.318	0,68	270
108	M4	4,21	199	0,820	4,21	0,01	6,00E+06	199	0,10	500
110	M4	3,46	241	0,000	3,58	3,35	5,23E+06	242	0,15	210
114	M4	1,03	275	0,780	1,03	0,29	1,80E+08	274	-0,34	410
116	M4	53,8	7.168	0,532	53,9	0,23	9,30E+06	7.150	-0,25	270
117	M4	3,47	1.077	0,862	3,42	-1,54	1,05E+09	1.085	0,71	710
118	M4	5,31	286	0,429	5,32	0,06	4,45E+06	285	-0,17	470
119	M4	9,71	909	0,676	9,76	0,53	1,28E+07	909	-0,09	690
122	M4	5,58	338	0,653	5,59	0,18	6,80E+05	339	0,33	40
123	M4	4,01	295	0,770	4,02	0,20	8,00E+06	292	-0,90	160
124	M4	17,6	1.127	0,540	17,7	0,24	2,05E+06	1.131	0,42	110
125	M4	19,7	4.417	0,590	19,5	-0,92	1,50E+07	4.417	0,01	950
126	M4	76,6	2.780	0,430	76,2	-0,43	1,75E+06	2.776	-0,15	590
130	M4	13,4	263	0,000	13,7	2,53	4,50E+05	263	-0,13	840
132	M4	5,64	559	0,507	5,65	0,19	1,40E+07	560	0,14	240
136	M4	15,8	2.678	0,600	15,9	0,35	1,50E+07	2.692	0,54	340
137	M4	3,45	302	0,840	3,46	0,28	9,95E+06	302	-0,01	100
152	M4	8,19	527	0,335	8,18	-0,12	2,50E+06	527	0,09	270
153	M4	19,2	6.228	0,035	19,2	0,04	2,55E+07	6.221	-0,12	330
155	M4	1,07	322	0,247	1,06	-1,03	1,19E+10	323	0,12	140
161	M4	5,10	367	0,643	5,07	-0,63	6,70E+06	367	0,00	290

Chetia	Microbacia	L_0 (mm)	E_0 (kg/ha)	S_1	L_r (mm)	$(L_r-L_0)/L_0$ (%)	c_f	E_r (kg/ha)	$(E_r-E_0)/E_0$ (%)	Duração(min)
162	M4	5,44	1.197	0,000	6,68	22,9	-	-	-	80
165	M4	1,84	1.018	0,806	1,85	0,18	4,75E+10	1.018	0,08	180
167	M4	5,04	1.778	0,893	5,01	-0,48	5,20E+09	1.789	0,63	200
168	M4	1,62	673	0,555	1,62	-0,14	9,70E+09	678	0,79	250
169	M4	5,99	399	0,810	5,99	-0,05	5,25E+06	397	-0,56	150
172	M4	6,14	4.100	0,861	6,13	-0,19	6,00E+09	4.091	-0,22	130
174	M4	1,24	1.199	0,796	1,24	-0,20	3,95E+10	1.197	-0,17	100
177	M4	8,78	5.659	0,315	8,80	0,30	3,80E+07	5.635	-0,42	80
178	M4	10,5	6.874	0,699	10,5	0,07	1,70E+09	6.848	-0,39	130
179	M4	5,02	2.793	0,650	5,05	0,60	1,91E+09	2.790	-0,12	90
181	M4	13,5	8.176	0,270	13,6	0,50	5,00E+08	8.150	-0,33	190
183	M4	8,64	6.658	0,650	8,60	-0,50	6,00E+09	6.631	-0,41	110
184	M4	1,61	1.159	0,882	1,61	-0,19	2,30E+08	1.167	0,69	80
185	M4	12,1	3.606	1,000	7,10	-41,5	-	-	-	610
186	M4	5,40	1.316	0,470	5,43	0,45	2,40E+07	1.310	-0,50	60
187	M4	6,66	1.370	0,722	6,72	0,80	2,00E+07	1.367	-0,22	230
197	M4	6,98	2.340	0,690	6,93	-0,63	3,60E+08	2.354	0,62	180
198	M4	18,5	5.875	0,720	18,7	0,68	3,60E+07	5.912	0,63	150
199	M4	15,5	7.839	0,710	15,5	-0,28	9,00E+07	7.852	0,16	880
202	M4	5,50	2.179	0,920	5,53	0,61	2,50E+09	2.195	0,72	30
203	M4	4,13	1.916	1,000	3,70	-10,5	1,20E+06	1.902	-0,77	330
204	M4	3,48	718	0,940	3,45	-0,94	8,30E+09	716	-0,29	130
206	M4	1,58	656	0,939	1,61	1,91	1,90E+09	650	-0,85	300
207	M4	6,27	1.232	1,000	0,78	-87,5	-	-	-	240
208	M4	16,5	5.927	1,000	14,0	-14,9	-	-	-	540
209	M4	26,7	11.889	0,670	26,7	0,00	3,20E+07	11.935	0,39	150
210	M4	2,16	1.673	0,856	2,15	-0,26	1,20E+10	1.687	0,84	160
211	M4	2,94	746	0,940	2,91	-1,01	2,10E+09	752	0,83	410

Cheia	Microbacia	L_o (mm)	E_o (kg/ha)	S_i	L_c (mm)	$(L_c-L_o)/L_o$ (%)	c_f	E_c (kg/ha)	$(E_c-E_o)/E_o$ (%)	Duração(min)
212	M4	9,36	4.869	0,760	9,30	-0,64	1,05E+10	4.828	-0,84	460
215	M4	5,77	1.685	0,825	5,73	-0,70	1,90E+09	1.682	-0,19	320
217	M4	1,86	600	0,933	1,86	0,28	2,70E+11	599	-0,23	270
218	M4	9,19	788	0,810	9,20	0,08	1,05E+07	780	-0,97	350
224	M4	3,11	775	0,903	3,08	-0,87	2,50E+08	768	-0,88	240
225	M4	13,7	3.253	0,750	13,8	0,92	7,60E+07	3.228	-0,76	370
226	M4	21,8	6.505	0,887	21,8	-0,11	2,50E+07	6.470	-0,54	390
228	M4	5,59	928	0,940	5,57	-0,47	2,30E+08	927	-0,12	440
229	M4	14,9	34.658	0,604	14,9	-0,41	4,40E+10	34.882	0,65	210
239	M4	3,54	5.224	0,863	3,57	0,98	7,20E+08	5.273	0,93	130
242	M4	3,15	345	0,720	3,16	0,43	5,00E+08	344	-0,10	350
245	M4	6,75	1.124	0,878	6,79	0,56	7,10E+07	1.118	-0,49	980
247	M4	4,96	1.578	0,833	4,92	-0,62	3,30E+09	1.585	0,43	450
253	M4	11,9	1.864	0,896	11,8	-0,92	2,25E+07	1.864	0,00	100
264	M4	3,97	248	0,830	3,96	-0,30	1,60E+07	246	-0,69	260

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

Tabela 1. 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

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
24	2,40E+05	771	311	0,001					
25	1,90E+05	882	215	0,001					
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		

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
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		
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 2. 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					
7	4,34E+05	671	646	0,052			6		
8	-	1039	-	0,041	0,5	0,5	3		
9	2,06E+05	634	325	0,014			5		
10	1,76E+05	689	255	0,016			7		
11	-	929	-	0,001	0,5	0,5	8	10	9
12	1,16E+05	536	217	0,019					
13	3,26E+05	567	575	0,018					
14	2,71E+05	452	600	0,073			13		
15	2,07E+05	632	328	0,019			14		
16	-	427	-	0,094	0	0,25	12		
17	1,60E+05	244	654	0,082					
18	2,27E+05	255	889	0,118			17		
19	1,92E+05	348	552	0,029			18		
20	-	887	-	0,001	0,5	0,5	16	19	15
21	5,19E+05	661	785	0,003					
22	4,35E+05	790	551	0,003					
23	5,18E+05	703	737	0,050			22		
24	5,18E+05	601	862	0,002					
25	4,86E+05	727	669	0,047			24		
26	-	921	-	0,046	0	0,25	21		
27	3,18E+05	957	332	0,007			23		

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
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		
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		

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
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					
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 3. 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					

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
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					
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					

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
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
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					

Elemento	Area (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
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
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

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
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					
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		

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
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					
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		

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
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	
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					

Elemento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Declividade	Base (m)	Inclinação lateral	Elemento Anterior		
							Superior	Esquerda	Direita
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.