

Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Departamento de Engenharia Civil

**MODFIPE – UM MODELO DISTRIBUÍDO DE BASE FÍSICA
PARA SIMULAÇÃO DO ESCOAMENTO E EROÇÃO DO SOLO**

GUSTAVO DE SOUSA

Campina Grande
Data: MARÇO / 2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

**MODFIPE – UM MODELO DISTRIBUÍDO DE BASE FÍSICA PARA
SIMULAÇÃO DO ESCOAMENTO E EROSÃO DO SOLO**

GUSTAVO DE SOUSA

CAMPINA GRANDE-PB
MARÇO DE 2007

GUSTAVO DE SOUSA

**MODFIPE – UM MODELO DISTRIBUÍDO DE BASE FÍSICA PARA SIMULAÇÃO DO
ESCOAMENTO E EROÇÃO DO SOLO**

Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação
em Engenharia Civil e Ambiental, na área de
Engenharia de Recursos Hídricos, em cumprimento
às exigências para obtenção do grau de Mestre

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS

ORIENTADOR: EDUARDO ENEAS DE FIGUEIREDO

**CAMPINA GRANDE-PB
MARÇO DE 2007**



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFPG

S725m Sousa, Gustavo de
2007 MODFIPE - um modelo distribuído de base física para simulação do escoamento e erosão do solo/ Gustavo de Sousa. – Campina Grande, 2007. 101 f.: il.

Referências.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
Orientador: Eduardo Eneas de Figueiredo.

1— Modelagem Hidrossedimentológica 2— Recursos Hídricos – Modelo para Escoamento e Erosão do Solo 3— Modelos Hidrológicos Distribuídos I— Título

CDU 556.028:624

GUSTAVO DE SOUSA

**MODFIPE – UM MODELO DISTRIBUÍDO DE BASE FÍSICA PARA SIMULAÇÃO DO
ESCOAMENTO E EROSÃO DO SOLO**

Aprovada em 15 de março de 2007

COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. EDUARDO ENEÁS DE FIGUEIREDO - PhD
Presidente – Orientador (UAEC / CTRN / UFCG – PB)



Prof. VAJAPÉYAM SRIRANGACHAR SRINIVASAN - PhD
Examinador Interno (UAEC / CTRN / UFCG – PB)



Prof. JOSÉ CARLOS DE ARAÚJO - PhD
Examinador Externo (DEA / CCA / UFC – CE)

CAMPINA GRANDE-PB

MARÇO DE 2007

*Aos meus pais, José Newton e
Adelina Camilo, que sempre apoiaram
minhas decisões, a minha esposa
Klécia, por seu apoio incondicional e a
Evilásio Magalhães (in memoriam),
meu padrinho, que mesmo de longe
conseguiu me dar apoio. Sem eles
este trabalho não existiria.*

AGRADECIMENTOS

Ao programa CT-Hidro, pelo apoio financeiro durante a vigência do curso.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração desta dissertação.

Ao professor Eduardo Eneas, pela orientação objetiva, descontraída e bem humorada, e, principalmente, pela paciência e entusiasmo com que me mostrou caminhos e ajudou com valiosas contribuições na eliminação de dúvidas de execução dos programas, principalmente, quando estes teimavam em não funcionar como deveriam.

A Klécia, por seu companheirismo e apoio sempre.

A Francisco Neto pela revisão de texto.

RESUMO

A modelagem do escoamento e da erosão do solo está diretamente relacionada a todos os processos do ciclo hidrológico. Por essa razão, modelar matematicamente esses processos implica na consideração de parâmetros físicos do sistema da bacia, tais como a capacidade de infiltração, a condutividade hidráulica, a tensão do solo e as relações funcionais entre estas e a umidade do solo. O modelo MOFIPE foi desenvolvido para calcular escoamento e erosão do solo em pequena escala, porém sem considerar a fase canal com a propagação do escoamento, não sendo possível analisar o efeito de retenção no processo, bem como a variabilidade dos processos e do sistema da bacia. Neste trabalho é proposto um modelo distribuído para simulação do escoamento e erosão do solo, denominado MODFIPE, baseado no modelo de fluxo e erosão do MOFIPE, e que considera as heterogeneidades dos processos, da bacia e a fase canal. A evapotranspiração pode ser estimada por várias metodologias e considera a propagação do escoamento em duas direções ortogonais, X e Y. Desse modo, o modelo pode ser aplicado em bacias heterogêneas. O escoamento é gerado por excesso de chuva sobre a capacidade de infiltração do solo e/ou excesso de umidade sobre a umidade de saturação do solo. A erosão do solo é calculada pela equação do momento quadrado da chuva e pelo escoamento superficial quando a tensão de cisalhamento do fluxo excede a tensão de cisalhamento crítica das partículas de solo. O transporte de sedimentos depende da capacidade de transporte que é calculada por três metodologias, sendo uma delas com a distribuição de sedimentos do solo erodido. O programa do modelo foi desenvolvido com uma interface gráfica em DELPHI®. Duas outras versões mais simples, uma em Fortran g77® e outra em Excel®, foram desenvolvidas para checagem dos resultados. Para teste e validação do modelo foram utilizadas a sub-bacia de Umburana da bacia representativa de Sumé, as micro-bacias M3 e M4 da bacia experimental de Sumé, no Estado da Paraíba, e a sub-bacia de Mundo Novo da bacia representativa de Tauá, no Estado do Ceará.

ABSTRACT

The runoff erosion modelling is related to the processes of the hydrologic cycle. To model satisfactorily these processes it is important to consider physical parameters of the systems such as the infiltration capacity, hydraulic conductivity, soil tension and the relationships between them and soil moisture content. The model MOFIPE was designed to calculate the runoff and erosion processes considering these characteristics. However, the climate variability, catchment's heterogeneities, and the channel system and routing procedure were not taken into account. In this work the distributed model MODFIPE is proposed, which considers these heterogeneities, i.e., the space variability of the rainfall, soils, relief, evapotranspiration that can be calculated using different methodologies, and the routing procedure in two orthogonal directions, X and Y. These aspects make the new approach suitable for being applied at heterogeneous systems. Runoff is generated either by rainfall excess over infiltration capacity, excess of soil moisture content over saturation or both. Soil erosion is determined by the squared moment of the rainfall, and runoff when the shear stress of the flow exceeds the resistance of the soil. Sediment transport depends on the transport capacity of the flow that can be calculated using alternative methods, one of which with the sediment size distributions of the eroded soil. In order to accomplish such features, a friendly and interactive interface has been designed in DELPHI®, with a reasonable graphic interface. Two simpler versions, one in FORTRAN g77® and another using the EXCEL® spreadsheet, have also been designed. The model workability was tested and validated through simulations realized for some catchments in the semi-arid region of Northeast Brazil, the Umburana sub-basin of the Representative basin of Sumé, the micro-basins M3 and M4 of the Experimental basin of Sumé, in the state of Paraíba, and the sub-basin of Mundo Novo of the Representative basin of Tauá in the state of Ceará.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
SUMÁRIO	v
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos.....	2
1.2. Estrutura da Dissertação.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Introdução	3
2.2. Processos Hidrológicos	4
2.2.1. Precipitação	4
2.2.2. Intercepção.....	5
2.2.3. Infiltração	6
2.2.4. Evapotranspiração	6
2.2.5. Escoamento Superficial	6
2.3. Processos Sedimentológicos.....	7
2.3.1. Transporte e Deposição de Sedimentos.....	8
2.3.2. Carga do Leito, Carga em Suspensão e Carga Total	9
2.4. Propriedades dos Sedimentos	10
2.5. Modelos Hidrológicos.....	11
2.5.1. Modelos Estocásticos e Determinísticos.....	12
2.5.2. Modelos Conceituais, Semiconceituais e de Base Física	12
2.5.3. Modelos Concentrados e Distribuídos.....	13
2.5.4. Modelos Orientados a Eventos	13
2.6. Escalas de Tempo e Espaço nos Modelos Matemáticos	14
2.6.1. Divisão da Escala Temporal e Espacial da Bacia Hidrográfica	14
2.7. Modelos Hidrossedimentológicos	15
3. METODOLOGIA.....	17
3.1. O Modelo Concentrado MOFIPE.....	17
3.1.1. Modificações e Correções no Modelo Concentrado MOFIPE.....	19

3.2. O Modelo MODFIPE.....	19
3.2.1. Considerações para o Desenvolvimento do Modelo MODFIPE	19
3.2.2. Modelo de Fluxo	20
3.2.3. Modelo de Erosão	32
3.3. Dados de Entrada e Parâmetros do MODFIPE.....	39
3.3.1. Profundidade do Solo.....	39
3.3.2. Características do Solo	39
3.3.3. Evapotranspiração	39
3.3.4. Umidade Mínima do Solo.....	39
3.3.5. Parâmetros de Erosão do Solo	40
3.3.6. Outros parâmetros.....	40
3.4. Algoritmo e Procedimentos de Cálculo do Modelo	40
3.5. Formato dos Arquivos de Entrada de Dados do Modelo	45
3.6. Ambientes de Desenvolvimento.....	46
3.6.1. Delphi.....	46
3.6.2. Fortran	47
3.6.3. Excel	47
4. DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO E PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO	48
4.1. Bacia Representativa de Sumé (BRS).....	48
4.1.1. Localização	48
4.1.2. Clima.....	48
4.1.3. Solos e Cobertura Vegetal	49
4.2. Bacia Experimental de Sumé (BES).....	50
4.2.1. Localização	50
4.2.2. Clima.....	50
4.2.3. Solos e Cobertura Vegetal	51
4.3. Parâmetros Gerais Utilizados para Simulações das BES e BRS	52
4.3.1. Profundidade do Solo.....	52
4.3.2. Parâmetros Hidráulicos do Solo.....	52
4.3.3. Evapotranspiração	52
4.3.4. Parâmetros de Erosão do Solo	54
4.3.5. Outros parâmetros.....	55
4.4. Bacia Representativa de Tauá (BRT).....	55
4.4.1. Localização	55
4.4.2. Clima.....	56

4.4.3. Solos e Cobertura Vegetal	56
4.5. Parâmetros Gerais Utilizados para Simulações na BRT	57
4.5.1. Profundidade do Solo.....	57
4.5.2. Parâmetros Hidráulicos do Solo.....	57
4.5.3. Evapotranspiração	57
4.5.4. Parâmetros de Erosão do Solo	58
4.5.5. Outros Parâmetros.....	58
5. APLICAÇÃO DO MODELO MODFIPE.....	59
5.1. Modelagem dos Processos na Bacia Experimental de Sumé.....	60
5.1.1. Resultados do Modelo de Fluxo.....	61
5.1.2. Resultados do Modelo de Erosão.....	68
5.2. Modelagem dos Processos na Bacia Representativa de Sumé.....	69
5.2.1. Resultados do Modelo de Fluxo.....	72
5.2.2. Resultados do Modelo de Erosão do Solo.....	79
5.3. Validação do Modelo MODFIPE.....	79
5.3.1. Validação do Modelo na Micro-Bacia 4 da BES.....	80
5.3.2. Validação na Sub-Bacia Mundo Novo da BRT	84
6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	89
6.1. Análise do Modelo de Fluxo.....	89
6.2. Parâmetros Hidráulicos do Solo	91
6.3. Análise do Modelo de Erosão do Solo.....	92
6.4. Análise Final dos Resultados	93
6.5. Limitações do Modelo Distribuído MODFIPE.....	94
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	95
7.1. Conclusões.....	95
7.2. Recomendações.....	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classificação dos sedimentos.....	10
Tabela 3.1 – Padrão do arquivo de precipitação.....	46
Tabela 4.1 – Características das sub-bacias da BRS (Cadier e Freitas, 1982)	49
Tabela 4.2 – Características das micro-bacias da BES (Cadier e outros, 1983)	51
Tabela 4.3 – Características das parcelas de erosão	51
Tabela 4.4 - Evapotranspiração média mensal na BES.....	53
Tabela 4.5 - Temperatura média mensal na BES.....	53
Tabela 4.6 – Umidade relativa média mensal na BES.....	53
Tabela 4.7 – Velocidade média mensal do vento na BES.....	54
Tabela 4.8 - Radiação global na BES.....	54
Tabela 4.9 – Porcentagens de partículas de solo (Figueiredo, 1998)	54
Tabela 4.10 – Evaporação média mensal (Moquém, 1980-1981).....	58
Tabela 4.11 – Temperatura média mensal (Moquém, 1980-1981)	58
Tabela 4.12 – Umidade relativa média mensal (Moquém, 1980-1981).....	58
Tabela 4.13 – Velocidade média mensal do vento (Moquém, 1980-1981).....	58
Tabela 5.1 – Dados dos canais da micro-bacia 3 da BES.....	61
Tabela 5.2 – Dados dos planos da modelagem da micro-bacia 3 da BES	61
Tabela 5.3 – Lâminas observada e calculada na micro-bacia M3.....	62
Tabela 5.4 – Erosão calculada e observada na micro-bacia M3.....	69
Tabela 5.5 – Parâmetros C e D (Eq. 3.15) ajustados para a sub-bacia de Umburana.....	71
Tabela 5.6 – Dados dos planos da modelagem da sub-bacia de Umburana	72
Tabela 5.7 – Dados dos canais da sub-bacia de Umburana	72
Tabela 5.8 – Lâminas calculada (mm) e observada na sub-bacia de Umburana	73
Tabela 5.9 – Lâminas calculada (mm) e observada na sub-bacia de Umburana	73
Tabela 5.10 – Dados dos planos da modelagem da micro-bacia 4 da BES	81
Tabela 5.11 – Dados dos canais da micro-bacia 4 da BES	81
Tabela 5.12 – Lâminas observada e calculada (M4).....	82
Tabela 5.13 – Erosão calculada e observada (M4).....	82
Tabela 5.14 – Comparação das lâminas totais calculadas em M4 com outros modelos....	83

Tabela 5.15 - Comparação da erosão total calculada em M4 com os resultados de outros modelos	84
Tabela 5.16 – Dados dos planos da modelagem da sub-bacia Mundo Novo da BRT.....	85
Tabela 5.17 – Dados dos canais da sub-bacia Mundo Novo da BRT	85
Tabela 5.18 – Lâminas calculada e observada para os três eventos de Mundo Novo	86
Tabela 6.1 – Coeficientes de determinação obtidos com base nos modelos e nos valores observados nas micro-bacias M3 e M4	90
Tabela 6.2 - Erosão total nas micro-bacias M3 e M4	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Representação do ciclo hidrológico (adaptado de Shaw, 1994)	4
Figura 2.2 - Escala dos processos hidroclimáticos (Tucci, 1998)	14
Figura 3.1 – Fluxograma do modelo MOFIPE (Figueiredo e Davi, 2006)	18
Figura 3.2 – Eventos de chuva no tempo t (modificada de Davi, 2004)	22
Figura 3.3 – Esquema de propagação nos planos e canais da bacia	31
Figura 3.4 – Fluxograma de cálculo nos planos	41
Figura 3.5 – Modelagem da bacia para simulação do escoamento nos planos e canais ...	42
Figura 3.6 – Fluxograma de cálculo da propagação do fluxo nos planos	44
Figura 3.7 – Fluxograma de cálculo da propagação do fluxo nos canais e erosão do solo	45
Figura 4.1 – BRS, sub-bacias e hidrografia (Cadier e Freitas, 1982)	49
Figura 4.2 – Unidades experimentais da BES (parcelas – W e micro-bacias)	50
Figura 4.3 – Bacia Representativa de Tauá, sub-bacias e hidrografia principal	56
Figura 5.1 – Modelagem da micro-bacia 3	60
Figura 5.2 – Lâminas observada e calculada na micro-bacia 3	62
Figura 5.3 – Hidrograma calculado nas seções 1 a 4 do rio, para o evento 116	63
Figura 5.4 – Hidrograma calculado nas seções 1 a 4 do rio, para o evento 119	63
Figura 5.5 – Hidrograma calculado nas seções 1 a 4 do rio, para o evento 124	63
Figura 5.6 – Hidrograma calculado nas seções 1 a 4 do rio, para o evento 126	64
Figura 5.7 – Hidrograma calculado nas seções 1 a 4 do rio, para o evento 130	64
Figura 5.8 – Hidrograma calculado nas seções 1 a 4 do rio, para o evento 132	64
Figura 5.9 – Hidrogramas calculado e observado na última seção do canal (evento 116)	65
Figura 5.10 – Hidrogramas calculado e observado na última seção do canal (evento 119)	65
Figura 5.11 – Hidrogramas calculado e observado na última seção do canal (evento 124)	65
Figura 5.12 – Hidrogramas calculado e observado na última seção do canal (evento 126)	66
Figura 5.13 – Hidrogramas calculado e observado na última seção do canal (evento 130)	66

Figura 5.14 – Hidrogramas calculado e observado na última seção do canal (evento 132)	66
Figura 5.15 – Gráfico do perfil de umidade do solo versus umidade do solo (evento 126)	67
Figura 5.16 – Gráfico da condutividade hidráulica versus umidade do solo	67
Figura 5.17 – Gráfico da capacidade de infiltração versus umidade do solo	68
Figura 5.18 – Gráfico da tensão capilar versus umidade do solo (horizonte A)	68
Figura 5.19 – Gráfico da relação Evapotranspiração (Real/Potencial) versus tensão capilar do solo	68
Figura 5.20 – Modelagem da sub-bacia de Umburana	70
Figura 5.21 – Hidrograma do evento 1 na seção final dos trechos de rio	74
Figura 5.22 – Hidrograma do evento 9 da seção final dos trechos de rios	74
Figura 5.23 – Hidrograma do evento 11 das seção final dos trechos de rios	75
Figura 5.24 – Hidrograma do evento 1 - modelagem de 1 plano e 1 canal	75
Figura 5.25 – Hidrograma do evento 1 - modelagem de 4 planos e 4 canais	75
Figura 5.26 - Hidrograma do evento 1 - modelagem de 14 planos e 8 canais	76
Figura 5.27 – Hidrograma do evento 9 - modelagem de 14 planos e 8 canais	76
Figura 5.28 – Hidrograma do evento 11 - modelagem de 14 planos e 8 canais	76
Figura 5.29 - Hidrograma do evento 1 - modelagem de 14 planos e 8 canais	77
Figura 5.30 - Hidrograma do evento 9 - modelagem de 14 planos e 8 canais	77
Figura 5.31 - Hidrograma do evento 11 - modelagem de 14 planos e 8 canais	77
Figura 5.32 – Gráfico do perfil de umidade do solo (durante o evento 1)	78
Figura 5.33 – Gráfico da condutividade hidráulica (K_i) versus umidade ($Teta$) do solo	78
Figura 5.34 – Gráfico da capacidade de infiltração (f) versus umidade ($Teta$) do solo	78
Figura 5.35 – Gráfico da tensão capilar (Psi) versus umidade ($Teta$) do solo (horizonte A)	79
Figura 5.36 – Modelagem da micro-bacia 4	80
Figura 5.37 – Gráfico das lâminas observada e calculada na micro-bacia 4	81
Figura 5.38 – Comparação das lâminas calculadas na sub-bacia M4 com outros modelos	83
Figura 5.39 – Modelagem da sub-bacia Mundo Novo, da BRT	84
Figura 5.40 – Hidrograma do evento 24 da seção final dos trechos de rios	86
Figura 5.41 – Hidrograma do evento 25 da seção final dos trechos de rios	86
Figura 5.42 – Hidrogramas calculado e observado na última seção do canal (evento 24)	87
Figura 5.43 – Hidrogramas calculado e observado na última seção do canal (evento 25)	87
Figura 5.44 – Gráfico do perfil de umidade ($Teta$) do solo para o evento 25	87
Figura 5.45 – Gráfico da condutividade hidráulica (K_i) versus umidade ($Teta$) do solo	88

Figura 5.46 – Gráfico da capacidade de infiltração (f) versus umidade (Teta) do solo..... 88

Figura 6.1 – Relação entre as lâminas calculadas pelos modelos 90

Figura 6.2 – Comparação das lâminas calculadas pelos modelos MODFIPE, MOFIPE, KINEROS2, WESP) e observadas na micro-bacia M4..... 91

Figura 6.3 – Comparação entre a erosão total calculada (MODFIPE)..... 93

Figura 6.4 - Relação entre a erosão total calculada (MODFIPE) e observada da micro-bacia M4..... 93

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das civilizações e o crescimento populacional descontrolado trazem ao meio ambiente uma série de problemas de difícil gerenciamento e controle. Entre outras ações antrópicas, a construção de grandes obras de engenharia hidráulica, bem como a devastação das matas ciliares alteram as condições naturais, causando inundações e erosão em grandes áreas.

A modelagem do processo de escoamento e erosão do solo está inter-relacionada a todos os processos do ciclo hidrológico, contudo, a precipitação e o escoamento superficial têm relação direta com a produção de sedimentos. A erosão hídrica se dá pelo desprendimento e transporte de partículas do solo, causados pela água. Os problemas causados pela erosão, transporte, deposição e compactação de sedimentos são variados. Entre eles, podem ser citados: a erosão na cabeceira de rios, destruindo as nascentes; a remoção da camada fértil, causando o empobrecimento do solo; o aumento da turbidez da água, prejudicando a qualidade e a estética dos corpos d'água; a alteração da geometria de canais; e o assoreamento de reservatórios, reduzindo a capacidade de armazenamento. Esses e outros problemas justificam a importância de estudos e pesquisas nessa área.

A erosão hídrica resulta da interação de forças ativas, como as características da chuva, a ação erosiva da água, a declividade do terreno e a capacidade do solo em absorver água, e de forças passivas, como a resistência do solo, os métodos adequados de cultivo e a cobertura vegetal. A resistência do solo determina a sua susceptibilidade à erosão que pode ocorrer em diferentes taxas, devido às particularidades de cada solo.

O estudo das alterações no escoamento através do uso de bacias representativas e experimentais tem sido de grande importância e conjuntamente com o uso e

desenvolvimento de modelos de simulação do escoamento e erosão do solo tem dado subsídio à compreensão dos processos (Aragão, 2000).

Historicamente, os modelos empíricos de simulação hidrossedimentológica foram bastante utilizados durante as décadas de 60 e 70. Exemplos desse tipo de modelo são a USLE (Wischmeier, 1960) e a MUSLE (Williams, 1975). Em seguida, os modelos conceituais, como o STANFORD IV (Crowford & Linsley, 1976) e o CSU (Li e outros, 1976), foram amplamente utilizados. A partir de meados dos anos 80, os modelos de base física, como o SHE (Abbott e outros, 1986a,b), o WESP (Lopes, 1987), o SHESED (Bathurst e outros, 1995; Wicks e Bathurst, 1996) e o SHETRAN (Bathurst e Purnama, 1991; Ewen e outros, 2000) se popularizaram.

Com o advento da capacidade de processamento dos computadores, foram abertos precedentes ao desenvolvimento de modelos computacionais que permitam simular várias situações práticas simultaneamente, úteis em estudos de estratégias de manejo do solo e preservação ambiental.

1.1. Objetivos

Este trabalho tem por objetivo desenvolver e validar um modelo de base física para simulação do escoamento e erosão do solo em bacias de pequena e média escala da região semi-árida do Nordeste do Brasil. O modelo desenvolvido neste trabalho denomina-se MODFIPE - Modelo Distribuído de Base Física para Simulação do Escoamento e Erosão do Solo, sendo desenvolvido a partir do MOFIPE - Modelo de Base Física para Simulação do Escoamento e Erosão do Solo em Pequena Escala (Davi, 2004).

1.2. Estrutura da Dissertação

Nesta dissertação encontra-se uma revisão bibliográfica no capítulo 2, a descrição da metodologia no capítulo 3 e nos capítulos 4 e 5, os estudos de caso e aplicações do modelo desenvolvido, respectivamente, após os quais uma análise dos resultados é realizada no capítulo 6 e finalmente as conclusões no capítulo 7.

CAPÍTULO II

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução

Segundo Tucci (2001), o ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre. O ciclo hidrológico só é fechado em nível global. Os volumes evaporados em um determinado local do planeta, depois de condensados, não precipitam necessariamente no mesmo local, pois há movimentos contínuos com dinâmicas diferentes na atmosfera. À medida que são consideradas áreas menores de drenagem, fica mais caracterizado o ciclo hidrológico como um ciclo aberto em nível local.

O ciclo hidrológico, como todo ciclo, não tem início nem fim (Shaw, 1994). O vapor de água presente na atmosfera se condensa e precipita. Parte dessa precipitação é interceptada pela vegetação e evapora sem atingir o solo, outra parte precipita sobre superfícies líquidas ou sobre o solo. A chuva que cai sobre as superfícies líquidas evapora de maneira direta à atmosfera; a que cai sobre o solo, dependendo das condições do solo, pode escoar sobre sua superfície ou infiltrar. A água infiltrada pode passar à atmosfera quando alimenta o escoamento superficial de rios ou é sugada pelas raízes das plantas e depois transpirada, ou pode fazer parte de reservas subterrâneas, como lençol freático ou confinado. A Figura 2.1 é uma representação do ciclo.

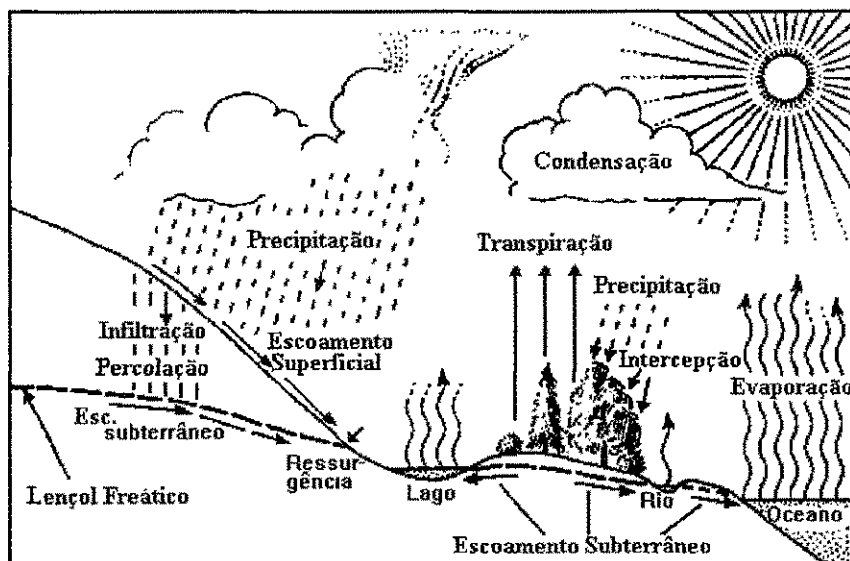


Figura 2.1 – Representação do ciclo hidrológico (adaptado de Shaw, 1994)

2.2. Processos Hidrológicos

O Ciclo da água consiste de processos hidrológicos a ele relacionados, tais como precipitação, interceptação, infiltração, evapotranspiração e escoamentos. Estes processos embora interdependentes, são distintos e se desenvolvem diferentemente no tempo e no espaço. Uma breve descrição dos processos é apresentada a seguir.

2.2.1. Precipitação

A precipitação dentro do ciclo hidrológico é entendida com sendo toda a água presente na atmosfera que atinge a superfície terrestre (Tucci, 2001). Sua formação tem início a partir da ascensão adiabática do ar úmido das camadas mais baixas da atmosfera, por condução. Nesta ascensão o ar esfria a razão de aproximadamente 1°C a cada 100 m até atingir a condição de saturação e a partir de condições favoráveis, o vapor de água condensa, formando pequenas gotas que ao se unirem a outras precipitam após atingirem peso suficiente.

Para medição da precipitação geralmente são utilizados equipamentos tais como: pluviômetros e/ou pluviógrafos que permitem uma quantificação do total precipitado e da

intensidade da chuva $\left(i = \frac{P}{\Delta t} \right)$ as quais são utilizadas como dados de entrada dos modelos de simulação. Embora a os resultados obtidos com estes equipamentos sejam

bastante confiáveis, há dificuldade em se obter dados pluviográficos devido à deficiência de estações meteorológicas grandes bacias.

2.2.2. Intercepção

Com a precipitação caindo sobre um solo com cobertura vegetal, parte do volume precipitado sofre intercepção em folhas e caules, de onde evapora. Excedendo a capacidade de armazenar água na superfície dos vegetais, ou por ação dos ventos, a água interceptada pode atingir o solo. A intercepção da chuva é um fenômeno que pode ocorrer devido à vegetação ou a outra forma de obstrução (residências e edificações, etc). A intercepção vegetal depende de vários fatores: características da precipitação e condições climáticas, tipo e densidade da vegetação e período do ano (Tucci, 2001). O tipo de vegetação caracteriza a quantidade de gotas que cada folha pode reter e a densidade da mesma indica o volume retido numa superfície de bacia. As folhas geralmente interceptam a maior parte da precipitação, mas a disposição dos troncos contribui significativamente.

As grandezas que caracterizam a intercepção são:

- Precipitação: a quantificação da precipitação é realizada com postos localizados em clareiras próximas às áreas de interesse. A distribuição dos postos depende do tipo de precipitação no local e do grau de precisão considerável;
- Precipitação que atravessa a vegetação: é a drenagem das folhas medida por recipiente especial colocado abaixo das árvores. Em florestas altas é possível utilizar pluviômetros que possuem o mesmo padrão da medição da precipitação. Dependendo do tipo de cobertura vegetal a quantificação desta variável é ainda muito difícil, como em gramados e vegetação rasteira;
- escoamento pelos troncos: esta variável apresenta uma parcela pequena do total precipitado (de 1 a 15%), e em muitos casos está dentro da faixa de erro de amostragem das outras variáveis. Sua medição somente é viável para vegetação com tronco de magnitude considerável (Tucci, 2001).

Um estudo da intercepção em uma bacia experimental do semi-árido nordestino foi realizado por Medeiros (2005).

2.2.3. Infiltração

A água que atinge o solo segue diversos caminhos. Como o solo é um meio poroso, há infiltração da precipitação que chega ao solo, enquanto a superfície do solo não se satura. Com a saturação superficial, à medida que o solo vai saturando em maiores profundidades, a infiltração decresce com o excesso não infiltrado da precipitação gerando escoamento superficial (Tucci, 2001).

A taxa de infiltração superficial depende da umidade e condições de superfície do solo, enquanto que a movimentação da água na camada depende da condutividade hidráulica do solo, que também varia com a umidade do solo. Métodos de estimativa dessas variáveis em termos da umidade do solo estão disponíveis na literatura (vide Tiucci, 2001; Brooks & Curey, 1964; Rawls & Brakensiek, 1989; Saxton e outros, 1986).

2.2.4. Evapotranspiração

A evaporação é o fenômeno físico que transforma a água do seu estado líquido para o estado de vapor, em condições naturais. A transpiração é a perda de água para a atmosfera na forma de vapor decorrente das ações fisiológicas dos vegetais. A evapotranspiração depende de características da atmosfera (pressão, ventos, radiação, temperatura, umidade) e da vegetação (Chow e outros, 1988).

2.2.5. Escoamento Superficial

O escoamento superficial é impulsionado pela gravidade para as cotas mais baixas, vencendo principalmente o atrito causado pela superfície do solo. Manifesta-se inicialmente na forma de pequenos filetes de água que se moldam ao micro-relevo do solo. A erosão de partículas no solo pelos filetes em seus trajetos, aliada à topografia preexistente, molda, por sua vez, uma micro-rede de drenagem efêmera que converge para a rede de cursos de água mais estável, formada por arroios e rios. A presença de vegetação na superfície do solo contribui para obstaculizar o escoamento superficial, favorecendo a infiltração em percurso (Tucci, 2001).

Verifica-se que após o início da chuva existe um intervalo de tempo em que o nível de água começa a elevar-se. Este tempo retardado de resposta deve-se às perdas iniciais

por interceptação vegetal e depressões do solo, além do próprio retardo de resposta da bacia devido ao tempo de deslocamento da água na mesma.

O cálculo do escoamento superficial é baseado na resolução de equações diferenciais parciais que descrevem o fluxo e a profundidade de água como funções do tempo e do espaço. Estas equações são conhecidas como as Equações de Saint-Venant, as quais são formadas pela equação da continuidade e pela equação da quantidade de movimento. Outros métodos são bastante utilizados também como o excedente de chuva sobre a capacidade de infiltração do solo e/ou o excesso de umidade sobre o valor da saturação da camada.

2.3. Processos Sedimentológicos

A erosão do solo é um dos processos que mais contribui para a degradação do meio ambiente. Segundo Carvalho (1994), a erosão pode ser dividida em quatro grupos: erosão eólica, erosão hídrica superficial, erosão de massa e erosão pluvial.

O transporte de sedimentos se processa nas encostas, nos cursos d'água e nos reservatórios, sendo que a maior quantidade de sedimentos é transportada nos períodos chuvosos. Os sedimentos, ao chegarem aos cursos d'água com diversas granulometrias, são transportados de formas variadas, tais como: em suspensão, por arrasto ou deslizamento e por saltação (Carvalho, 2004).

A erosão tem duas fontes: os planos e os canais. Segundo Foster (1982), as gotas de chuva ao caírem adquirem energia cinética que é dissipada quando atingem a superfície do solo. Dependendo das condições da cobertura vegetal do solo, esse impacto poderá provocar a desagregação das partículas sólidas, que serão arremessadas a uma curta distância e, então, transportadas.

Existem três tipos básicos de erosão do solo: laminar ou em camadas, em sulcos e em ravinas. A erosão laminar ocorre nos planos pelo transporte de uma fina camada da superfície do solo podendo abranger uma grande área da bacia. A erosão em sulcos é desordenada devido à variação da resistência do solo e a pequenas variações na declividade do terreno. A união do fluxo proveniente de vários sulcos forma a drenagem superficial e canais de maiores dimensões. A erosão em ravinas ocorre devido a grande concentração do fluxo, provocando mudanças permanentes na topografia. As erosões em sulcos e ravinas diferenciam-se apenas por suas dimensões, sendo que a erosão em

sulcos pode ser encoberta ou desfeita com práticas normais de cultivo, enquanto que a erosão em ravinas é de difícil correção e com elevado custo (Foster, 1982).

A erosão nos canais ocorre devido à força de cisalhamento que o fluxo provoca nas superfícies laterais e no leito do canal. A quantidade de material disponível para transporte é aumentada devido ao material erodido nos planos. O tipo de material que compõe o leito e as laterais do canal e a quantidade de material disponível para transporte poderão aumentar ou diminuir a erosão.

Segundo Figueiredo (1998), o aprofundamento do canal, em alguns casos, poderá resultar no deslizamento das paredes laterais do canal devido à força da gravidade. Isto ocorre porque a água que infiltra nos planos causa o aumento da umidade e a diminuição da resistência do solo, podendo levar ao deslizamento.

2.3.1. Transporte e Deposição de Sedimentos

A chuva e o escoamento superficial são os agentes que fornecem energia ao processo de erosão do solo nos planos. Essa energia age tanto separando as partículas e os agregados do solo, como transportando-os para o leito dos rios. O material erodido apresenta-se disperso, em suspensão ou na forma de agregados de vários tamanhos, que são transportados pelo escoamento superficial. O aumento do transporte de partículas e agregados do solo se dá com o aumento da velocidade e da espessura da lâmina de água. A velocidade da água, por sua vez, aumenta com o acréscimo da declividade e com a redução da rugosidade da superfície do solo.

O transporte de sedimentos, pode se dar em suspensão, rolando por carga no leito ou arraste ao longo do leito, e alternadamente, por suspensão e carga no leito. O movimento natural da partícula depende de seu tamanho, forma e gravidade em relação à velocidade e à turbulência associadas.

Os sedimentos transportados se movem por saltação, rolagem e/ou arraste, cuja quantidade é altamente dependente da capacidade de transporte do escoamento. Segundo Simons e Şentürk (1992), o transporte de sedimentos através da água pode ocorrer de várias maneiras, dependendo do fluxo e das características das partículas. As partículas mais pesadas são transportadas por deslizamento, rolamento ou saltação. As partículas mais leves são transportadas no interior do fluxo e constituem a carga de lavagem.

A deposição de sedimentos é um processo que ocorre quando a quantidade de partículas suspensas no fluxo é maior que a capacidade de transporte de sedimentos do fluxo. O processo de deposição é mais observado em áreas onde a velocidade do fluxo é bastante reduzida.

Segundo Vanoni (1975), "descarga sólida" ou "fluxo de sedimentos" é a massa total das partículas que passam pela seção transversal de um rio por unidade de tempo. Já o termo "descarga de sedimentos" refere-se à carga total de diferentes sedimentos transportados em um curso d'água por unidade de tempo.

2.3.2. Carga do Leito, Carga em Suspensão e Carga Total

A carga sólida arrastada no leito dos rios é influenciada diretamente pela distribuição granulométrica do material, pela velocidade da corrente de água, pela declividade do leito, pelo atrito das partículas e pela profundidade do curso d'água, entre outros fatores.

As medições desse material arrastado são feitas por diferentes processos. Essas medições podem ser executadas de forma direta, por amostradores portáteis colocados no leito dos rios ou por estruturas fixas, tais como poços ou fendas instalados na seção transversal de estudo. As medições indiretas podem ser realizadas por deslocamento de dunas, por traçadores de diluição, por propriedades litológicas do leito, ou simplesmente subtraindo-se a descarga em suspensão da descarga total.

Existem muitas fórmulas para o cálculo da carga de arrasto no leito dos rios (Carvalho, 1994). A escolha de uma ou outra metodologia deve ser criteriosa levando em consideração aspectos do curso d'água, como adequação da metodologia e facilidade de aplicação.

Stevens e Yang (1989) propuseram fórmulas para o cálculo da carga no leito. Eles concluíram que os melhores resultados foram obtidos com a fórmula de Yang (1973) para areias, baseada no movimento da carga sólida no leito e de Engelund-Hansen (1967) para material grosso baseada nas propriedades do material no leito.

A descarga sólida em suspensão representa a maior quantidade de material erodido que é levado pelo curso d'água e é função da velocidade, do tipo do escoamento, da profundidade, da granulometria, entre outros fatores. Segundo Carvalho (1994), a carga em suspensão pode ser obtida como valor total ou, de forma distribuída, por faixas de diâmetros conforme a distribuição granulométrica do sedimento.

A descarga sólida total pode também ser obtida por métodos diretos e indiretos. Indiretamente, pode ser medida pela soma das descargas no leito e em suspensão, por processos de cálculo como o método de Einstein (Vanoni, 1975), com amostras em suspensão e no leito e por levantamento batimétrico do reservatório.

2.4. Propriedades dos Sedimentos

As propriedades dos sedimentos têm fundamental papel nos procedimentos de modelagem computacional, pois o diâmetro, a densidade, a forma e o fator de forma das partículas são propriedades que influenciam na erosão do solo através do escoamento.

A dimensão das partículas de forma irregular é representada pelo diâmetro esférico equivalente. São considerados os diâmetros: nominal, de peneiração, de sedimentação e de queda, como descrito abaixo.

- Diâmetro nominal: diâmetro da esfera de densidade e volume iguais aos da partícula; (útil quando é fácil medir o volume da partícula);
- Diâmetro de peneiração: diâmetro da esfera que, como a partícula, passa sem folga pela rede de um peneira; (comum para areias);
- Diâmetro de sedimentação: diâmetro da esfera de densidade igual à da partícula, que atinge a "velocidade terminal" (em equilíbrio), w_s , igual à da partícula, nas mesmas condições; (útil para areias finas, siltes e argilas);
- Diâmetro de queda: diâmetro da esfera de densidade 2,65 que atinge a mesma velocidade terminal que dada partícula, em água destilada à temperatura de 24°C. (útil para areias finas, siltes e argilas).

A Tabela 2.1 apresenta a classificação dos sedimentos segundo o tamanho do diâmetro (Suguio, 2003).

Tabela 2.1 – Classificação dos sedimentos

Classe	Diâmetros
Calhau	$D \geq 64 \text{ mm}$
Seixo	$2 \text{ mm} \leq D < 64 \text{ mm}$
Areia	$62 \mu\text{m} \leq D < 2 \text{ mm}$
Silte	$4 \mu\text{m} \leq D < 62 \mu\text{m}$
Argila	$0.24 \mu\text{m} \leq D < 4 \mu\text{m}$

Os sedimentos ainda são classificados segundo sua forma (esfericidade e fator de forma de Corey), sua densidade e sua velocidade de queda (ou de sedimentação).

Forma dos sedimentos

Segundo Suguio (2003), a forma influencia a velocidade de transporte, a velocidade de queda, a estabilidade dos taludes, etc. Existem vários parâmetros que caracterizam a forma das partículas, destacando-se: a esfericidade e o fator de forma de Corey

Densidade dos sedimentos

Segundo Suguio (2003), a densidade dos sedimentos varia com a composição mineralógica, afetando o transporte de sedimentos por segregação (efeito de encouraçamento).

Velocidade de queda ou de sedimentação

Em condição estável, a velocidade de queda é denominada de velocidade terminal e a força resistente (de arrastamento, que resulta do atrito) é equilibrada pelo peso submerso.

2.5. Modelos Hidrológicos

A forma mais prática encontrada pelos hidrólogos para representar os processos hidrológicos é através de modelos matemáticos. Segundo Tucci (1998), existem modelos de *comportamento* que descrevem os processos; modelos de *otimização* que otimizam um ou mais sistemas projetados e podem utilizar os modelos de comportamento. Os modelos de *planejamento* englobam os anteriores e outros, na busca de tomada de decisão para o desenvolvimento ou conservação hídrica.

No desenvolvimento e análise dos modelos, existem processos entendidos e representados de forma determinística, ou seja, explicados de forma conceitual sem o uso de tratamento estatístico e modelos estocásticos, que tratam os processos de forma estatística, ou ainda a combinação dos anteriores.

Algumas discussões sobre aspectos relacionados à classificação de modelos podem ser encontradas em Maidment (1993), Vertessy e outros (1993) e Tucci (1998).

Comumente, os modelos são classificados de acordo com o tipo de variáveis utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos), com o tipo de relações entre essas variáveis (empíricos ou conceituais), com a forma de representação dos dados (discretos ou contínuos), com a existência ou não de relações espaciais (concentrados ou distribuídos), ou com a existência de dependência temporal (estáticos ou dinâmicos).

2.5.1. Modelos Estocásticos e Determinísticos

Um modelo é dito estocástico quando pelo menos uma das variáveis envolvidas tem comportamento aleatório. Caso os conceitos de probabilidade sejam negligenciados durante a elaboração de um modelo, este será denominado determinístico. Note-se que, no entanto, uma variável de entrada pode ser aleatória, mas o modelo ainda assim pode ser determinístico quando cada valor de entrada produzir um único valor de saída.

2.5.2. Modelos Conceituais, Semiconceituais e de Base Física

Modelos conceituais consideram o comportamento dos processos físicos na elaboração de suas equações. Os modelos semiconceituais são elaborados a partir da consideração de equações físicas juntamente com equações empíricas (modelos empíricos).

Diferentemente dos modelos empíricos, os modelos conceituais utilizam equações baseadas em conceitos ligados aos processos hidrológicos, as quais podem conter parâmetros que, em geral, precisam de calibração. Já os modelos de base física utilizam leis físicas e parâmetros que representam propriedades físicas da bacia, tais como: potencial mátrico dos solos, profundidade das camadas do solo, porosidade, declividade, entre outros, e parâmetros que representam processos, tais como: condutividade hidráulica do solo e capacidade de infiltração, que governam os processos de infiltração e escoamento.

Os parâmetros de modelos de base física podem ser estimados ou medidos (Refsgaard e outros, 1992). Em princípio, os modelos de base física são mais apropriados para a simulação de processos e para a investigação de impactos causados nas respostas de bacias hidrográficas, decorrentes de variações ou mudanças no clima (Bathurst e outros, 1996), na cobertura vegetal (Lukey e outros, 1995), no uso do solo, na escala da bacia (Figueiredo, 1998), no relevo e na hidrografia (Grayson e outros, 1992a,b). Em

princípio requerem poucos dados e pouca calibragem. Em geral, os modelos de base física são distribuídos e consideram a bacia hidrográfica dividida conforme o clima, o solo, o relevo, etc. A divisão pode ser em sub-bacias, planos e canais ou quadrículas (Figueiredo 1998).

2.5.3. Modelos Concentrados e Distribuídos

Em modelos concentrados, considera-se que todas as variáveis de entrada e saída são representativas de toda área estudada. Por outro lado, os modelos distribuídos consideram a variabilidade espacial encontrada nas diversas variáveis do modelo. De maneira geral, alguma discretização do espaço é feita e, conseqüentemente, cada elemento pode ser tratado como um ponto que representa homogeneamente toda sua área. Modelos distribuídos mais representativos do sistema consideram também a existência de relação espacial entre elementos vizinhos.

Um exemplo da integração espacial de variável de entrada em muitos modelos é a precipitação média em uma bacia hidrográfica. Os modelos distribuídos consideram a distribuição do evento de precipitação no espaço e/ou no tempo, diferentemente dos modelos concentrados onde é considerado apenas o tempo como variável independente (Tucci, 1998).

Segundo Tucci (1998), os modelos distribuídos são mais complexos do ponto de vista matemático, pois os processos hidrológicos são considerados distribuídos no espaço e no tempo. Daí, a análise do modelo distribuído é um conjunto integrado de modelos concentrados numa pequena subdivisão da bacia hidrográfica.

A qualidade dos modelos distribuídos está diretamente relacionada à capacidade que têm de representar a variabilidade hidrológica dentro de um sistema, no qual o principal dado de entrada (precipitação) também varia com o tempo.

2.5.4. Modelos Orientados a Eventos

Apesar de os fenômenos naturais se desenvolvem continuamente no tempo, muitas vezes esses fenômenos são representados por modelos discretos. A escolha do intervalo de tempo no qual o modelo será executado depende basicamente do fenômeno estudado, da disponibilidade de dados e da precisão desejada nos resultados. Em geral, quanto menor o intervalo de tempo maior será a precisão dos resultados, aumentando

também o uso computacional para geração desses resultados. Os modelos orientados a eventos não consideram as condições antecedentes e não dão continuidade ao cálculo dos processos após o evento.

2.6. Escalas de Tempo e Espaço nos Modelos Matemáticos

Os modelos geralmente descrevem processos com diferentes níveis de detalhamento e diferentes escalas de espaço e tempo. Um modelo pode ser detalhado, apropriado a pequenos intervalos de tempo e espaço, ou ser mais simples e genérico, podendo simular o comportamento de regiões inteiras e/ou períodos de tempo mais longos (décadas, séculos). De fato, muitos modelos trabalham em diferentes escalas espaciais e temporais. Alguns processos podem ser simulados considerando-se intervalos de tempo bastante pequenos (minutos, horas e dias) e escalas espaciais muito detalhadas, todavia os resultados podem ser gerados para intervalos de tempo maiores (dias, meses, estações, anos, décadas) e escalas espaciais menos detalhadas. A generalização espacial dos resultados também pode ser conseguida através do uso de técnicas de geoprocessamento e com o uso de dados de sensoriamento remoto (Steyaert, 1993).

2.6.1. Divisão da Escala Temporal e Espacial da Bacia Hidrográfica

A Figura 2.2 representa a escala de processos hidroclimáticos, os quais podem ser considerados nos modelos matemáticos. Em geral os modelos concentrados calculam os processos para as escalas diária ou mensal. Nos modelos contínuos a escala sub horária (minutos) é utilizada. Deve-se notar que para os modelos distribuídos o procedimento de propagação do escoamento é dependente do tempo.

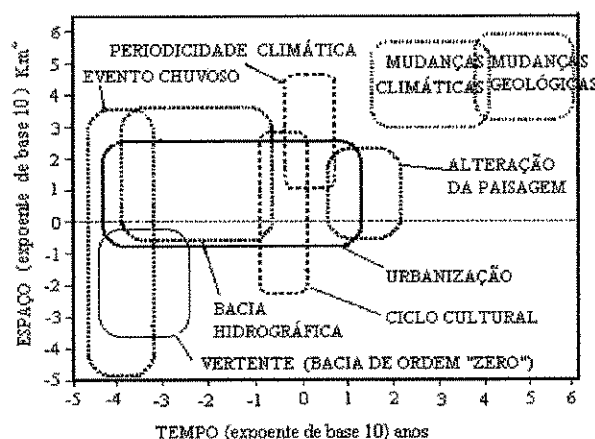


Figura 2.2 - Escala dos processos hidroclimáticos (Tucci, 1998)

A consideração da divisão da escala da bacia no desenvolvimento de modelos hidrológicos distribuídos agrega grande complexidade matemática, pois, diferente dos modelos concentrados, os processos hidrológicos não são considerados como sendo valores médios representativos de toda a área da bacia. Segundo Tucci (1998), existem vários métodos para discretizar a área da bacia; desses, pode-se citar: sub-bacias e módulos ou condicionantes físicos.

Na subdivisão da bacia em sub-bacias, o critério é a drenagem principal. A subdivisão pode considerar a disponibilidade de dados, os locais de interesse e a variabilidade de parâmetros físicos da bacia.

A divisão da bacia em módulos ou condicionantes físicos é realizada por formas geométricas como quadrados ou quadriculas e retângulos, sem relação direta com a forma da bacia, mas caracterizando internamente os componentes dos processos. A discretização por módulos busca um detalhamento maior que o anterior à medida que os módulos possuem dimensões menores que as sub-bacias. Além dos módulos, são utilizados conceitos de condicionantes físicos e declividade, como no Topmodel (Beven and Kirkby, 1976, 1979 e Beven, 1995), ou com base na identificação de áreas de recarga e fontes (Troendle, 1985). Trabalhos recentes, como Boyle e outros (2001), mostram a importância da consideração da variabilidade espacial, subdividindo a bacia e considerando a variabilidade da precipitação. Deve-se, contudo, notar que a divisão da bacia influi diretamente no processo de propagação do escoamento. Em pequenas escalas, mais homogêneas, a divisão da bacia pode não resultar em grandes diferenças quando tratada de maneira concentrada.

2.7. Modelos Hidrossedimentológicos

Alguns modelos de simulação hidrossedimentológica foram calibrados e utilizados na mesma região de estudo usada para o MODFIPE, tais como: (a) WESP (Watershed Erosion Simulation Program), (b) Kineros2 (Kinematic Runoff Erosion Model) e o (c) SHE (Système Hydrologique Européen).

O modelo WESP, desenvolvido por Lopes (1987), é um modelo distribuído, semiconceitual, orientado a evento, aplicado à simulação do escoamento superficial e à produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas. A representação da bacia é considerada por um conjunto de planos e canais, com aqueles contribuindo lateralmente para estes. A definição dos planos é feita com base nas características de solo, declividade e cobertura vegetal. A resolução das equações de continuidade e transporte

de sedimentos é realizada através de um esquema implícito de diferenças finitas, definido por quatro pontos. Uma das limitações desse modelo é não considerar a evapotranspiração entre os eventos de precipitação.

O Kineros2 (Smith e outros, 1995) é também um modelo semiconceitual, orientado a evento e descreve o comportamento dos processos de interceptação, infiltração, escoamento superficial e erosão do solo em pequenas bacias; e utiliza o método de diferenças finitas na resolução das equações diferenciais parciais que descrevem o fluxo nos planos e nos canais. Este modelo pode ser utilizado para avaliar os efeitos de possíveis mudanças no sistema da bacia hidrográfica, tais como: urbanização, construção de reservatórios, desmatamento etc. Apesar de considerar a atualização da umidade do solo com base na infiltração, o Kineros2 não leva em consideração os efeitos da evapotranspiração entre os eventos de precipitação.

O modelo SHE, desenvolvido por um consórcio europeu de institutos de hidrologia (Abbott, 1986a,b; Bathurst e outros, 1995) consiste em um modelo distribuído de base física, cujas equações físicas são resolvidas através do método de diferenças finitas. A discretização da bacia é considerada em quadrículas. Uma versão mais avançada, SHETRAN (Ewen e outros, 2000), considera os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos e poluentes. Essa versão considera também o processo de evapotranspiração entre os eventos de precipitação, porém, devido à necessidade de um grande número de parâmetros, torna-se difícil sua utilização.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGIA

3.1. O Modelo Concentrado MOFIPE

O modelo MOFIPE foi desenvolvido para simular o escoamento e a erosão do solo em pequenas bacias, considerando as condições físicas através de parâmetros mensuráveis, não necessariamente calibráveis, como também, condições antecedentes do solo entre os eventos de precipitação, estabelecidas através do cálculo da evapotranspiração real com base em dados de tanque classe A e no potencial mátrico do solo. Ademais, as variabilidades dos processos e das características físicas da bacia não são consideradas, caracterizando-o como um modelo concentrado (Figueiredo e Davi, 2006; Davi e Outros 2003).

Os processos envolvidos (precipitação, evapotranspiração, infiltração, escoamento e erosão) são modelados com base em três suposições, que se operam em pequenas escalas:

- a) o sistema da bacia é homogêneo;
- b) a precipitação não varia no espaço;
- c) o sistema de drenagem não é considerado.

A Figura 3.1 mostra o fluxograma do modelo MOFIPE, que apresenta a seqüência de cálculo dos processos.

O MOFIPE processa os cálculos de forma específica, visto ter sido desenvolvido em planilha eletrônica Excel®, na qual os resultados podem ser observados imediatamente após a alteração do valor de determinada célula.

Durante eventos de precipitação, a evapotranspiração real é zero porque o ar está saturado. A evapotranspiração real entre eventos de precipitação é calculada em termos

da tensão do solo, a qual varia com o índice de umidade e da evapotranspiração potencial. O índice de umidade do solo depende da intensidade da chuva, da capacidade de infiltração do solo e de sua condutividade hidráulica. O escoamento ocorre se a intensidade da chuva exceder a capacidade de infiltração ou se a camada superior do solo saturar. A erosão do solo é gerada pelo impacto das gotas de chuva e pelo escoamento.

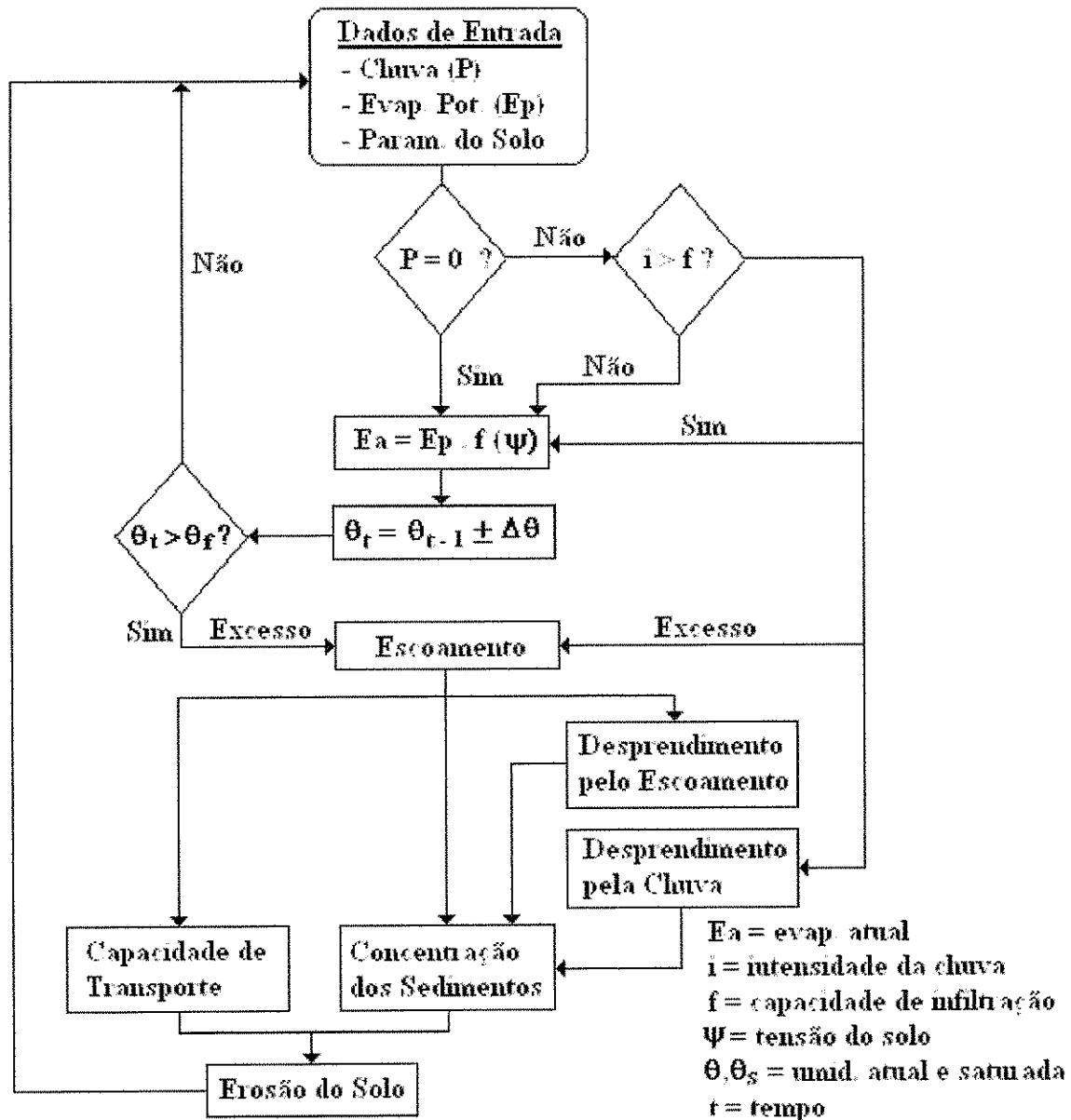


Figura 3.1 – Fluxograma do modelo MOFIPE (Figueiredo e Davi, 2006)

3.1.1. Modificações e Correções no Modelo Concentrado MOFIPE

Pela dificuldade que se tem em desenvolver modelos complexos em planilha eletrônica, alguns erros foram encontrados no modelo concentrado MOFIPE, tais como: aplicação errada de funções; fixação de células, etc., os quais foram devidamente corrigidos bem como sua estrutura modificada, porém, checando-se os resultados com todas as versões desenvolvidas.

Desse modo, o MOFIPE foi reestruturado, tendo sido também implementado no mesmo ambiente do modelo MODFIPE. Dessa forma, no modelo proposto, é possível realizar simulações com o modelo concentrado e também com o modelo distribuído. Além disso, uma versão em Delphi com interface gráfica e outra em Fortran foram desenvolvidas, sendo esta última limitada em números de planos e canais.

3.2. O Modelo MODFIPE

Na concepção do modelo MODFIPE, buscou-se desenvolver uma aplicação robusta, na qual fosse possível oferecer praticidade ao usuário final através de uma interface gráfica amigável e a consideração de aspectos não abordados no MOFIPE, tais como: a distribuição espacial das características da bacia (e.g., solos, relevo, vegetação, etc) em planos e canais, a propagação do escoamento em duas direções ortogonais (X e Y) e a implementação de metodologias de cálculo de evapotranspiração. Um outro aspecto do modelo proposto é a geração automática, para cada evento (embora o modelo seja contínuo), de hidrogramas, sedigramas, gráficos de lâminas escoadas e arquivos contendo a memória de cálculo de cada plano e canal.

3.2.1. Considerações para o Desenvolvimento do Modelo MODFIPE

Para tornar o modelo MOFIPE distribuído, algumas considerações foram feitas, tais como:

- a) o modelo deve ser apropriado para a simulação de bacias heterogêneas;
- b) a precipitação deve ser considerada variável no espaço;
- c) o sistema de drenagem deve ser considerado.

Para satisfazer tais considerações, no modelo MODFIPE foi necessário admitir que:

i) a modelagem das heterogeneidades de uma bacia se dá através de áreas de contribuição e canais receptores, nos quais as principais características podem ser consideradas, tais como relevo, solos, cobertura, etc;

ii) a variabilidade espacial da precipitação é avaliada pelos dados dos postos pluviográficos existentes na bacia e na sua vizinhança, de modo que a precipitação em cada área seja atribuída conforme a precipitação local;

iii) a propagação do escoamento é considerada para a fase canal.

De um modo geral, o modelo proposto aproveita os fundamentos do sub-modelo hidroclimático do MOFIPE, pois é um modelo contínuo que calcula os processos em intervalo de tempo de 1 minuto entre eventos de chuva e em intervalos variáveis durante os eventos, conforme a intensidade da precipitação. A simulação de eventos que ocorrem dentro de certo intervalo, estabelecido pelo usuário (de horas, dias, meses ou anos), é feita de modo contínuo no tempo. Para períodos longos de simulação (dias, meses ou anos), o modelo considera as perdas de umidade do solo por evapotranspiração entre os eventos de chuva, definindo as condições antecedentes de um evento.

Outra importante consideração na elaboração dos processos de cálculo do modelo proposto foi a divisão da estrutura de cálculo em três etapas distintas: na primeira, o modelo calcula o fluxo natural em todos os planos; na segunda etapa é calculada a propagação do escoamento entre os planos e também a erosão (pelo impacto das gotas de chuva e pelo escoamento propagado entre os planos); na terceira, é calculada a propagação do escoamento nos trechos de rios e também a erosão total e/ou deposição.

3.2.2. Modelo de Fluxo

O modelo de fluxo contempla o cálculo dos processos de precipitação, evapotranspiração, infiltração, atualização da umidade do solo com base na condutividade hidráulica do solo, escoamento e propagação do escoamento. As considerações e os procedimentos de cálculos para cada um desses processos são apresentados a seguir.

Precipitação

Muitos modelos não consideram a variação natural da intensidade da precipitação. Isso tem implicações tanto na geração do escoamento, como na erosão do solo (Davi, 2004).

O modelo MOFIPE considera essa variação da intensidade da precipitação, em seus respectivos intervalos de tempo, conforme a altura da precipitação. Por um lado, há uma limitação para dados de apenas um posto pluviométrico como sendo representativo da precipitação média sobre a bacia. Daí um dos motivos de sua aplicação apenas em pequenas escalas. Por outro lado, em um modelo distribuído, para a propagação do escoamento é necessário definir um intervalo de tempo constante. O MODFIPE considera a influência de vários postos de precipitação, permitindo indicar quais os postos que influenciam em cada plano na discretização da bacia. Além disso, interpola os dados de intensidade de chuva para um intervalo de tempo definido pelo usuário.

Evapotranspiração

A evapotranspiração potencial é calculada de acordo com a Equação 3.1, utilizando dados medidos (tanque classe A) ou estimados. Três metodologias para estimativa da evapotranspiração são propostas a seguir.

$$E_p = K_c \cdot K_t \cdot E_o \quad (3.1)$$

onde

K_c = fator de cobertura;

K_t = coeficiente do tanque classe A (igual a 1,0 para E_o estimado);

E_o = evaporação medida ou estimada [mm/dia].

O modelo proposto faz as mesmas considerações do MOFIPE para o cálculo da evapotranspiração, ou seja, igual a zero durante os eventos de precipitação e maior que zero entres eventos, como mostrado na Figura 3.2.

Segundo Feddes e outros (1976), a relação entre evapotranspiração e tensão capilar representa a condição de estado do solo, com a razão de extração de água pelas raízes estabelecida entre os limites $\psi_{1500} < \psi < \psi_{33,3}$, no qual ψ_{1500} e ψ_{33} são as tensões do solo no ponto de murcha (1.500 kPa) e na capacidade de campo (33,3 kPa), respectivamente. Quando o solo estiver com umidade correspondente à da capacidade de campo, ou maior, a evapotranspiração ocorre à taxa potencial. Quando a umidade do solo for menor que a do ponto de murcha a evapotranspiração é zero. Tais considerações também foram feitas no modelo concentrado MOFIPE.

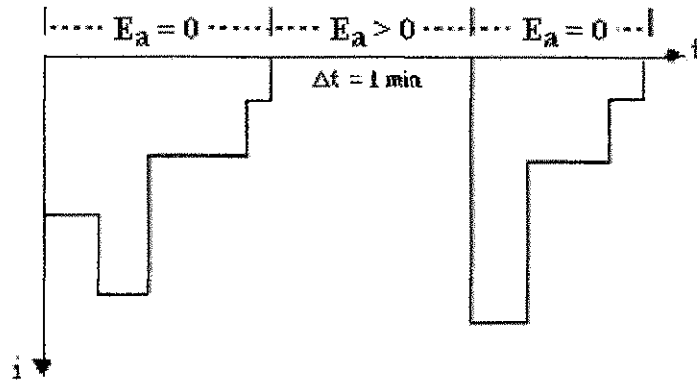


Figura 3.2 – Eventos de chuva no tempo t (modificada de Davi, 2004)

As metodologias alternativas implementadas para estimar a evaporação são: Blaney-Criddle, Thornthwaite e Penman-Monteith (Tucci, 2001).

Blaney-Criddle

$$ETP = (0,457.T + 8,13).p \quad (3.2)$$

onde

ETP é a evapotranspiração potencial [mm/mês];

T é a temperatura média mensal do ar [°C] e

p é a porcentagem mensal de horas de luz.

Thornthwaite

$$E_p = 16.K_c.F_c \left(\frac{10.T_i}{I} \right)^a \quad (3.3)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \rightarrow i = \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1,514} \quad (3.3a)$$

$$a = 0,49 + (17900I - 77,1I^2 + 0,675I^3).10^{-6} \quad (3.3b)$$

onde

E_p é a evaporação potencial [mm/mês];

K_c é o coeficiente de correção para o fator de cultura;

F_c é o fator de correção de acordo com a latitude e o mês;

T_i é a temperatura do ar [°C] para o mês i que se deseja calcular a evapotranspiração.

Penman-Monteith ou combinado

$$E = E_r \left(\frac{\Delta}{(\Delta + \gamma)} \right) + E_a \left(\frac{\gamma}{(\Delta + \gamma)} \right) \quad (3.4)$$

$$\Delta = 4098 \cdot \frac{P_s}{(237,3 + T)^2} \quad (3.4a)$$

onde

E_r é a evapotranspiração calculada pelo método do balanço de radiação [mm/dia];

E_a é a evapotranspiração calculada pelo método aerodinâmico [mm/dia];

γ é a constante psicrométrica = 66,8 Pa/°C;

T é a temperatura do ar [°C].

As evapotranspirações pela ação do vento (E_a) e radiação (E_r) são dadas pelas Equações 3.5 e 3.6, respectivamente (Chow e outros, 1988).

$$E_a = c \cdot (p_s - p_v) \quad (3.5)$$

$$c = \frac{0,102 \cdot v_2}{\ln(Z_2 / Z_0)} \quad (3.5a)$$

$$p_s = 611 \cdot e^{\frac{17,27 \cdot T}{(237,3 + T)}} \quad (3.5b)$$

$$E_r = 0,0353 \cdot G(1 - A_g) \quad (3.6)$$

$$G = (\alpha + \beta \cdot p) \quad (3.6a)$$

onde

c é uma constante que depende das condições de superfície e velocidade do vento;

p_s é a pressão de saturação de vapor na temperatura da superfície [Pa];
 p_v é a pressão de vapor a uma altura acima da superfície [Pa];
 v_2 é a velocidade do vento a 2 metros [m/s];
 Z_2 é a altura equivalente a 2 metros [cm] em relação ao plano de referência tomado como a superfície local;
 Z_0 é a altura representativa da rugosidade da superfície da bacia [cm];
 P_s é a pressão de saturação de vapor [Pa];
 A_e é o albedo, ou parcela da radiação incidente que é refletida;
 G é a radiação incidente de onda curta [W/m²];
 α e β são parâmetros que dependem do local;
 ρ é a proporção entre o efetivo número de horas de brilho solar e o máximo possível.

Evapotranspiração real (E_a)

A evapotranspiração real é calculada a partir da evapotranspiração potencial e do potencial mátrico do solo. Existem três faixas consideradas nesse cálculo: a) quando a umidade do solo é menor que a umidade do ponto de murcha e/ou P (precipitação) > 0, a relação entre a evapotranspiração real e a potencial (E_a/E_p) é zero; b) quando a umidade do solo é maior ou igual à capacidade de campo, então $E_a/E_p = 1$ e c) quando a umidade do solo é maior que a umidade do ponto de murcha e menor que a umidade da capacidade de campo, a relação (E_a/E_p) é determinada com base na Equação 3.7.

$$\frac{E_a}{E_p} = e^{-\alpha \left(\frac{\psi - \psi_{33,3}}{\psi_{1500} - \psi_{33,3}} \right)} \quad (3.7)$$

onde

E_a/E_p é a relação entre a evapotranspiração real e potencial;
 ψ_{1500} é a tensão do solo no ponto de murcha;
 $\psi_{33,3}$ é a tensão do solo na capacidade de campo;
 α é um parâmetro local.

Tensão capilar do solo

A tensão capilar do solo em kPa é calculada através da Equação 3.8, com base na umidade do solo, utilizando a equação da Saxton e outros (1986).

$$\psi = A\theta^B \quad (3.8)$$

sendo

$$A = \exp[a + b.(\%C) + c.(\%S)^2 + d.(\%S)^2.(\%C)] \quad (3.8a)$$

$$B = e + f.(\%C)^2 + g.(\%S)^2.(\%C) \quad (3.8b)$$

onde

A é um coeficiente que depende dos percentuais de argila e areia;

B é um expoente relativo ao tamanho dos poros, associado aos percentuais de argila e areia;

$(\%C)$ é o percentual de argila;

$(\%S)$ é o percentual de areia;

θ é a umidade volumétrica do solo;

$a = - 4,396$;

$b = 0,0715$;

$c = - 4,880 \times 10^{-4}$;

$d = - 4,285 \times 10^{-5}$;

$e = - 3,140$;

$f = 2,22 \times 10^{-3}$;

$g = - 3,484 \times 10^{-5}$.

Condutividade hidráulica

No MOFIPE, o método utilizado para calcular a condutividade hidráulica é o de Brooks e Corey (1964), dado pela Equação 3.9.

Brooks and Corey:

$$K(\theta) = K_{sat} \left(\frac{\theta - \theta_{res}}{\theta_{sat} - \theta_{res}} \right)^{3+2/\lambda} \quad (3.9)$$

sendo

K_{sat} a condutividade hidráulica saturada que é estimada segundo Saxton e outros (1986) por:

$$K_{sat} = 10. \exp \left\{ h + i.(\%S) + [j + l.(\%S) + m.(\%C) + n.(C)^2] \frac{1}{\theta_{sat}} \right\} \quad (3.9a)$$

θ_{res} (m^3/m^3) a umidade residual que é calculada segundo Rawls & Brakensiek (1989) por:

$$\theta_{res} = o + p.(\%S) + q.(\%C) + r.\eta + s.(\%C) + t.(\%S).\eta + u.(\%C)^2.\eta^2 + v.(\%C)^2.\eta + x.(\%C).\eta^2 \quad (3.9b)$$

onde

λ é um fator associado à distribuição do tamanho dos poros ($\lambda = 1/B$) onde B é o expoente da Equação 3.8;

θ_{sat} é a umidade de saturação [m^3/m^3];

$h = 12,012;$	$n = 8,7546.10^{-4};$	$s = 1,5395.10^{-4};$
$i = -7,55.10^{-2};$	$o = 1,82482.10^{-2};$	$t = 1,0827.10^{-3};$
$j = -3,895;$	$p = 8,7269.10^{-4};$	$u = 1,8233.10^{-4};$
$k = 3,671.10^{-2};$	$q = 5,13488.10^{-3};$	$v = 3,0703.10^{-4};$
$m = -0,1103;$	$r = 2,939286.10^{-2};$	$x = 2,3548.10^{-3}.$

Umidade volumétrica real do solo

Durante a precipitação, à medida que a água infiltra pela superfície, as camadas superiores do solo vão se umedecendo de cima para baixo, alterando gradativamente o perfil de umidade. Enquanto há infiltração de água, o perfil de umidade tende à saturação em toda a profundidade, sendo a superfície o primeiro nível a saturar, apresentando um perfil no qual o teor de umidade decresce com a profundidade.

Se a precipitação atinge o solo com intensidade maior que a capacidade de infiltração do solo da camada superficial num dado instante, a infiltração se processa na taxa de infiltração do solo. Caso a intensidade seja menor, toda água precipitada infiltra. O mesmo procedimento se aplica à segunda camada do solo, comparando-se às condutividades hidráulicas das duas camadas em cada instante. Quando deixa de haver infiltração, a umidade no interior do solo se redistribui, evoluindo para um perfil de umidade inverso, isto é, com menores teores de umidades nas camadas superiores do solo e maiores nas camadas mais profundas.

A umidade volumétrica do solo é calculada de forma distinta, durante os eventos de precipitação e entre os eventos. Entre os eventos, a umidade real é calculada por camada de solo, de acordo com as Equações 3.10 (horizonte A) e 3.11 (horizonte B).

$$\Delta\theta = \begin{cases} \text{se } \theta_A \geq \theta_{\min_A} \Rightarrow -\frac{E_a \cdot \Delta t}{h_A} - \frac{1}{h_A} \begin{cases} k_A \cdot \Delta t \text{ se } K_A < K_B \\ K_B \cdot \Delta t \text{ se } K_A > K_B \end{cases} \\ \text{se } \theta_A < \theta_{\min_A} \Rightarrow \frac{-E_a \cdot \Delta t}{h_A} \end{cases} \quad (3.10)$$

$$\Delta\theta = \begin{cases} \text{se } \theta_A \geq \theta_{\min_A} \Rightarrow -\frac{E_a \cdot \Delta t}{h_B} - \frac{1}{h_B} \begin{cases} k_B \cdot \Delta t \text{ se } K_A < K_B \\ K_B \cdot \Delta t \text{ se } K_A > K_B \end{cases} \\ \text{se } \theta_A < \theta_{\min_A} \Rightarrow \frac{-E_a \cdot \Delta t}{h_B} \end{cases} \quad (3.11)$$

onde

$\Delta\theta$ é a variação da umidade volumétrica do solo no intervalo de tempo [m^3/m^3];

θ_A é a umidade da camada de solo A [m^3/m^3];

θ_{\min_A} é a umidade mínima para que a camada A ceda água para a camada inferior (B) [m^3/m^3];

Δt é o intervalo de tempo decorrido [h];

h_A, h_B são as profundidades das camadas de solo A e B [mm];

K_A, K_B são as condutividades hidráulicas instantâneas das camadas A e B, respectivamente [mm/h];

E_a é a taxa de evaporação [mm/h]

Durante os eventos de precipitação, não há evapotranspiração, logo, não há perda de umidade do solo, desse modo, a atualização da umidade volumétrica do solo é calculada com base nas Equações 3.12 (horizonte A) e 3.13 (horizonte B).

$$\Delta\theta = \begin{cases} \text{se } i > f \Rightarrow \frac{f \cdot \Delta t}{h_A} \\ \text{se } i < f \Rightarrow \frac{i \cdot \Delta t}{h_A} \end{cases} \quad (3.12)$$

$$\Delta\theta = \begin{cases} \text{se } K_A > K_B \Rightarrow \frac{K_B \cdot \Delta t}{h_B} \\ \text{se } K_A < K_B \Rightarrow \frac{K_A \cdot \Delta t}{h_B} \end{cases} \quad (3.13)$$

onde

i é a intensidade da chuva [mm/h];

f é a capacidade de infiltração do solo [m/h];

Δt é o intervalo de tempo decorrido [h];

h_A, h_B são as profundidades das camadas de solo A e B, respectivamente [mm];

K_A, K_B são as condutividades hidráulicas instantâneas das camadas A e B, respectivamente [mm/h].

Umidade de saturação do solo

A umidade de saturação é um parâmetro de entrada para os cálculos do modelo, sendo calculada em função de um fator de aprisionamento de ar no solo e da porosidade, de acordo com a Equação 3.14.

$$\theta_{sat} = f_a \cdot \eta \quad (3.14)$$

onde

f_a é o fator de aprisionamento de ar no solo que varia entre 0,85 e 0,95 [-];

η é a porosidade do solo [m³/m³].

A porosidade é calculada em função da textura do solo, ou seja, dos percentuais de argila (%C) e areia (%S), de acordo com a Equação 3.14a (Saxton e outros, 1986).

$$\eta = 0,332 - 7,251 \cdot 10^{-4} \cdot (\%S) + 0,1276 \cdot \log(\%C) \quad (3.14.a)$$

Capacidade de infiltração

A infiltração na superfície do solo é calculada com base na capacidade de infiltração do solo em termos da umidade, a qual é estabelecida com base em experimentação de campo. A percolação da água da camada superficial para a camada adjacente inferior é também considerada no modelo, sendo função das características das camadas de solo e dependente das condições de chuva e evapotranspiração, como a condutividade hidráulica e a tensão do solo, que variam com a umidade.

A capacidade de infiltração (f) é calculada em função da umidade real do solo, observando duas condições:

- a) $f = f_{min}$ quando a umidade (θ) do solo for máxima, ou seja, $\theta = \theta_{sat}$
- b) $f = f(\theta)$ quando $\theta < \theta_{sat}$

Como foi dito, a função $f(\theta)$ é definida a partir do ensaio de capacidade de infiltração do solo, por ajuste da função potencial (Equação 3.15).

$$f = C \cdot \frac{1}{\theta^D} \quad (3.15)$$

onde

C e D são parâmetros obtidos a partir do ensaio de capacidade de infiltração.

Escoamento superficial

A geração do escoamento segue os mesmos métodos do MOFIPE, que se baseia no excesso de intensidade de precipitação (i) sobre a capacidade de infiltração (f) e/ou a saturação da camada superficial do solo. As Equações 3.16 e 3.17, descrevem esses cálculos.

$$q = (i - f) \cdot \Delta t \quad \text{quando } i > f \quad (3.16)$$

$$q = (\theta - \theta_{sat}) \cdot h_s \quad \text{quando } \theta \geq \theta_{sat} \text{ e } i < f \quad (3.17)$$

Propagação do escoamento

Os métodos de propagação do escoamento utilizados foram: Muskingum (Tucci, 2001) e método Convexo do SCS (MacCuen, 1982).

Muskingum:

$$Q_{t+\Delta t} = C_1 I_{t+\Delta t} + C_2 I_t + C_3 Q_t \quad (3.18)$$

$$C_1 = \frac{\Delta t - 2.K.X}{2.K.(1-X) + \Delta t} \quad (3.18a)$$

$$C_2 = \frac{\Delta t + 2.K.X}{2.K.(1-X) + \Delta t} \quad (3.18b)$$

$$C_3 = \frac{2.K.(1-X) + \Delta t}{2.K.(1-X) + \Delta t} \quad (3.18c)$$

onde

C_1 , C_2 e C_3 são coeficientes de propagação do escoamento;

K é o tempo de translação do hidrograma no trecho de rio [minuto ou hora];

X é o fator de forma, com $X < 0,5$ para rios;

Δt é o intervalo de tempo [minuto ou hora].

Convexo do SCS

$$Q_{t+\Delta t} = C I_t + (1-C) Q_t \quad (3.19)$$

sendo

$$C = \frac{\Delta t}{K} \quad (3.19a)$$

onde

I e Q são os escoamentos de entrada e saída no trecho de rio;

C é o coeficiente de propagação;

Δt é o intervalo de tempo

O modelo proposto considera a propagação entre elementos do terreno (planos), entre planos e trechos de rios (canais), e ainda apenas entre canais. A propagação nos planos pode ocorrer em duas direções ortogonais (X e Y); nos canais, ocorre em apenas uma direção (no sentido do escoamento no canal). A Figura 1 apresenta um esquema da propagação nos planos e canais.

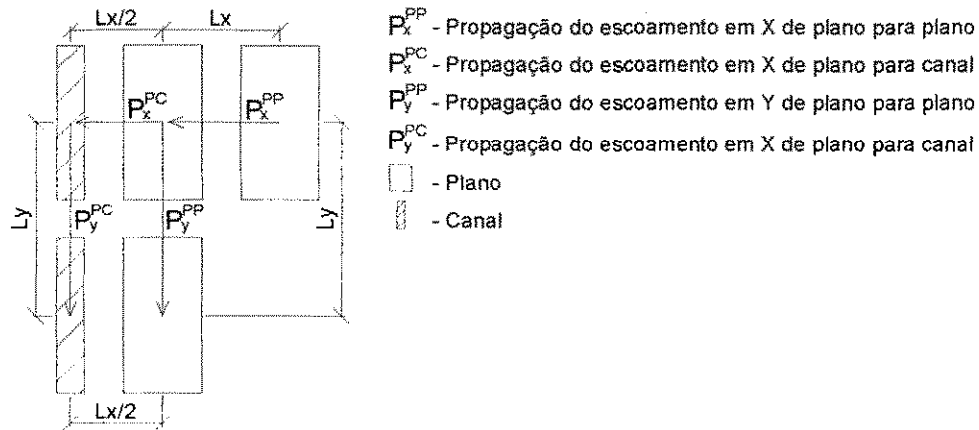


Figura 3.3 – Esquema de propagação nos planos e canais da bacia

O tempo de translação do hidrograma pode ser calculado segundo Kirpich (Chow e outros, 1988) com a Equação 3.20 e segundo Manning (Chow, 1959) com a Equação 3.21.

$$K = 0,0078 \cdot \left(\frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \right) \quad (3.20)$$

onde

K é o tempo de translação do hidrograma [min];

L é o comprimento do a ser percorrido pelo fluxo [pés];

S é a declividade do trecho [-]

$$K = \frac{L}{V} \cdot \frac{1}{60} \quad (3.21)$$

onde

L é o comprimento do trecho [m];

V é a velocidade do fluxo no trecho [m/s]

sendo

a velocidade calculada pela equação de Manning (Chow, 1959)

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2} \quad (3.21a)$$

onde

n é o coeficiente de rugosidade [$m^{-1/3} \cdot s$];

R_h é o reio hidráulico [m]

S é a declividade da linha de energia [m/m]

Fazendo S igual à declividade do fundo do canal (ou plano) na Equação 3.21a resulta no método da onda cinemática (Chow e outros 1988).

3.2.3. Modelo de Erosão

No cálculo da erosão do solo, foram considerados os processos de desprendimento pelo impacto das gotas de chuva e a erosão pelo escoamento. A erosão pelo impacto é dependente da intensidade da chuva. Desse modo, uma expressão que contemple o quadrado da intensidade da chuva é mais apropriada (Meyer e Wischmeier, 1969; Lopes, 2003) para representar esse processo. Também é considerada a diminuição do desprendimento provocado pelo impacto das gotas de chuva, que ocorre à medida que a lâmina escoada aumenta. A erosão pelo escoamento e o transporte (ou deposição) dependem das condições de desprendimento pelo escoamento em relação à resistência do sedimento ao movimento. A distribuição do tamanho dos sedimentos também é contemplada no modelo proposto. Essas condições são aplicadas tanto para os elementos de terreno (planos) quanto para os trechos de rios.

Os cálculos no modelo de erosão só são realizados durante a terceira etapa (propagação nos trechos de rios), após a propagação do escoamento nos planos (2ª etapa), na qual os dados do modelo de fluxo são utilizados como entrada para o modelo de erosão.

Erosão pelo impacto da gota de chuva

O cálculo da parcela de erosão causada pelo impacto da gota de chuva é calculado, segundo a Equação 3.22 (Wicks, 1988).

$$D_r = K_r \cdot F_w \cdot (1 - C_g) \cdot (M_r + M_d) \quad (3.22)$$

onde

D_r é a erosão [$\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$];

K_r é o coeficiente de erosividade [$\text{s}^2/\text{kg} \cdot \text{m}^2$];

C_g fator de cobertura do solo [-];

F_w é a redução da erosão pelo fluxo [-];

M_r é o momento quadrado da chuva que cai diretamente no solo [$(\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s})^2 \cdot \text{s}^{-1}$];

M_d é o momento quadrado da gota de chuva que cai da vegetação [$(\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s})^2 \cdot \text{s}^{-1}$].

A Equação 3.23 é utilizada no cálculo da redução da erosão do solo pelo impacto da gota de chuva, com o aumento da lâmina de água sobre a superfície de escoamento.

$$F_w = \begin{cases} e^{-(1-h/d_m)} & \text{Se } h > d_m \\ 1 & \text{Se } h < d_m \end{cases} \quad (3.23)$$

com

$$d_m = 0,00124 \cdot i^{0,182} \quad (3.23a)$$

onde

d_m é o diâmetro representativo da gota de chuva [m];

h é a profundidade do fluxo [m].

i = intensidade da chuva [mm/h].

Erosão pelo fluxo

A erosão causada pelo escoamento é calculada em função da resistência à capacidade de transporte, segundo a Equação 3.24.

$$D_r = K_r \cdot (1 - C_r) \left(\frac{\tau}{\tau_c} - 1 \right) \quad (3.24)$$

onde

D_r é a erosão [kg/m².s];

K_r é o coeficiente de erosividade do fluxo [kg.m².s];

C_r é o fator de cobertura do solo (rochas e vegetação) [-];

τ é a tensão de cisalhamento do fluxo [N/m²];

τ_c é a tensão de cisalhamento crítica [N/m²].

$$\tau = \gamma \cdot S \cdot h_p \quad (3.24a)$$

onde

γ é o peso específico da água [N/m³];

S é a declividade da bacia [m/m];

h_p é a lâmina de escoamento no canal [m];

$$\tau_c = (\rho_s - \rho) \cdot D \cdot a \cdot R_*^b \quad (3.24b)$$

$$R_* = \max \left[0,03; D_{50} \frac{(\tau/\rho)^{0,5}}{\nu} \right] \quad (3.24c)$$

onde

ρ_s é a massa específica do sedimento [kg/m³];

ρ é a massa específica da água [kg/m³];

D é o diâmetro representativo dos sedimentos [m];

a e b são coeficientes [-];

R_* é o número de Reynolds a partícula;

V é a velocidade média do fluxo [m/s];

D é o diâmetro [m];

ρ é a massa específica [kg/m³];

μ é a viscosidade do fluido [N.s/m²].

Capacidade de transporte pelo fluxo

O material desprendido pelo impacto da gota de chuva ou pelo escoamento é transportado de acordo com a capacidade de transporte do fluxo. A comparação entre a disponibilidade e a capacidade de transporte dos sedimentos desprendidos define se todo ou apenas parte do material é transportado.

As taxas de transporte calculadas utilizando fórmulas para prever a produção de sedimentos variam significativamente, fazendo com que a escolha correta de uma dessas fórmulas seja uma tarefa difícil. Davi (2004) analisou três metodologias para calcular a capacidade de transporte de sedimentos pelo fluxo, concluindo que as metodologias de Engelund-Hansen (1967) e Laursen (1958) foram as que apresentaram melhores resultados na Bacia Experimental de Sumé.

A seguir são apresentadas as fórmulas para cálculo da capacidade de transporte de sedimentos propostas por Laursen (1958), Yalin (1963) e Engelund-Hansen (1967).

Equação de Laursen (1958)

Laursen (1958) desenvolveu a relação funcional entre a condição de fluxo e a descarga de sedimentos resultante. Não foi feita distinção entre a carga no leito e a carga em suspensão, com a justificativa de que as forças hidrodinâmicas envolvidas, tanto na ascensão como no arrasto das partículas, são as mesmas, sendo desnecessário definir uma linha de separação.

Os termos da função de Laursen na equação (3.25), $\left(\frac{\tau_o}{\tau_c} - 1\right)$ e $\frac{U_*}{w}$, são importantes para a determinação da carga do leito e da carga suspensa, respectivamente, pois o movimento dos sedimentos por arrasto se inicia quando o valor da tensão de cisalhamento (τ) supera o valor da tensão crítica de cisalhamento (τ_c). A partir desse ponto, a carga no leito seria diretamente proporcional a $(\tau - \tau_c)$.

A fórmula de Laursen é indicada para sedimentos naturais com densidade do sedimento igual a 2,65 e diâmetros entre 0,011 mm e 4,08 mm (Vanoni, 1975). A Equação 3.25 (Vanoni, 1975; Simons & Şentürk, 1992) representa a equação de Laursen. Para um só diâmetro do sedimento, e.g., D_{50} a porcentagem é $P_i = 100\%$.

$$C = 0,01 \cdot \gamma \cdot \sum_i P_i \left(\frac{D_i}{d}\right)^{3/2} \cdot \left(\frac{\tau_o}{\tau_c} - 1\right) \cdot f\left(\frac{U_*}{w_i}\right) \quad (3.25)$$

$$\tau_c = 0,039 \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot D_{s0} \quad (3.25a)$$

$$q_T = Q \cdot C \quad (3.25b)$$

onde

C é a capacidade de transporte em peso por unidade de volume [N/m^3];

γ é o peso específico da água [N/m^3];

P_i é a porcentagem do diâmetro do sedimento D_i [%];

D_i é o diâmetro do sedimento [mm] com porcentagem P_i ;

d é a profundidade do fluxo [m];

$\tau_o = \rho \cdot \frac{U^2}{58} \cdot \left(\frac{D_i}{d} \right)^{1/3}$ é a tensão de cisalhamento de Laursen devido à resistência

do grão, tomada neste trabalho, por conveniência, como a tensão de cisalhamento do fluxo dada pela equação 3.24a;

τ_c é a tensão de cisalhamento crítica calculada pela equação 3.25a;

$U_* = \sqrt{g \cdot d \cdot S}$ é a velocidade de cisalhamento [m/s];

$w_i = F \sqrt{g \cdot D_i \cdot (S_s - 1)}$ é a velocidade de queda de Rubey sendo

$F = \left(\frac{2}{3} + \frac{36 \cdot \nu^2}{g \cdot D_i^3 \cdot (S_s - 1)} \right)^{1/2} - \left(\frac{36 \cdot \nu^2}{g \cdot D_i^3 \cdot (S_s - 1)} \right)^{1/2}$ e ν a viscosidade cinemática do

fluido.

q_T é a taxa de transporte de sedimentos [N/s];

Q é a vazão volumétrica [m^3/s].

Equação de Yalin (1963)

Segundo Yalin (1963), a capacidade de transporte (C_t) é diretamente proporcional à tensão de cisalhamento do fluxo dividida pela tensão de cisalhamento crítica no leito. Com base nisso, Yalin desenvolveu a seguinte expressão para o cálculo da capacidade de transporte, de sedimentos coesivos, da carga no leito:

$$C_t = \frac{0,635}{Q} \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \cdot L \cdot d_{s0} \cdot \delta \cdot \left[1 - \frac{\ln(1 + \alpha \cdot \delta)}{\alpha \cdot \delta} \right] \quad (3.26)$$

$$\alpha = \frac{2,45}{S_s^{0,4}} \sqrt{\frac{\tau_c}{(S_s - 1) \cdot \rho \cdot g \cdot d_{50}}} \quad (3.26a)$$

$$\delta = \max \left[0, \frac{\tau}{\tau_c} - 1 \right] \quad (3.26b)$$

onde

C_r é a capacidade de transporte dos sedimentos [m^3/m^3];

L é a largura do canal [m];

d_{50} é o diâmetro dos sedimentos [m];

S_s é a densidade dos sedimentos [-];

g é a aceleração da gravidade [m/s^2].

Equação de Engelund-Hansen (1967)

Engelund-Hansen (1967) desenvolveram a fórmula da Equação 3.27 para o cálculo da capacidade de transporte total baseada na equação fundamental da energia para o transporte e deposição de sedimentos num leito móvel. A hipótese foi de que o ganho de energia potencial ao elevar uma partícula pode ser igualado ao trabalho realizado pelas forças de arrasto do fluxo (Dawes & Hatton, 1993). Segundo Vanoni (1975), o método de Engelund-Hansen não é apropriado para sedimentos com diâmetro médio inferior a 0,15 mm e desvio padrão aproximadamente maior que 2,0.

$$C_m = \frac{0,05}{d \cdot (S_s - 1)^2} \cdot \sqrt{\frac{S \cdot h}{g}} \cdot u \cdot S \quad (3.27)$$

onde

C_m é a concentração de sedimentos na capacidade de transporte [m^3/m^3];

g é a aceleração da gravidade [m/s^2];

S é a declividade da linha de energia [m/m];

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];

u é a velocidade média do fluxo [m/s].

Distribuição de sedimentos na capacidade de transporte

A distribuição de sedimentos foi uma das propostas de implementação no modelo distribuído, sub-modelo de erosão. A equação de Laursen (1958) apresenta a capacidade de considerar a distribuição de sedimentos na capacidade de transporte. A simulação utilizando a distribuição de sedimentos foi implementada ao MODFIPE e é facultativa sua inclusão no processo de cálculo, visto que na interface do modelo é possível selecionar uma outra opção, por exemplo utilizar diâmetro fixo (D_{50}). A fórmula de Laursen (1958) na sua forma geral foi dada na Equação 3.25, a qual pode ser aplicada com a distribuição de sedimentos, i.e., $D_i \times P_i$ apresentada novamente na equação 3.28.

$$C = 0,01 \cdot \gamma \cdot \sum_i P_i \left(\frac{D_i}{d} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\tau_o}{\tau_c} - 1 \right) \cdot f \left(\frac{U_*}{w_i} \right) \quad (3.28)$$

onde

C é a capacidade de transporte em peso por unidade de volume [N/m^3];

γ é o peso específico da água [N/m^3];

P_i é a porcentagem do diâmetro do sedimento D_i [%];

D_i é o diâmetro do sedimento [mm] com porcentagem P_i ;

d é a profundidade do fluxo [m];

$\tau_o = \rho \cdot \frac{U^2}{58} \left(\frac{D_i}{d} \right)^{1/3}$ é a tensão de cisalhamento de Laursen devido à resistência

do grão, tomada por conveniência neste trabalho como a tensão de cisalhamento do fluxo dada pela equação 3.24a;

τ_c é a tensão de cisalhamento crítica calculada pela equação 3.25a;

$U_* = \sqrt{g \cdot d \cdot S}$ é a velocidade de cisalhamento [m/s];

$w_i = F \sqrt{g \cdot D_i \cdot (S_s - 1)}$ é a velocidade de queda de Rubey sendo

$F = \left(\frac{2}{3} + \frac{36 \cdot \nu^2}{g \cdot D_i^3 \cdot (S_s - 1)} \right)^{1/2} - \left(\frac{36 \cdot \nu^2}{g \cdot D_i^3 \cdot (S_s - 1)} \right)^{1/2}$ e ν é a viscosidade cinemática do

fluido.

3.3. Dados de Entrada e Parâmetros do MODFIPE

A seguir, estão descritos os principais parâmetros requeridos pelo modelo, suas características, limites máximo e mínimo para aplicação, como também os dados de entrada necessários à simulação.

3.3.1. Profundidade do Solo

O modelo concentrado MOFIPE foi desenvolvido em duas versões, a primeira contempla dois horizontes de solo, A e B. Na segunda versão, foi adicionado ao processo de cálculo mais um horizonte de solo, o C. Com base nas simulações, pode-se observar que no horizonte C não havia fluxo, essa observação pode ser comprovada pela comparação dos resultados das simulações com dois e três horizontes de solo. Por essa razão, o MODFIPE foi desenvolvido contemplando apenas dois horizontes de solo.

3.3.2. Características do Solo

Segundo Saxton e outros (1986), entre os fatores que governam os parâmetros do solo, a textura parece ser o fator mais relevante. Segundo Rawls & Brakensiek (1989), é um dos dados menos dispendioso de ser obtido. As características do solo consideradas, tanto no MOFIPE quanto no MODFIPE, são as porcentagens de argila (%C) e de areia (%S).

3.3.3. Evapotranspiração

O modelo disponibiliza em sua interface gráfica três metodologias para o cálculo da evapotranspiração, como já discutido: Blaney-Criddle, Thornthwaite Penman-Monteith ou através de dados de tanque classe A corrigidos dos coeficientes do tanque e de cultura (e.g., equação 3.1).

3.3.4. Umidade Mínima do Solo

A umidade mínima necessária para que uma camada de solo ceda água para outra camada imediatamente abaixo é um dos parâmetros que define o limite para o

escoamento entre as camadas de solo. No MOFIPE, no qual foram realizadas simulações com três camadas, a umidade mínima seria um parâmetro requerido apenas para as camadas A e B, visto que a camada abaixo do horizonte de solo C seria a camada impermeável. No MODFIPE a umidade mínima foi utilizada apenas na camada A. A umidade mínima, abaixo da qual não há percolação para a outra camada adjacente, é definida no modelo como sendo aquela correspondente a tensão do solo de 10 kPa.

3.3.5. Parâmetros de Erosão do Solo

Para a simulação da erosão do solo e transporte de sedimentos, os parâmetros requeridos são: o diâmetro representativo dos grãos (no caso de se utilizar a distribuição de sedimentos, são utilizados um conjunto de até 10 diâmetros); a densidade dos grãos; o coeficiente de erosividade da chuva e o coeficiente de erosividade do escoamento.

Para a distribuição de sedimentos o modelo aceita a entrada de até 10 valores de diâmetros, com suas respectivas porcentagens.

3.3.6. Outros parâmetros

Além dos parâmetros já citados, o modelo MODFIPE requer ainda parâmetros referentes às características físicas da bacia, como área, largura, comprimentos e declividades dos planos, massa específica e viscosidade da água, fator para aprisionamento do ar e fator para umidade inicial do solo em termos da saturação.

3.4. Algoritmo e Procedimentos de Cálculo do Modelo

Os processos de cálculo do modelo proposto se apresentam de forma simplificada apenas para o cálculo inicial do escoamento nos planos. A partir da implementação das rotinas de propagação do escoamento, durante a implementação do modelo, foi observada a necessidade de separar esse processo de cálculo em três etapas distintas, em que cada etapa seqüente depende dos resultados da anterior.

Inicialmente, o modelo abre o arquivo contendo os dados de precipitação, armazena-os no banco de dados, lê os dados de evapotranspiração do tanque ou os parâmetros da metodologia selecionada para estimar a evapotranspiração, lê os dados dos planos e canais (parâmetros físicos) e, em seguida, inicia os procedimentos de cálculo

do modelo de fluxo, descrito no item 3.2.2. Esse cálculo é realizado seqüencialmente (em um *loop*), de acordo com os dados de precipitação. A Figura 3.3 mostra o algoritmo da primeira etapa, na qual é calculado apenas o modelo de fluxo que se encerra no último plano, indicado pelo número 1 (que é o escoamento concentrado em cada plano) na figura em consideração. Segue-se então o procedimento para a propagação do escoamento nos planos que é a segunda etapa do modelo.

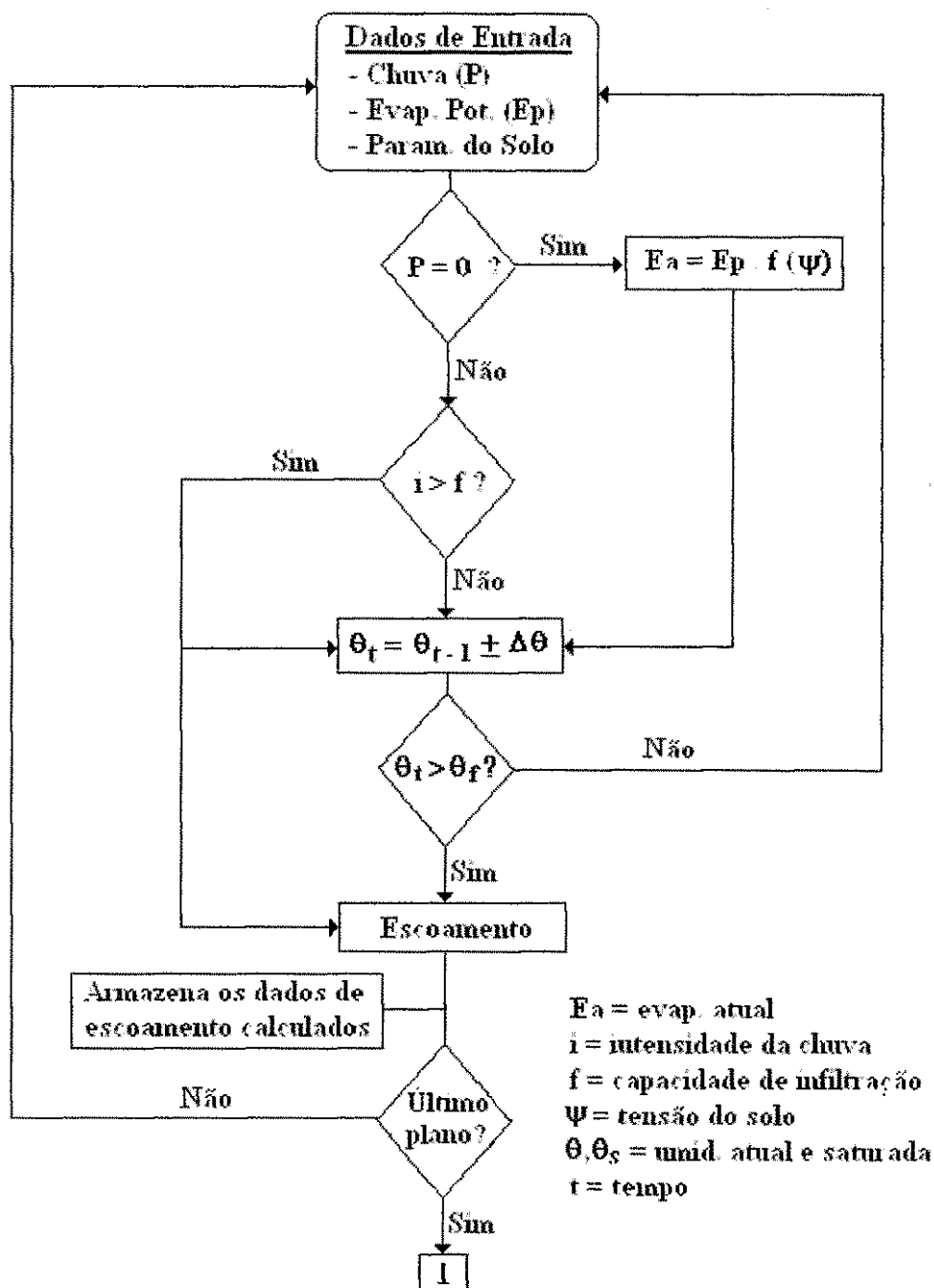


Figura 3.4 – Fluxograma de cálculo nos planos
1ª etapa do modelo de fluxo do MODFIFE

Após o cálculo do escoamento em cada plano, é iniciada a rotina de determinação da seqüência de cálculo da propagação do escoamento nos planos. Isso é feito de acordo com a direção do fluxo em cada plano (se o fluxo é propagado para plano ou canal e em qual direção, ou se não propaga), informada ao modelo por meio da interface gráfica ou por arquivo de dados.

Para o desenvolvimento das rotinas de propagação foi admitido uma modelagem para a sub-bacia de Umburana, na bacia representativa de Sumé na Paraíba, com 17 elementos (13 planos e 4 canais) e dados do evento da cheia 1 de 30/04/1977 com chuva processada a cada hora. Os testes foram realizados através de um grande número de simulações após as quais, outras modelagens também foram realizadas para Umburana, com configurações de 1 plano e 1 canal e 4 planos e 4 canais para verificação de consistência dos resultados.

A Figura 3.5 mostra como foi montado o sistema de planos e canais para desenvolvimento das rotinas de propagação do escoamento.

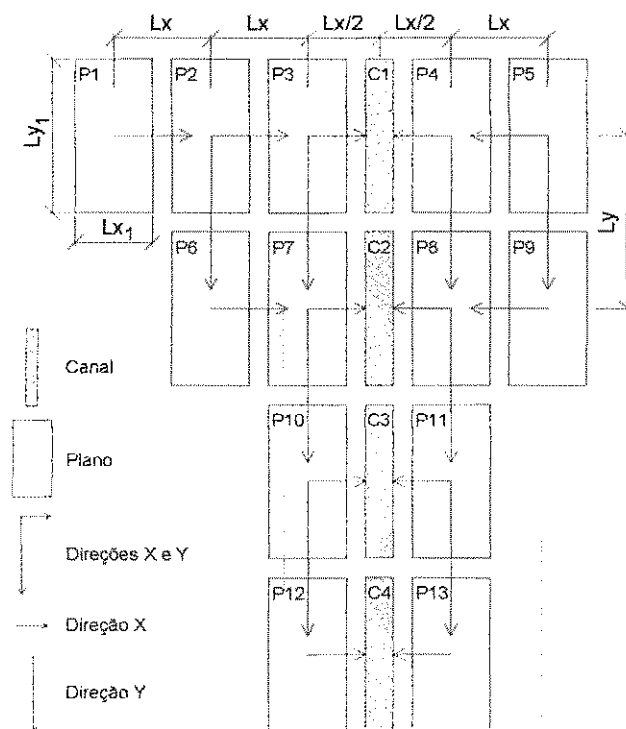


Figura 3.5 – Modelagem da bacia para simulação do escoamento nos planos e canais

O modelo considera a propagação do escoamento em duas direções ortogonais, X e Y. Foram considerados também a largura e o comprimento de cada plano, de acordo com a direção da propagação do escoamento. Nas direções X e Y, se a propagação é de plano para plano, a distância de percurso do fluxo é dada pela largura (ou comprimento)

L do plano, ou seja, pela distância entre os centros dos elementos. Quando a propagação se dá de um plano para um trecho de rio, a distância de percurso do fluxo será a medida do centro do plano ao canal, igual a $L/2$. A vazão total a ser propagada em cada plano corresponde à soma da vazão do plano com a vazão propagada do plano anterior, quando houver.

Na segunda etapa, é calculada a erosão por impacto das gotas de chuva e pelo fluxo, do que se obtém a erosão total. Após ser calculada a vazão propagada em cada plano, verifica-se se a capacidade de transporte do fluxo é maior que a carga de sedimentos disponível para o transporte. Em caso afirmativo, todo sedimento disponível é transportado; caso contrário é transportada apenas a capacidade de transporte, ficando o restante dos sedimentos depositado.

Ao final do processo de cálculo da segunda etapa, são conhecidos o valor de vazão total propagada em cada plano e o quanto escoou para cada trecho de rio. A Figura 3.6 mostra o fluxograma desse processo de cálculo que é realizado após o término do cálculo de fluxo da primeira etapa cujo procedimento foi descrito anteriormente (ver Figura 3.4).

A saída do fluxograma da Figura 3.6, indicado pelo número 2 (que é o escoamento propagado de um plano a outro) é a entrada de dados da terceira e última etapa de cálculo do modelo, na qual será possível conhecer os hidrogramas de cada trecho de rio e os sedigramas.

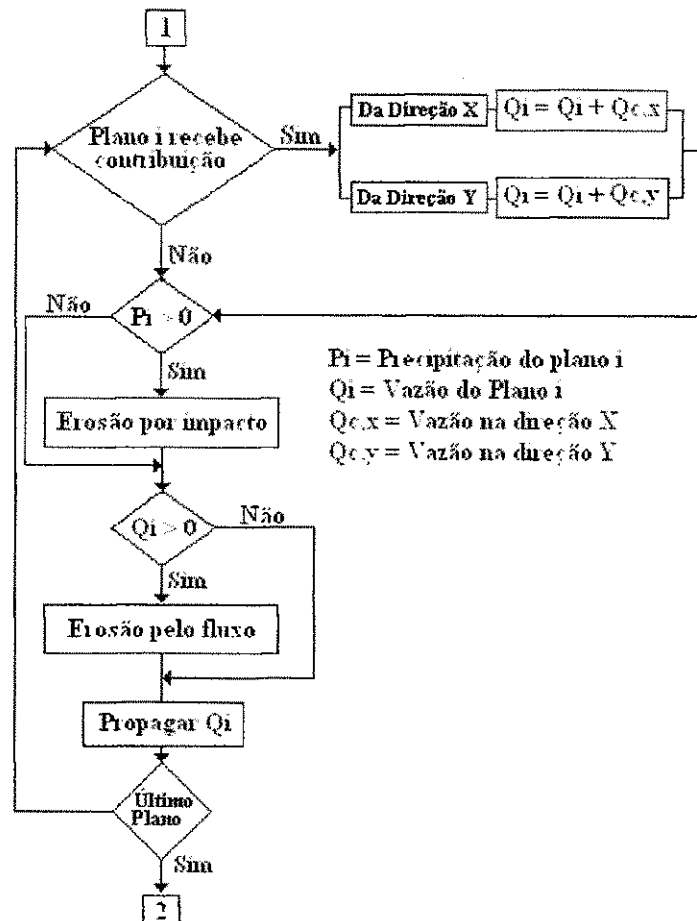


Figura 3.6 – Fluxograma de cálculo da propagação do fluxo nos planos 2ª etapa do modelo de fluxo do MODFIPE

As vazões $Q_{c,x}$ e $Q_{c,y}$ no fluxograma da Figura 3.6 acima são as vazões propagadas do plano anterior ao plano atual. Quando a propagação ocorre de plano para plano em duas direções (e.g., na Figura 3.5 a propagação do plano 2 para os planos 3, na direção x, e 6, na direção y), as vazões a serem propagadas são $Q_x = Q_y = Q_i/2$, onde Q_i é a vazão calculada para o plano i . Sendo em uma direção apenas, a vazão a ser propagada será a vazão total, i.e., Q_x ou Q_y .

A terceira etapa de cálculo consiste em realizar a propagação do escoamento somente nos trechos de rio, visto que a propagação em cada plano foi calculada na segunda etapa. É realizada uma seqüência de cálculo (*loop* nos trechos de rio), na qual é verificada a existência de contribuição de vazão de planos para cada trecho de rio. Caso exista, a soma das vazões dos planos, que contribuem para um canal, é propagada para o próximo canal. A vazão gerada pela área de cada canal, resultante da precipitação sobre a superfície do canal, não é considerada devido às pequenas dimensões dos canais (já incluídas na área da célula) não influenciarem no escoamento total do canal. A vazão a

ser propagada é a soma das vazões que contribuem para o trecho / do canal, acrescida da vazão que foi propagada do trecho anterior.

Após isso, é calculada a capacidade de transporte para o trecho de rio. A Figura 3.7 mostra o fluxograma dos processos de cálculo da terceira etapa.

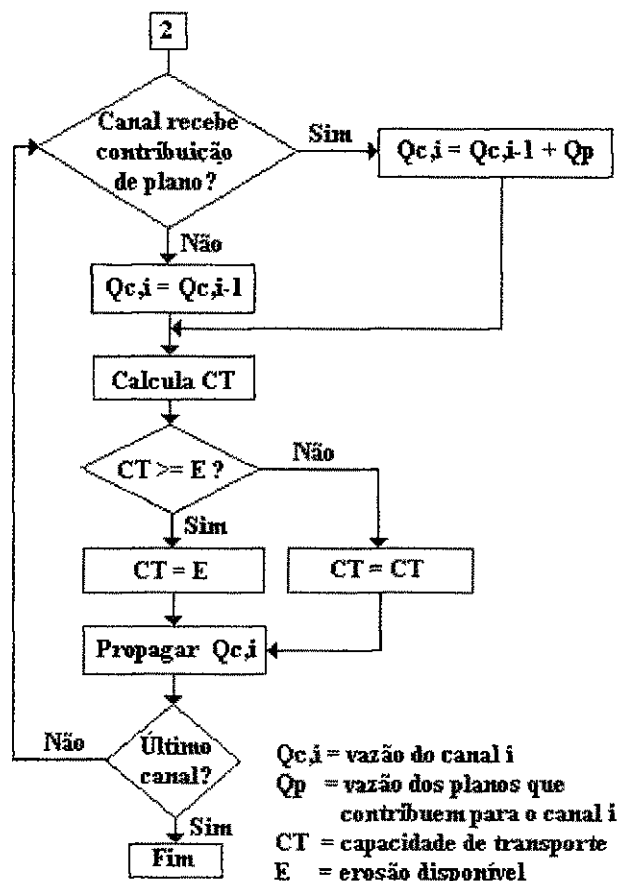


Figura 3.7 – Fluxograma de cálculo da propagação do fluxo nos canais e erosão do solo 3ª etapa do modelo MODFIPE

3.5. Formato dos Arquivos de Entrada de Dados do Modelo

O MODFIPE foi desenvolvido para simulações em dois ambientes: gráfico e texto. No modo gráfico, toda a entrada de dados e leitura de arquivos é realizada através da interface do sistema. No modo texto, a entrada de dados é realizada através de arquivos de texto no formato ASCII, que seguem um formato padrão apresentado a seguir.

A Tabela 3.1 apresenta o formato dos dados do arquivo de entrada dos dados de precipitação.

Tabela 3.1 – Padrão do arquivo de precipitação

Campo	Coluna Inicial	Coluna Final	Tamanho da Coluna	Tipo de Dado	Descrição
Evento	1	3	3	Inteiro (N)	-
Dia	15	16	2	Inteiro (N)	Formato dd
Mês	23	24	2	Inteiro (N)	Formato MM
Ano	29	32	4	Inteiro (N)	Formato AAAA
Hora	39	40	2	Inteiro (N)	Formato hh
Minuto	47	48	2	Inteiro (N)	Formato mm
Precipitação	49	56	8	Double (F)	Formato 0,00

3.6. Ambientes de Desenvolvimento

Um dos procedimentos iniciais foi a escolha da linguagem de programação utilizada para o desenvolvimento do modelo, pois a planilha eletrônica Excel® não mais seria utilizada no modelo proposto. Uma opção seria utilizar o Fortran, porém a limitação de conhecimento nessa linguagem e a incapacidade de interação do Fortran com um banco de dados relacional dificultaram seu uso. Pensando nisso, foi proposto o uso do Delphi ou Visual Basic, tendo-se optado pelo Delphi, devido ao conhecimento acumulado dessa linguagem. Todavia, a versão em Fortran não foi descartada, sendo desenvolvida paralelamente para comparação dos resultados.

3.6.1. Delphi

O MODFIPE foi totalmente desenvolvido em Delphi. O Delphi é uma linguagem de programação estruturada e orientada a objetos, de fácil utilização, com suporte a vários tipos de bancos de dados e variadas funções matemáticas. Isso faz dele uma poderosa ferramenta para auxiliar no desenvolvimento de modelos matemáticos.

A versatilidade no desenvolvimento de sistemas de informática em linguagem de programação estruturada possibilitou a elaboração do modelo em módulos ou camadas de programação: i) uma camada para interface, onde é compilado o módulo principal executável; ii) outra camada para regras de negócio (regras de banco de dados, através de módulos de dados) e iii) uma camada de cálculos, compilada em duas DLL's (*dynamic link libraries*), uma para o modelo concentrado, outra para o modelo distribuído. Outras DLL's foram criadas apenas com a finalidade de concentrar algumas funções comuns a todo o sistema.

3.6.2. Fortran

O Fortran é uma das mais antigas ferramentas de programação utilizada no desenvolvimento de modelos matemáticos. Uma das grandes vantagens do Fortran é a velocidade de execução dos processos de cálculo e *loops* de leitura de dados.

O MODFIPE foi desenvolvido em uma versão distribuída no modo texto em Fortran, pelo orientador deste trabalho. Essa versão teve grande importância para a pesquisa, pois o desenvolvimento em paralelo possibilitou a comparação entre os resultados, a realização de correções no modelo original (MOFIPE) e melhor consistência dos resultados.

Esta versão em Fortran, atualmente é limitada a 4 planos e 4 canais, a modelagem está implícita no código fonte do programa. A implementação de outra configuração com mais de quatro planos implicaria em uma alteração e compilação do código fonte.

3.6.3. Excel

O MOFIPE inicialmente foi desenvolvido por Davi (2004), no ambiente da planilha eletrônica Excel, de maneira bastante simplificada, onde se pode manipular os parâmetros do modelo sem a necessidade de realizar loops ganhando um certo tempo nas simulações, visto que os cálculos das células da planilha são atualizados automaticamente.

No desenvolvimento do modelo MODFIPE, a planilha eletrônica Excel foi utilizada com a finalidade de checagem dos resultados, pois como foi dito antes, a obtenção dos resultados é rápida não necessitando de loops.

Uma das limitações para utilização de planilhas do Excel é a quantidade de células, pois nos modelos de simulação com base de tempo contínua a massa de dados é grande, muitas vezes chegando a extrapolar os limites da planilha.

4.1.3. Solos e Cobertura Vegetal

A sub-bacia de Jatobá apresenta relevo ondulado e solo variando de Vermelho Amarelo equivalente a Eutrófico, que é muito permeável, retendo grandes volumes de água. A sub-bacia de Umburana apresenta relevo ondulado a fortemente ondulado, com solos rasos e pouco permeáveis. A sub-bacia de Gangorra apresenta um relevo pouco ondulado.

A vegetação predominante na BRS é a caatinga hiperxerófila densa. Dentre as espécies presentes, pode-se observar: xique-xique, mandacaru, braúna, aroeira, quixaba, macambira, etc. A agricultura predominante é a de subsistência (milho, feijão e algodão), desenvolvendo-se em zonas limitadas. A pecuária é extensiva, desenvolvida em condições precárias.

A Figura 4.1 apresenta a BRS, suas sub-bacias e hidrografia. A Tabela 4.1 mostra as características de declividade e cobertura vegetal de cada sub-bacia.

Tabela 4.1 – Características das sub-bacias da BRS (Cadier e Freitas, 1982)

Sub-Bacia	Área (km ²)	Declividade (%)	Perímetro (km)	Declividade média (m/km)	Cobertura Vegetal
Gangorra	137,4	7,0	69,5	3,94	Caatinga
Jatobá	26,8	6,2	28,5	9,33	Caatinga
Umburana	10,7	7,1	18,2	6,79	Caatinga

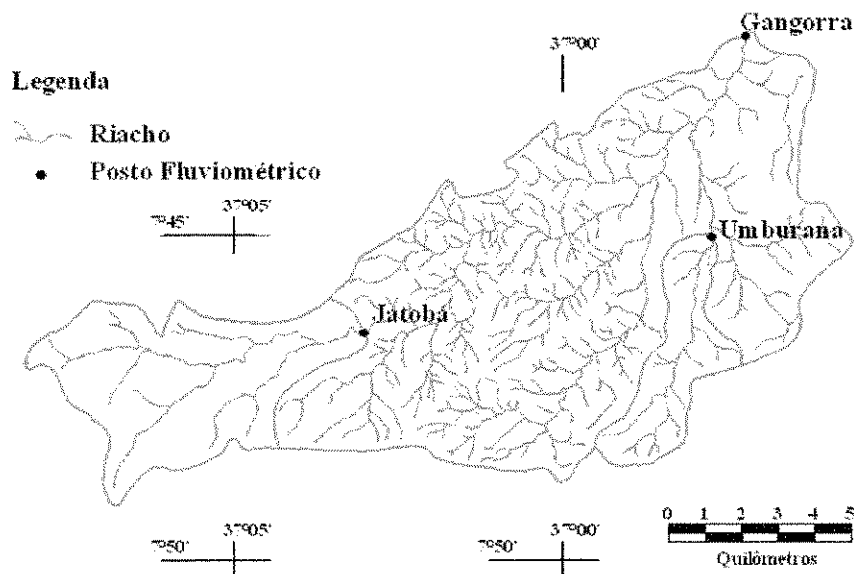


Figura 4.1 – BRS, sub-bacias e hidrografia (Cadier e Freitas, 1982)

4.2. Bacia Experimental de Sumé (BES)

4.2.1. Localização

A BES está inserida na BRS, localizada próximo à cidade de Sumé, no Estado da Paraíba. Estudos nessa região foram iniciados pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), no início da década de 70 (Cadier e Freitas, 1982).

A bacia experimental é formada por quatro micro-bacias, com áreas variando entre 0,5 ha e 1,0 ha, que caracterizam a topografia do terreno e a cobertura vegetal, e nove parcelas experimentais de 100 m². Duas das micro-bacias tiveram a cobertura vegetal nativa completamente removida. A Figura 4.2 apresenta a localização das parcelas e sub-bacias da Bacia Experimental de Sumé (BES).

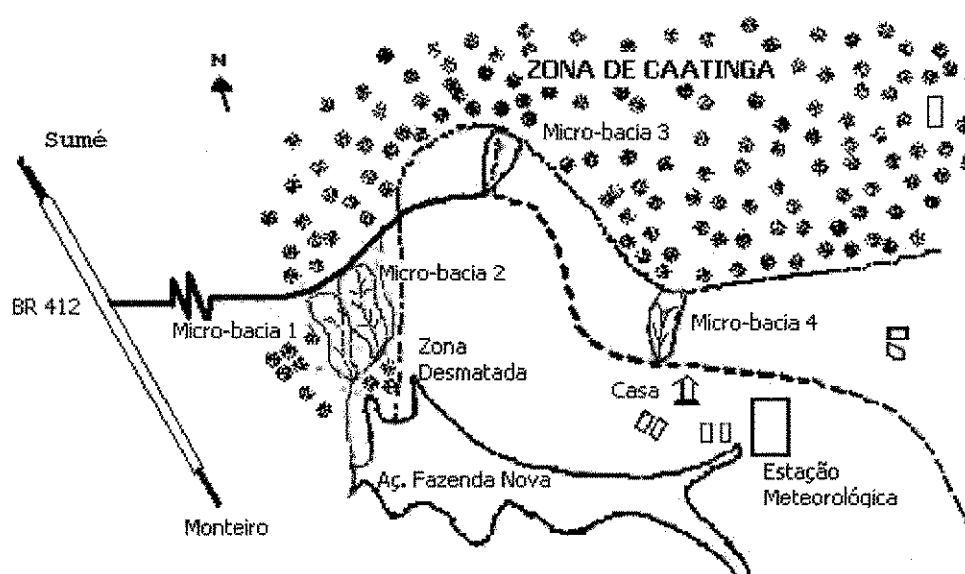


Figura 4.2 – Unidades experimentais da BES (parcelas – W e micro-bacias)

4.2.2. Clima

A BES é caracterizada por baixos índices pluviométricos, com precipitação média anual variando entre 550 e 600 mm e alta taxa de evaporação, da ordem de 2000 mm/ano. A insolação anual é de 2800 horas de luz. A temperatura média anual varia entre 23°C e 27 °C e a amplitude diária é de 10 °C.

4.2.3. Solos e Cobertura Vegetal

O solo predominante nessa região é o Bruno não-cálcico, constituindo 85% da superfície da BES, sendo os outros 15% do tipo Bruno não-cálcico modal, associados a raros vertissolos. A Tabela 4.2 apresenta as características das áreas da BES. As áreas simuladas encontram-se destacadas na tabela.

Tabela 4.2 – Características das micro-bacias da BES (Cadier e outros, 1983)

Local	Área (m²)	Declividade (%)	Perímetro (m)	Declividade média (%)	Cobertura Vegetal
M1	6.200	7,0	398	7,0	Caatinga
M2	10.700	6,2	466	6,1	Caatinga
M3*	5.200	7,1	302	7,1	Desmatada
M4*	4.800	6,8	270	6,8	Desmatada

(*) unidades experimentais utilizadas para aplicação do modelo

As nove parcelas de erosão instaladas na BES são do tipo Wischmeier (Wischmeier 1960), todas com área de 100 m² (22,0 m x 4,55 m), com diferentes condições de declividade e cobertura vegetal. Na Tabela 4.3, encontram-se as características das parcelas de erosão da BES.

Tabela 4.3 – Características das parcelas de erosão

Local	Área (m²)	Declividade (%)	Cobertura Vegetal
P1	100	3,8	Desmatada
P2	100	3,9	Vegetação Morta
P3	100	7,2	Vegetação Morta
P4	100	7,0	Desmatada
P5	100	9,5	Caatinga
P6	100	4,0	Palma (em contorno) e Milho
P7	100	4,0	Palma (em contorno) e Feijão
P8	100	4,0	Desmatada c/ Solo Solto
P9	100	4,0	Caatinga Renovada

Fonte: Cadier e outros, 1983

Com o modelo distribuído não foi realizada simulação nas parcelas de erosão. As áreas utilizadas para simulação na BES foram as das micro-bacias M3 e M4 (sem cobertura vegetal).

4.3. Parâmetros Gerais Utilizados para Simulações das BES e BRS

A seguir são apresentados os parâmetros comuns às duas bacias BES e BRS, como também os parâmetros que necessitaram de ajuste, tais como: parâmetros do solo, erosão, etc. Os dados são para o período de observação indicados em Cadier e Freitas (1982) e outras fontes.

4.3.1. Profundidade do Solo

A profundidade do solo na BES varia entre 0,0 e 1,0 m em alguns locais, apresentando-se geralmente em dois horizontes. A profundidade admitida para simulação foi a mesma utilizada no MOFIPE: de 10 cm para o horizonte A e de 40 cm para o horizonte B. Dessa forma, a camada impermeável do solo encontra-se 50 cm abaixo da superfície.

4.3.2. Parâmetros Hidráulicos do Solo

Para a BES, na composição da textura do solo foram adotados os percentuais de argila ($%C$) e areia ($%S$) como sendo 50,2% e 15,8% para o horizonte A e 50,2 % e 32,5 % para o horizonte B.

Os parâmetros C e D da curva de capacidade de infiltração da Equação 3.15, foram ajustados por Davi (2004) com base nos dados do ensaio de capacidade de infiltração. A partir das lâminas infiltradas, foi estimada a umidade volumétrica associada à capacidade de infiltração a cada instante e, através de regressão linear simples, foram definidos os valores de C e D como sendo iguais a 17,0035 e 0,1970, respectivamente.

4.3.3. Evapotranspiração

Os dados relacionados à evapotranspiração, apresentados a seguir, são considerados tanto para as simulações da BES, como da BRS, por ambas se encontrarem na mesma região.

Os dados de evaporação do tanque classe A utilizados para as simulações são apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Evapotranspiração média mensal na BES

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Evp (mm/mês)	291,4	232,4	254,2	243,0	217,0	177,0
Mês	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Evp (mm/mês)	201,5	244,9	255,0	282,1	291,0	291,4

Para a evapotranspiração calculada por Blaney-Criddle, os dados de entrada são: i) o coeficiente de cultura, K_c , igual a 1,0; ii) os dados de proporção de horas de luz e iii) os dados de temperatura média mensal. Os valores de proporção de horas de luz são dados de acordo a latitude, que são tabelados (Tucci, 2001), que é informada no modelo. Os dados de temperatura utilizados são mostrados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Temperatura média mensal na BES

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Temperatura °C	24,60	24,50	24,60	24,10	22,90	22,10
Mês	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temperatura °C	20,80	22,00	22,70	24,40	25,00	25,20

Para o cálculo da evapotranspiração pelo método de Thorntwaite, os parâmetros são: K_c (coeficiente de cultura), igual a 1,0; F_c (fator de correção para o número de horas de luz); e temperatura. O valor do fator de correção para o número de horas de luz é tabelado de acordo com a latitude (Tucci, 2001), que é um dado de entrada para simulação do modelo.

Para o método de Penman ou combinado, os dados são: temperatura; umidade relativa (apresentada na Tabela 4.6); velocidade do vento (Tabela 4.7) e a radiação global (Tabela 4.8).

Tabela 4.6 – Umidade relativa média mensal na BES

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Umidade Relativa (%)	65,30	69,20	71,00	73,60	76,20	77,70
Mês	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Umidade Relativa (%)	76,50	72,70	69,20	65,50	62,10	63,30

Tabela 4.7 – Velocidade média mensal do vento na BES

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Velocidade do Vento (m/s)	3,1	2,7	2,3	2,2	2,2	2,2
Mês	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Velocidade do Vento (m/s)	2,4	2,6	3,2	3,5	3,7	2,3

Tabela 4.8 - Radiação global na BES

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Radiação Global (cal/cm ² /dia)	464,0	472,0	471,0	430,0	376,0	346,0
Mês	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Radiação Global (cal/cm ² /dia)	351,0	342,0	466,0	506,0	531,0	473,0

4.3.4. Parâmetros de Erosão do Solo

Coefficiente de Rugosidade

Segundo Figueiredo (1998), um possível valor a ser utilizado para o coeficiente de rugosidade de Manning é $n = 0,020$, para planos sem vegetação. Davi (2004) utilizou o valor $n = 0,017$ para as simulações nas micro-bacias M3 e M4 e nas parcelas de erosão. O valor utilizado no MODFIPE para simulação nas bacias experimental e representativa de Sumé foi 0,020 para os planos e 0,035 para os trechos de rio. Valores de n são indicados em Chow (1959) para várias condições de superfície e trechos de rio.

Distribuição de Sedimentos

Os valores utilizados para simulação da erosão do solo com distribuição de sedimentos nas micro-bacias M3 e M4 são apresentados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Porcentagens de partículas de solo (Figueiredo, 1998)

	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈	D ₉	D ₁₀
D (mm)	0,002	0,063	0,100	0,200	0,630	1,000	2,000	6,300	10,000	0,000
p (%)	5,34	5,06	13,56	40,71	14,44	13,81	6,15	0,58	0,35	0,00

4.3.5. Outros parâmetros

Para a BRS e BES, os valores utilizados para o fator de aprisionamento do ar foram 0,91 e 0,80, para os horizontes A e B, respectivamente. Os fatores para umidade inicial foram de 0,2473 e 0,3810 (Davi, 2004), respectivamente para os horizontes A e B.

Para o peso específico da água a 25°C, foi utilizado o valor de 9779 N/m³. Para a viscosidade na mesma temperatura, o valor foi 8,94 x 10⁻⁷ m²/s.

4.4. Bacia Representativa de Tauá (BRT)

4.4.1. Localização

A BRT está localizada na zona oeste do Estado do Ceará, a uma latitude de aproximadamente 5°34' Sul e longitude 40°1' Oeste. Os trabalhos nessa região foram iniciados pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) no ano de 1977, com a instalação da Bacia Hidrográfica de Tauá (Cavalcante e outros, 1989).

A BRT é formada por três sub-bacias, totalizando uma área de aproximadamente 194,0 km², na qual 171,23 km² compõem a sub-bacia Pirangi, 19 km² a sub-bacia Mundo Novo e a área da sub-bacia Caldeirão é de 0,77 km².

A sub-bacia com características de solo, cobertura vegetal, climatologia que mais se assemelha às da BRS é a sub-bacia Mundo Novo e, por esse motivo, foi escolhida para validação do modelo proposto. A Figura 4.3 mostra a divisão da BRT em sub-bacias e a sua hidrografia principal.

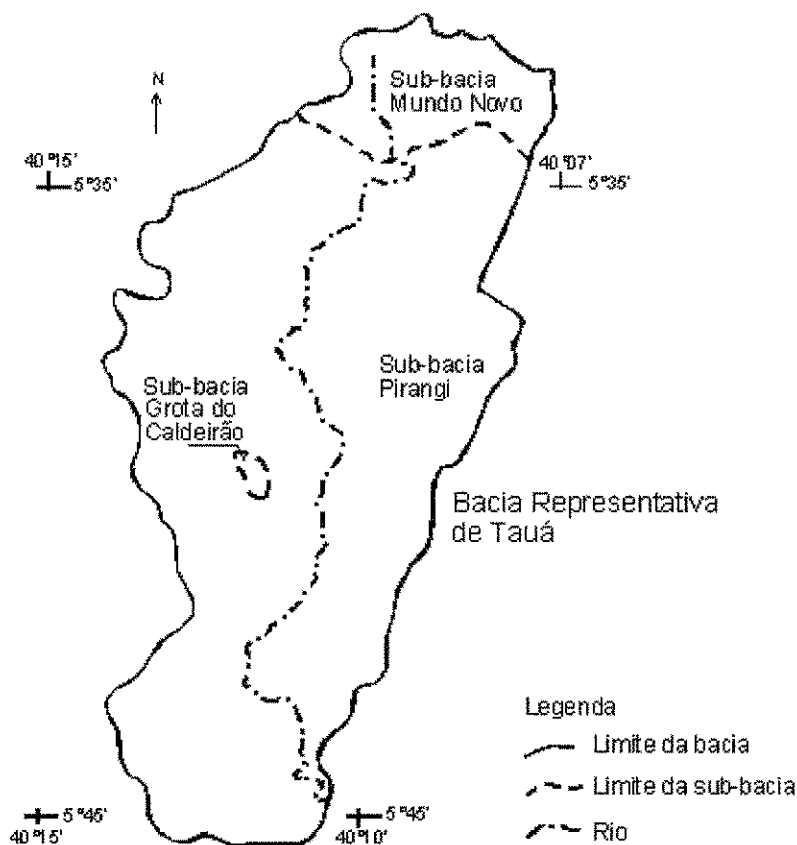


Figura 4.3 – Bacia Representativa de Tauá, sub-bacias e hidrografia principal

4.4.2. Clima

A BRT apresenta fortes características de semi-aridez, com baixos índices pluviométricos, e distribuição de chuvas irregulares no tempo e espaço. A precipitação total média anual é da ordem de 535 mm, concentrando-se nos meses de março e abril. A temperatura média mensal do ar apresenta pouca variação, oscilando em torno de 24,3°C em maio e 27,0°C em janeiro. As médias mensais das temperaturas máximas variam entre 28°C e 32°C. O mês mais quente no período observado foi o janeiro de 1986 (Cavalcante, 1989).

4.4.3. Solos e Cobertura Vegetal

As manchas de solos presentes na sub-bacia Mundo novo são: Solonetz, 20%; Bruno Não Cálculo, 20%, afloramento de rocha e solo Litólico, 10% e Planossolo, 50%.

A vegetação predominante é a caatinga, composta por espécies xerófilas, das quais algumas são cactáceas. Em alguns locais da bacia, a vegetação encontra-se

conservada, como nos açudes Chico e Açudinho. Encontra-se degradada a muito degradada na sub-bacia Caldeirão e açude Luzimar. As culturas comuns na região são milho, feijão e algodão (Cavalcante, 1989).

4.5. Parâmetros Gerais Utilizados para Simulações na BRT

4.5.1. Profundidade do Solo

A profundidade do solo na BRT também varia entre 0,0 e 1,0 m, apresentando-se em um ou dois horizontes, dependendo da localização. O tipo de solo da sub-bacia Mundo Novo, constitui-se de uma associação de solos semelhantes aos da BRS. Com base nisso, foram admitidos dois horizontes de solo com profundidades de 15 cm (para o horizonte A) e de 35 cm (para o horizonte B). Dessa forma, a camada impermeável do solo encontra-se 50 cm abaixo da superfície.

4.5.2. Parâmetros Hidráulicos do Solo

Para a composição da textura do solo da BRT, foram adotados os percentuais de argila (%C) e areia (%S) como sendo 50 % e 15 %, para o horizonte A, e 50 % e 30 %, para o horizonte B.

De acordo com a distribuição dos tipos de solo na BRT, foi realizado um ajuste para os parâmetros C e D do MODFIPE (Eq. 3.15), segundo a localização de cada plano em relação ao tipo de solo. Os valores obtidos para C e D , da curva de capacidade de infiltração foram 101,9 e 0,4484, respectivamente.

4.5.3. Evapotranspiração

Para o cálculo da evapotranspiração, os dados de evaporação observada, temperatura, umidade relativa e velocidade do vento estão apresentados nas Tabelas 4.10 a 4.13. Estes dados são dos anos de 1980 e 1981, na estação de Moquém.

Tabela 4.10 – Evaporação média mensal (Moquém, 1980-1981)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Evp (mm/mês)	289,0	265,0	213,0	238,0	227,0	254,0
Mês	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Evp (mm/mês)	291,0	302,0	324,0	355,0	364,0	327,0

Tabela 4.11 – Temperatura média mensal (Moquém, 1980-1981)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Temperatura °C	27,2	26,4	26,0	24,4	25,1	25,2
Mês	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temperatura °C	25,1	25,7	26,7	27,8	28,2	27,4

Tabela 4.12 – Umidade relativa média mensal (Moquém, 1980-1981)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Umidade Relativa (%)	56,0	60,0	68,0	69,0	56,0	47,0
Mês	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Umidade Relativa (%)	42,0	42,0	42,0	46,0	56,0	51,0

Tabela 4.13 – Velocidade média mensal do vento (Moquém, 1980-1981)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Velocidade do Vento (m/s)	2,12	1,86	1,24	0,94	1,18	1,36
Mês	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Velocidade do Vento (m/s)	1,60	1,70	2,01	2,62	2,34	2,41

4.5.4. Parâmetros de Erosão do Solo

Na BRT não foram realizadas simulações com o modelo de erosão por falta de dados observados para comparação.

4.5.5. Outros Parâmetros

O fator para umidade inicial considerou os mesmos valores usados para BES e BRS, de 0,2473 e 0,3810 para os horizontes A e B, respectivamente. Os valores utilizados para o fator de aprisionamento do ar também são os mesmos utilizados para as bacias anteriores, de 0,91 para o horizonte A e 0,80, para o B.

Para o peso específico da água a 25°C, foi utilizado o valor de 9779 N/m³. Para a viscosidade na mesma temperatura, o valor foi de 8,94 x 10⁻⁷ m²/s.

CAPÍTULO V

5. APLICAÇÃO DO MODELO MODFIPE

Foram realizadas simulações para a bacia experimental de Sumé usando dados das micro-bacias M3 e M4, citados em Cadier e outros (1983). Para desenvolvimento do modelo foram usados os dados da micro-bacia M3 modelada com 4 planos e 4 canais e dados da sub-bacia de Umburana, na BRS, modelada com 13 planos e 4 canais.

Para a bacia representativa de Sumé foram realizadas simulações com dados da sub-bacia de Umburana tomando três eventos isolados de cheias na bacia. Devido à sua proximidade da BES, foram utilizados os mesmos parâmetros do solo, considerando o ensaio de capacidade de infiltração de cada tipo de solo.

Os dados de M3 e M4 foram utilizados na aplicação do MOFIPE por Davi (2004), bem como na calibração de outros modelos tais como o WESP (Aragão, 2000) e o Kineros2 (Lopes, 2003).

Várias configurações de planos e canais foram testadas no processo de desenvolvimento e verificação de consistência dos resultados da propagação do escoamento. Para a micro-bacia M3, testaram-se as configurações com: i) um plano e um canal; ii) quatro planos e quatro canais; e iii) oito planos e quatro canais. Para a sub-bacia de Umburana, modelou-se com: i) um plano e um canal; ii) quatro planos e quatro canais; iii) quatorze planos e oito canais.

Para validação do modelo MODFIPE, foram utilizados os dados das seguintes áreas: micro-bacia M4 da BES modelada com 6 planos e 3 canais e sub-bacia Mundo Novo da bacia representativa de Tauá (BRT) modelada com 21 planos e 6 canais.

Como o MODFIPE foi desenvolvido em dois módulos distintos, fluxo e erosão, os resultados também serão apresentados separadamente. Os dados de erosão serão apresentados apenas para as micro-bacias M3 e M4, pois, das bacias simuladas neste trabalho, apenas estas têm dados observados de erosão.

5.1. Modelagem dos Processos na Bacia Experimental de Sumé

A modelagem dos processos considerou as divisões das bacias experimentais tais como explicado anteriormente, os dados de precipitações, lâminas dos escoamentos e erosões do solo observadas em 1986, bem como a parametrização apresentada no capítulo 4.

Como a micro-bacia M3 tem área de 0,52 ha e as características do solo não variam de forma significativa, foram adotados os mesmos parâmetros de solo para todos os seus elementos (planos). Também devido às dimensões da bacia, os dados de precipitação utilizados foram de apenas um pluviógrafo. A Figura 5.1 mostra a modelagem de planos e canais utilizada. De acordo com a topografia do terreno, cada elemento foi analisado e o sentido de propagação do escoamento verificado.

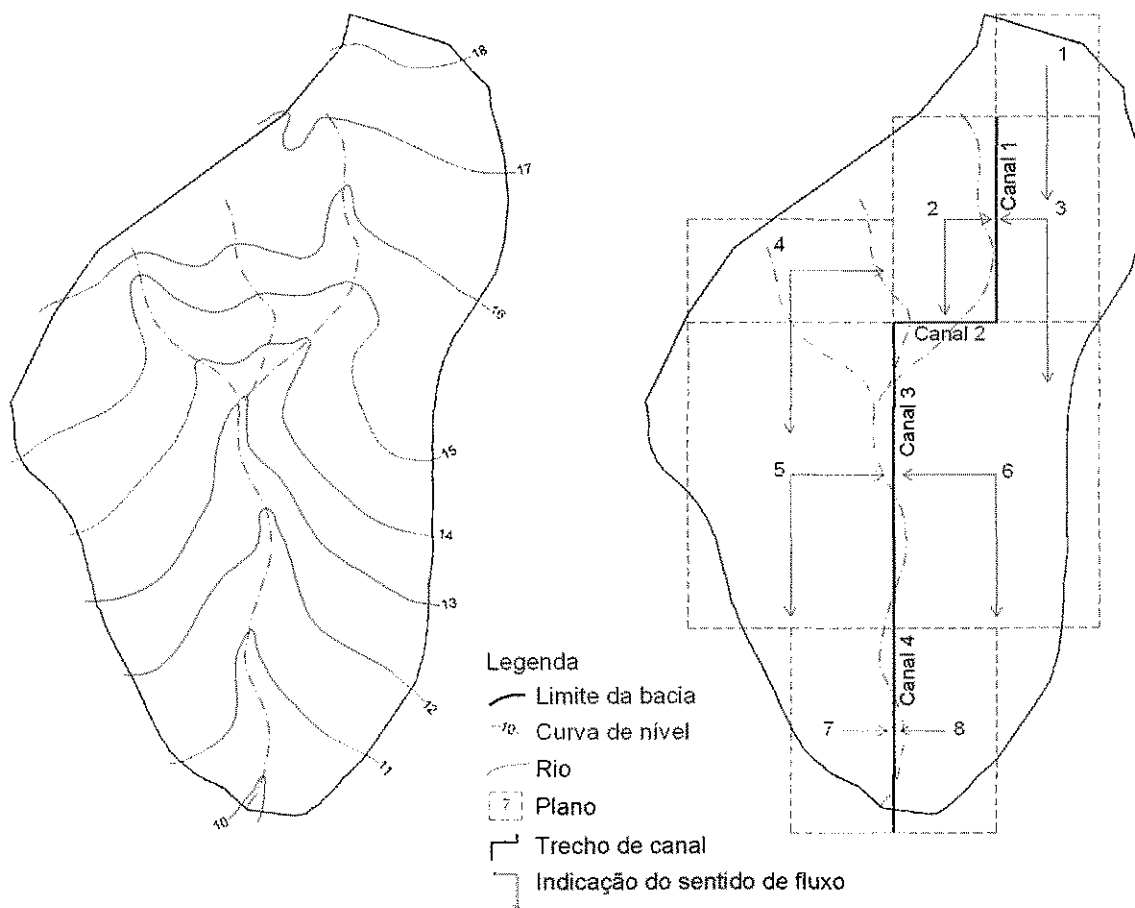


Figura 5.1 – Modelagem da micro-bacia 3

Os dados considerados para a propagação do escoamento nos canais são apresentados na Tabela 5.1. A Tabela 5.2 apresenta as características de cada plano,

como a identificação, as dimensões, as declividades e as direções de propagação do escoamento.

Tabela 5.1 – Dados dos canais da micro-bacia 3 da BES

Canal	Comprimento (km)	Coefficiente de Manning	Declividade (m/m)
1	0,030	0,035	0,0667
2	0,015	0,035	0,0333
3	0,045	0,035	0,0777
4	0,030	0,035	0,0333

Tabela 5.2 – Dados dos planos da modelagem da micro-bacia 3 da BES

Plano	Largura (km)	Comprimento (km)	Direção		Declividade (m/m)	
			X	Y	X	Y
1	0,015	0,015	-	Plano 3	0,0667	0,0667
2	0,015	0,030	Canal 1	Canal 2	0,1667	0,0833
3	0,015	0,030	Canal 1	Plano 6	0,1333	0,0667
4	0,030	0,015	Plano 2	Plano 5	0,0600	0,1200
5	0,030	0,045	Canal 3	Plano 7	0,1000	0,0667
6	0,030	0,045	Canal 3	Plano 8	0,1000	0,0667
7	0,015	0,030	Canal 4	-	0,1333	0,0667
8	0,015	0,030	Canal 4	-	0,1333	0,0667

5.1.1. Resultados do Modelo de Fluxo

O modelo simulou dados do ano de 1986, considerado de precipitações em torno da média. Os resultados do modelo de fluxo possibilitam avaliar, ao longo do tempo, o desenvolvimento do perfil de umidade, a tensão capilar do solo, a condutividade hidráulica e o escoamento superficial. O gráfico das lâminas calculadas e observadas é mostrado na Figura 5.2, os valores dessas lâminas são exibidos na Tabela 5.3. Pela avaliação desses dados, nota-se que o modelo apresentou uma tendência de superestimação dos resultados, visto que, dos 29 eventos simulados, 18 superestimaram os valores de lâminas observadas, 9 subestimaram os valores observados e apenas dois tiveram resultados semelhantes aos observados.

Os valores das lâminas totais calculadas em cada evento podem ser avaliados através de hidrogramas que o modelo gera automaticamente para cada evento, e para cada seção dos trechos de rios.

Uma das grandes versatilidades do modelo é a geração automática do hidrograma de cada evento, para a seção final de cada trecho de rio. Os gráficos das Figuras 5.3 a 5.8 apresentam os hidrogramas calculados na micro-bacia M3, nos quais as vazões $Q_{calc,SLI}$

$Q_{calc,S2}$, $Q_{calc,S3}$, $Q_{calc,S4}$ são as vazões calculadas no final de cada uma das quatro seções do rio.

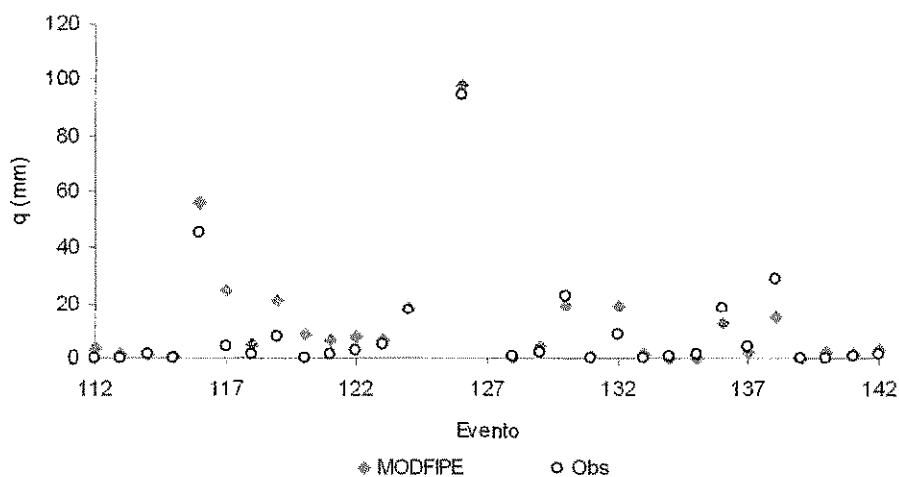


Figura 5.2 – Lâminas observada e calculada na micro-bacia 3

Tabela 5.3 – Lâminas observada e calculada na micro-bacia M3

Evento	Data			Lâminas (mm)	
	Ano	Mês	Dia	MODFIPE	Observada
112	1986	1	2	3,27	0,16
113	1986	2	5	1,27	0,09
114	1986	2	6	1,11	1,68
115	1986	2	7	0,40	0,09
116	1986	2	12	55,84	44,88
117	1986	2	13	24,55	4,58
118	1986	2	26	5,01	1,06
119	1986	2	28	21,15	7,84
120	1986	3	2	8,78	0,31
121	1986	3	3	6,24	1,14
122	1986	3	4	7,82	2,49
123	1986	3	5	6,29	4,97
124	1986	3	8	18,26	17,45
126	1986	3	21	98,12	94,24
128	1986	3	24	0,00	0,59
129	1986	3	30	4,34	2,16
130	1986	4	7	18,90	22,64
132	1986	4	9	19,20	8,6
133	1986	4	13	1,70	0,18
135	1986	4	15	0,24	1,35
136	1986	4	21	12,77	18,35
137	1986	4	22	2,09	4,22
138	1986	4	30	14,80	28,81
139	1986	5	6	0,21	0,18
141	1986	7	16	1,31	0,47
142	1986	7	20	2,73	1,25
Total				285,43	265,34

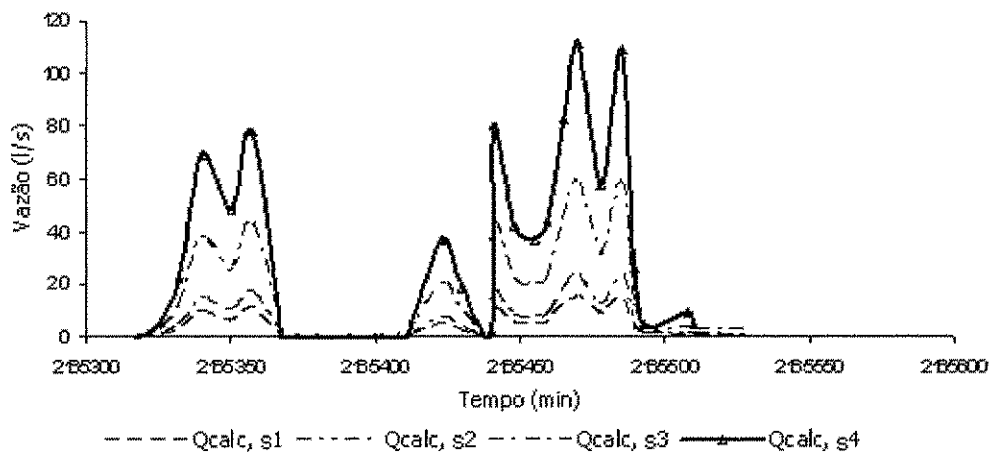


Figura 5.3 – Hidrograma calculado nas seções 1 a 4 do rio, para o evento 116

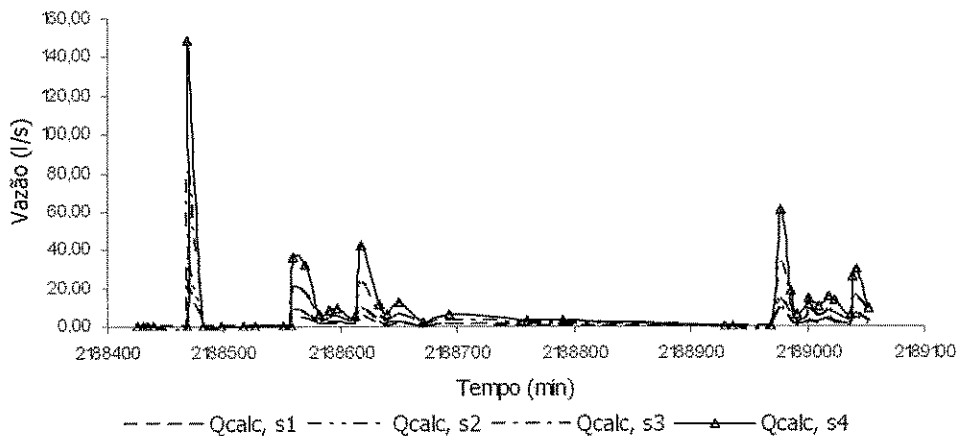


Figura 5.4 – Hidrograma calculado nas seções 1 a 4 do rio, para o evento 119

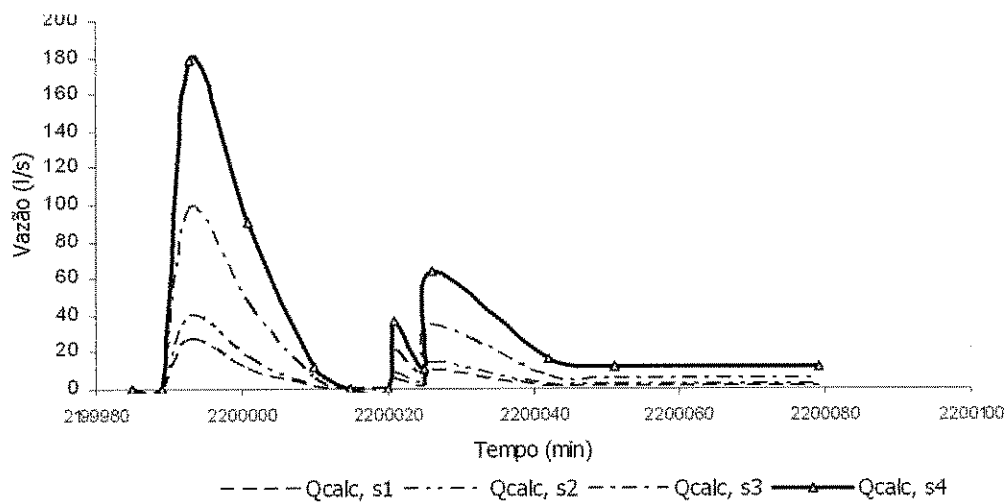


Figura 5.5 – Hidrograma calculado nas seções 1 a 4 do rio, para o evento 124

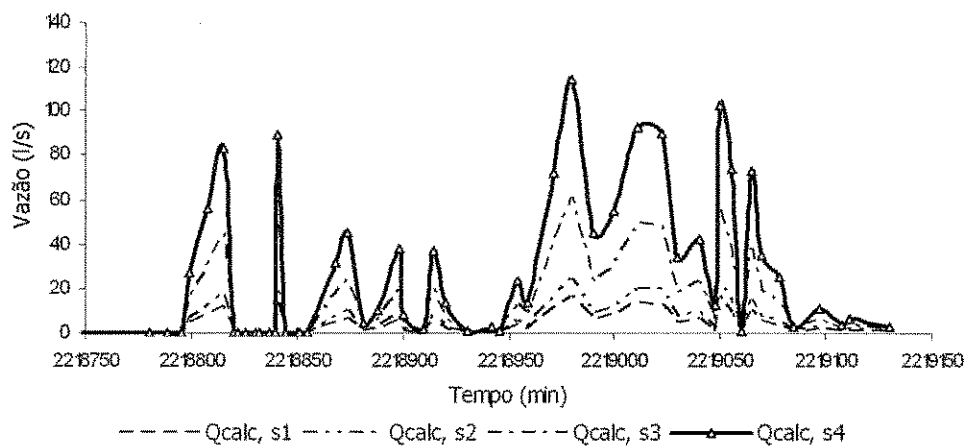


Figura 5.6 – Hidrograma calculado nas seções 1 a 4 do rio, para o evento 126

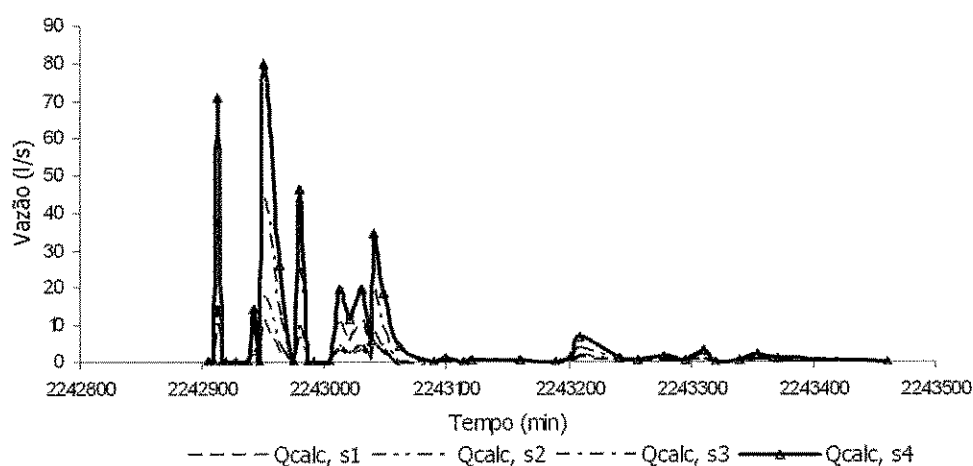


Figura 5.7 – Hidrograma calculado nas seções 1 a 4 do rio, para o evento 130

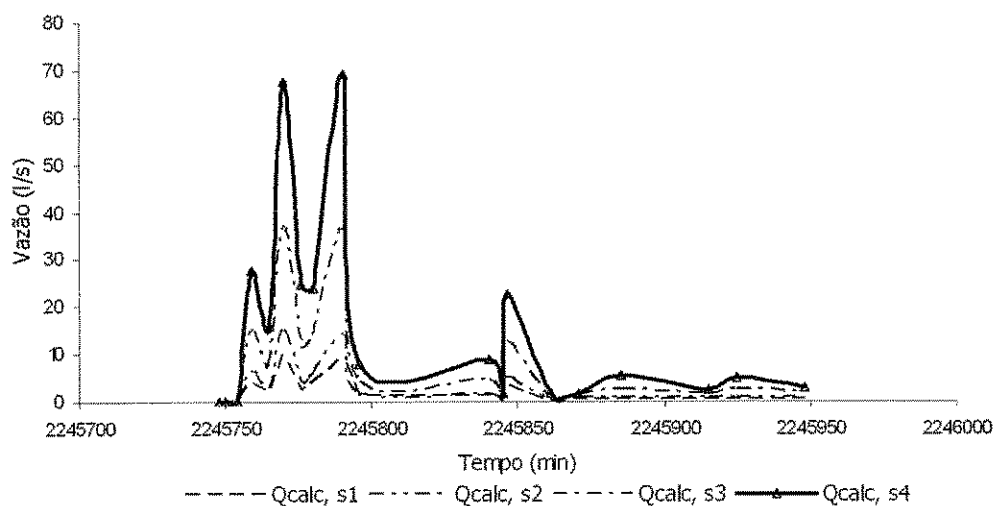


Figura 5.8 – Hidrograma calculado nas seções 1 a 4 do rio, para o evento 132

Os gráficos das Figuras 5.9 a 5.14 apresentam os hidrogramas calculado e observado, na última seção do rio principal da micro-bacia M3 (BES).

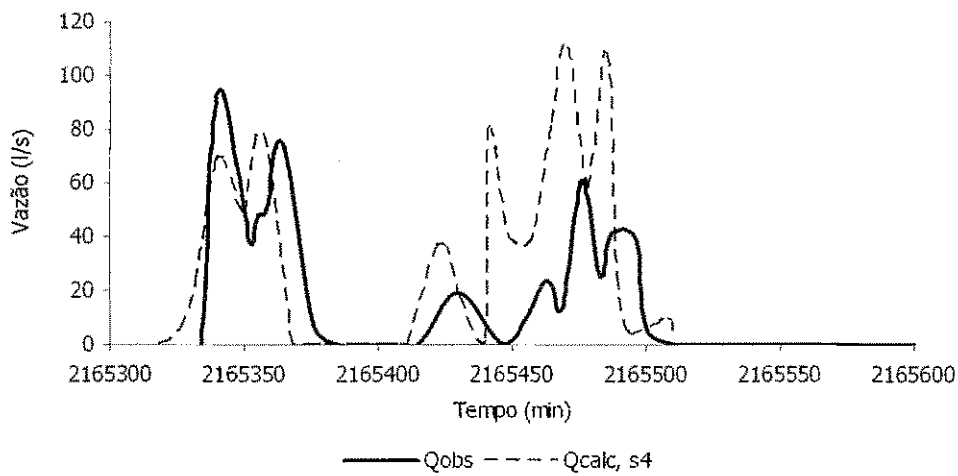


Figura 5.9 – Hidrogramas calculado e observado na última seção do canal (evento 116)

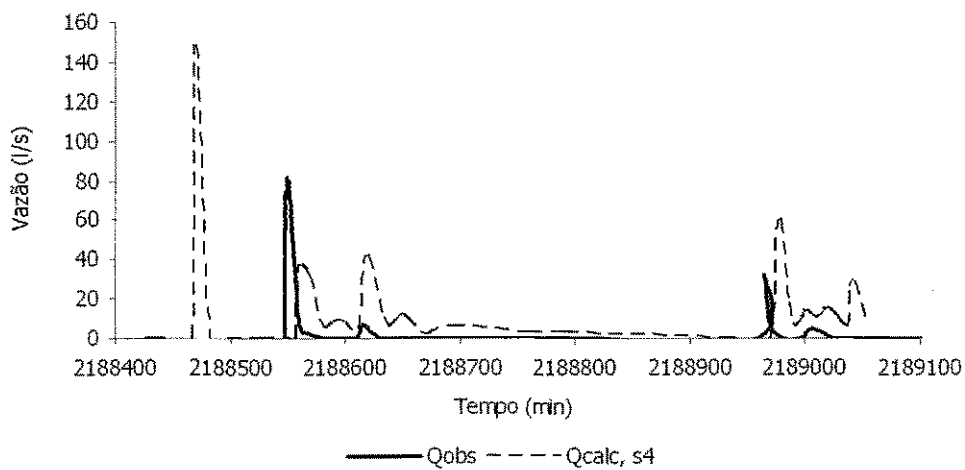


Figura 5.10 – Hidrogramas calculado e observado na última seção do canal (evento 119)

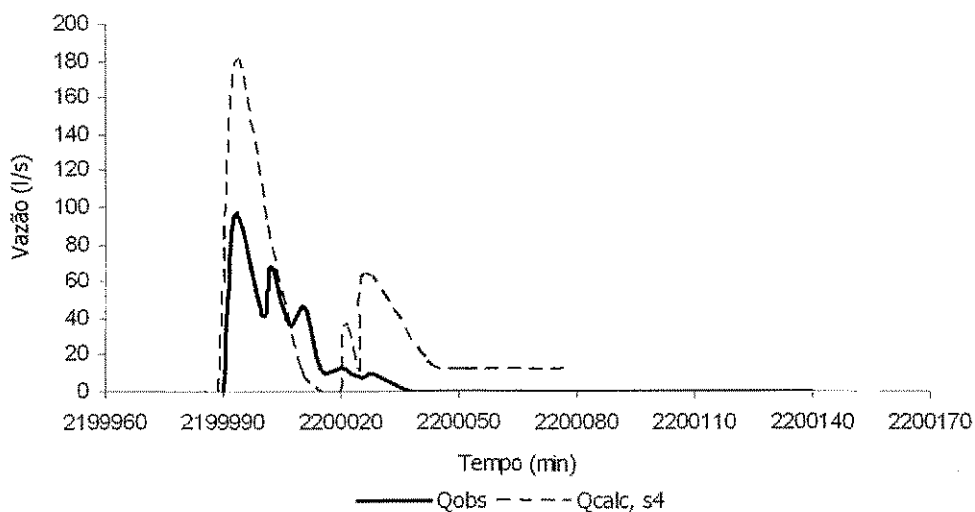


Figura 5.11 – Hidrogramas calculado e observado na última seção do canal (evento 124)

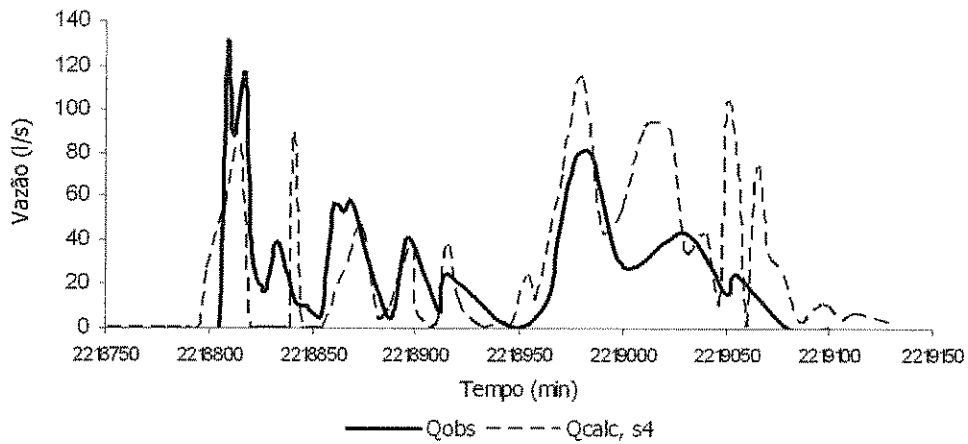


Figura 5.12 – Hidrogramas calculado e observado na última seção do canal (evento 126)

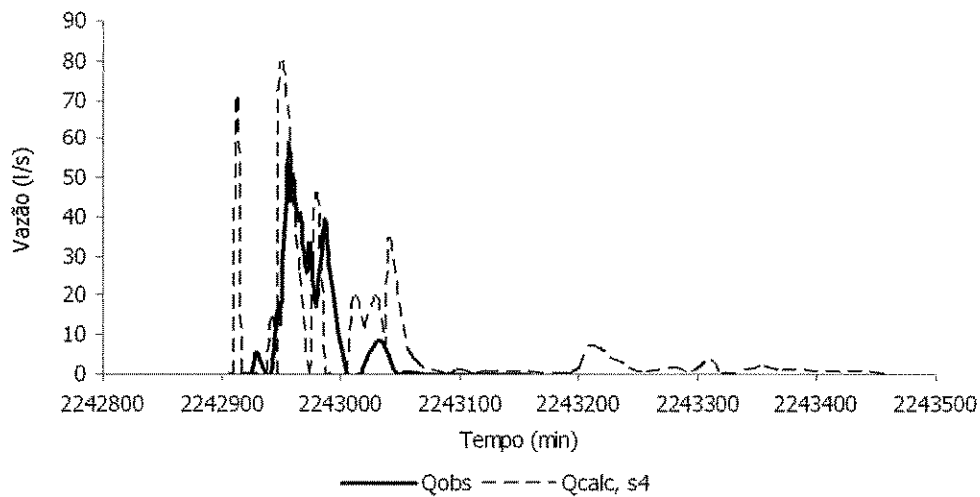


Figura 5.13 – Hidrogramas calculado e observado na última seção do canal (evento 130)

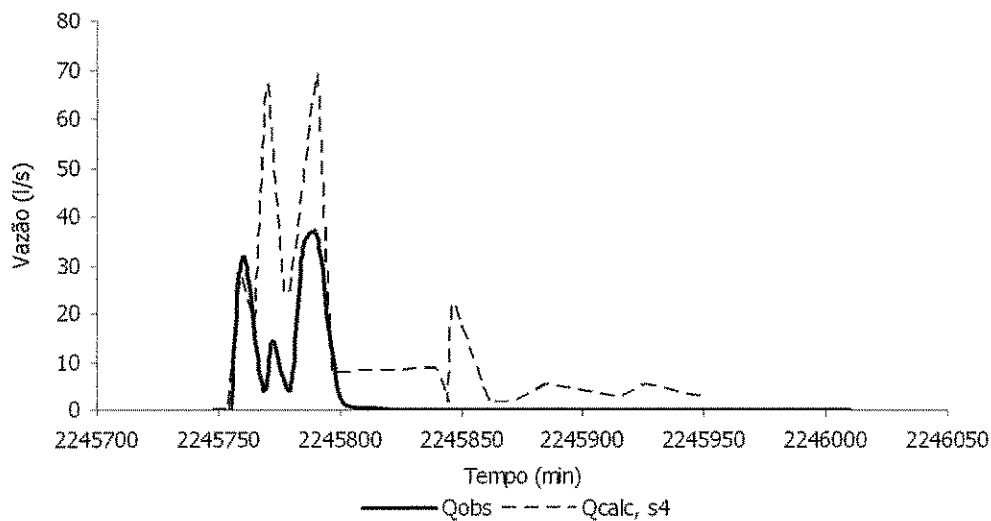


Figura 5.14 – Hidrogramas calculado e observado na última seção do canal (evento 132)

Os gráficos das figuras 5.15 a 5.18 apresentam o comportamento de algumas variáveis que dependem diretamente da umidade e que influem diretamente na componente do escoamento superficial, onde a umidade do solo é maior que umidade de saturação. Os valores dessas variáveis foram obtidos a partir dos cálculos do modelo. Para o perfil de umidade do solo foram utilizados tempos antes, durante e após o evento de precipitação. Os tempos utilizados foram T1, T5, T10 e T20 antes do evento, T30 durante e T64 após o evento.

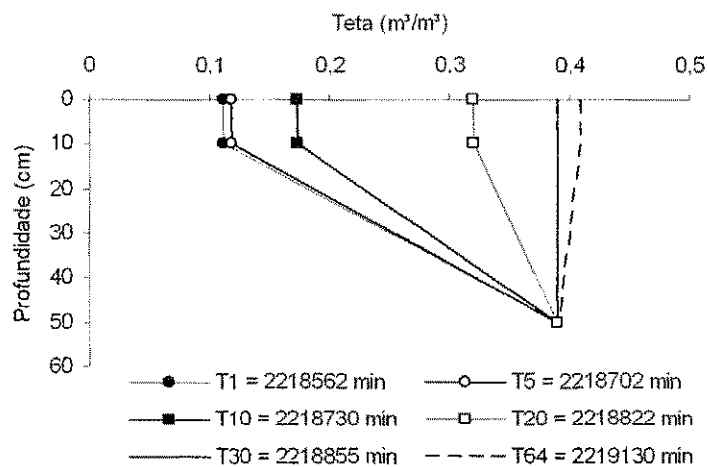


Figura 5.15 – Gráfico do perfil de umidade do solo versus umidade do solo (evento 126)

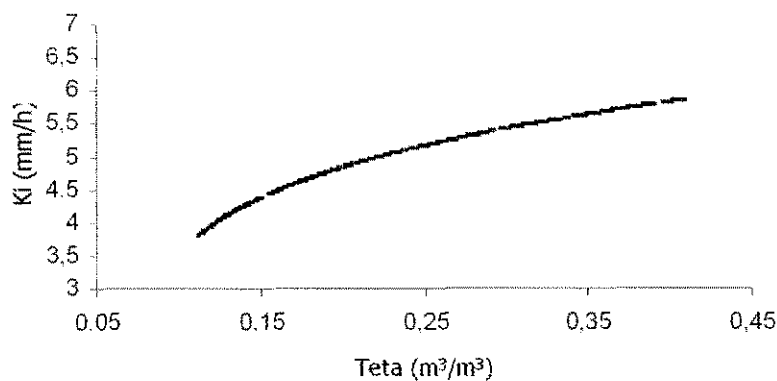


Figura 5.16 – Gráfico da condutividade hidráulica versus umidade do solo

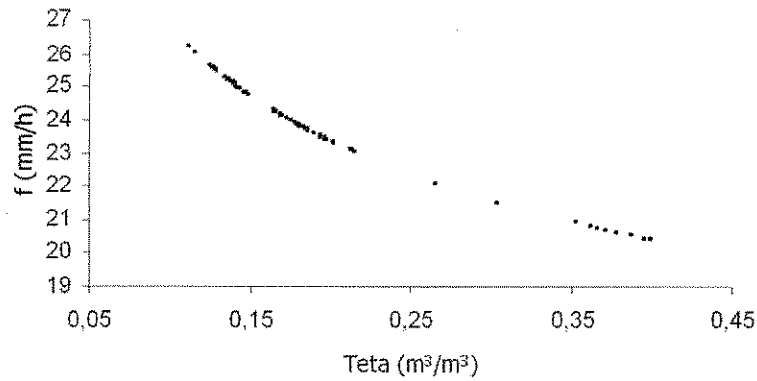


Figura 5.17 – Gráfico da capacidade de infiltração versus umidade do solo

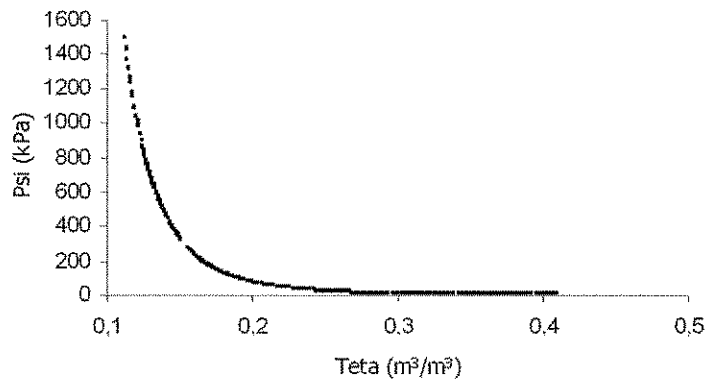


Figura 5.18 – Gráfico da tensão capilar versus umidade do solo (horizonte A)

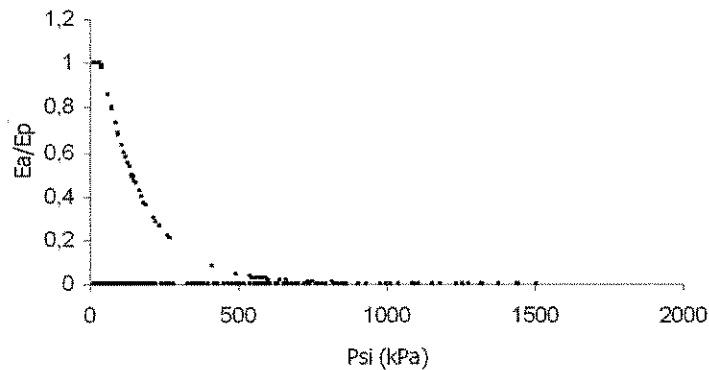


Figura 5.19 – Gráfico da relação Evapotranspiração (Real/Potencial) versus tensão capilar do solo

5.1.2. Resultados do Modelo de Erosão

Na Tabela 5.4 são apresentados os resultados da erosão calculada e observada, para o ano de 1986, na micro-bacia M3. Alguns eventos apresentados na Tabela 5.3 não estão presentes na Tabela 5.4, devido à ausência de dados observados de erosão.

A simulação de todos os eventos de erosão ocorreu de forma contínua, seguindo os intervalos de tempo usados na simulação do fluxo.

O cálculo da erosão sofreu grande influência da erosão causada pelo fluxo. O fluxo aumenta a cada seção final do trecho de rio por consequência da propagação do escoamento, na qual foi considerada a largura média do rio igual 1,0 m. Na Tabela 5.4, na coluna Erosão Total, o termo $E_{total,disp}$ corresponde à erosão total disponível para transporte; E_{obs} corresponde à erosão observada. Na coluna Sedimentos Transportados, são apresentados os sedimentos transportados já deduzidos da deposição.

Tabela 5.4 – Erosão calculada e observada na micro-bacia M3.

Evento	Ano	Mês	Dia	Erosão Total (kg/ha)		Sedimentos Transportados (kg/ha)		
				$E_{total,disp}$	E_{obs}	$E_{Engelung-Hansen}$	E_{Yalin}	$E_{Laursen}$
113	1986	2	5	617	279,0	558,9	8,3	558,9
114	1986	2	6	417	210,0	182,3	12,4	382,6
115	1986	2	7	213	57,0	183,8	0,0	193,8
116	1986	2	12	7.418	6.557	5.307,3	2.978,8	6.818,1
117	1986	2	13	1.303	1.317	603,6	9,3	599,8
118	1986	2	26	2.392	279	1.557,4	72,6	1.703,9
119	1986	2	28	3.513	1.102	2.646,5	436,3	2.588,5
120	1986	3	2	1.020	64	766,3	20,4	766,3
121	1986	3	3	204	132	0	0	0
122	1986	3	4	1.345	309	1.058,5	109,9	161,3
123	1986	3	5	1.120	420	816,8	144,7	916,8
124	1986	3	8	2.601	1.117	2.323,2	893,4	2.063,5
126	1986	3	21	11.224	12.501	9.750,6	6.446,4	10.818,8
131	1986	4	8	303	11	113,9	0,5	209,4
132	1986	4	9	2.215	2.479	1.882,4	511,2	2.193,3
133	1986	4	13	2.001	257	774,5	2	1.030,4
134	1986	4	14	0	51	0	0	0
135	1986	4	15	580	126	106,1	0	579,4
136	1986	4	21	2.346	6.003	2.182,8	644,6	1.806,1
137	1986	4	22	640	660	552,4	89,4	514,6
139	1986	5	6	960	29	165,7	0	273,4
141	1986	7	16	921	42	800,5	22,7	806,3
142	1986	7	20	636	126	166,8	0	396,4
Total				43.989	34.128	32.500,2	12.403	35.381,6

5.2. Modelagem dos Processos na Bacia Representativa de Sumé

A parametrização do modelo para a modelagem do escoamento e erosão do solo na BRS foi apresentada no capítulo 4. Além disso, para considerar o efeito da distribuição

das características do solo nas áreas foi realizada uma calibragem dos parâmetros C e D da capacidade de infiltração dos solos na bacia que foi modelada com 14 planos e 8 canais, sendo a saída (exutório) da bacia no canal 1 da Figura 5.20, de acordo com a porcentagem de área de cada tipo de solo presente nos planos definidos para a sub-bacia.

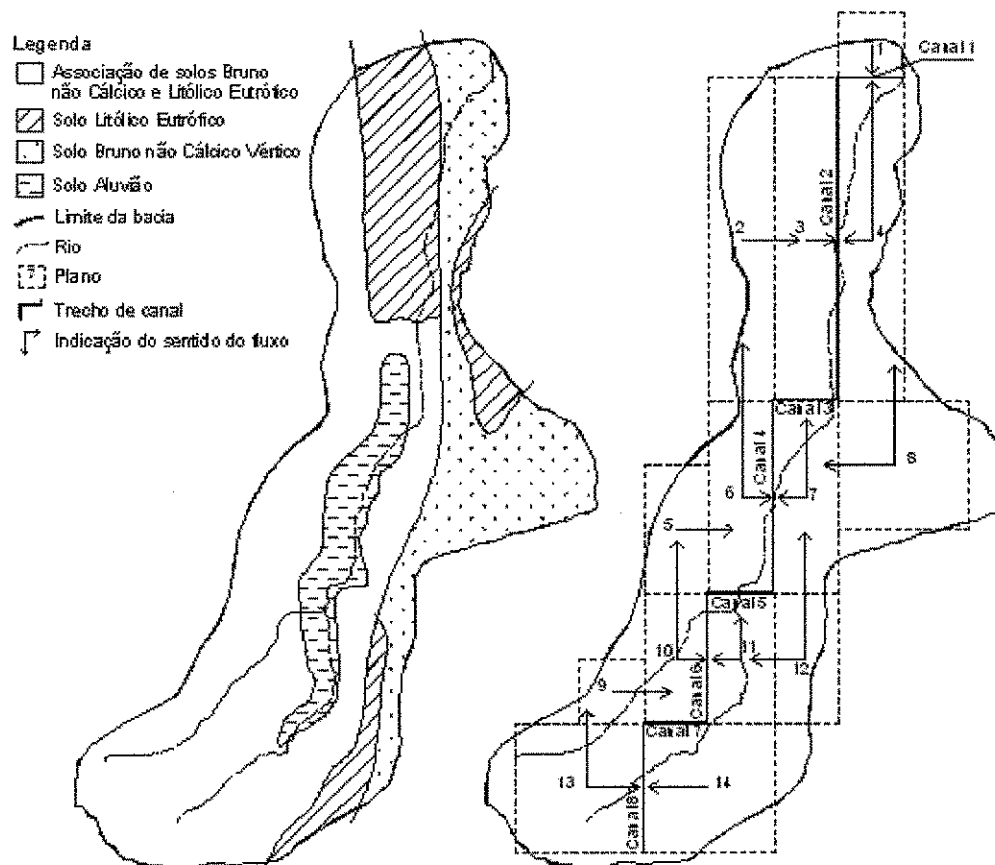


Figura 5.20 – Modelagem da sub-bacia de Umburana

Os parâmetros C e D foram ajustados com base na lâmina infiltrada em cada plano, considerada como sendo a soma dos produtos entre capacidade de infiltração do tipo de solo e sua porcentagem no referido plano. A Tabela 5.5 apresenta os valores obtidos para cada ajuste. Também foi realizada uma simulação utilizando os mesmos valores de C e D usados para BES, sem considerar variação por plano.

Tabela 5.5 – Parâmetros *C* e *D* (Eq. 3.15) ajustados para a sub-bacia de Umburana

Plano	% do Tipo de Solo				Parâmetros	
	I ^(a)	II ^(b)	III ^(c)	IV ^(d)	<i>C</i>	<i>D</i>
1	-	100	-	-	17,5	0,540
2	100	-	-	-	24,5	0,435
3	15	-	75	10	70,9	0,185
4	5	80	15	-	21,0	0,445
5	100	-	-	-	24,5	0,435
6	50	-	-	50	249,0	0,195
7	50	20	-	30	160,0	0,250
8	5	85	10	-	20,0	0,510
9	100	-	-	-	24,5	0,435
10	100	-	-	-	24,5	0,435
11	50	-	-	50	236,0	0,190
12	5	70	25	-	38,0	0,500
13	100	-	-	-	24,5	0,435
14	70	-	30	-	27,5	0,384

(a) – Associação de solos Bruno Não-Cálcico e Litólico Eutrófico; (b) – Solo Bruno Não-Cálcico Vértico; (c) – Solo Litólico Eutrófico; (d) – Solos Aluviais

Na sub-bacia de Umburana foram realizadas simulações de três eventos isolados, i.e., sem continuidade entre eles. Estes eventos ocorreram em 30 de abril de 1977, 06 e 11 de março de 1978.

No capítulo 4 (item 4.3), foram apresentados os principais parâmetros utilizados nas simulações das bacias representativa e experimental de Sumé. Os parâmetros *C* e *D* da curva de capacidade de infiltração (Equação 3.15) foram ajustados para a BRS de acordo com o tipo de solo em cada elemento da bacia. Em planos com vários tipos de solos, é avaliada a porcentagem de cada tipo de solo. A distribuição dessas porcentagens de solo foi realizada por aproximação; os resultados encontram-se na Tabela 5.5. A Figura 5.20 mostra a modelagem dos planos e canais, e também as manchas de solos que se encontram em cada local da sub-bacia de Umburana.

A Tabela 5.6 apresenta a descrição e valores dos dados de cada plano utilizado na modelagem da sub-bacia de Umburana. A Tabela 5.7 apresenta a modelagem utilizada para os trechos de rios.

Tabela 5.6 – Dados dos planos da modelagem da sub-bacia de Umburana

Plano	Largura (km)	Comprimento (km)	Direção		Declividade (m/m)	
			X	Y	X	Y
1	0,5	0,5	-	Canal 1	0,00625	0,00625
2	0,5	2,5	Plano 3	-	0,03126	0,00625
3	0,5	2,5	Canal 2	-	0,03126	0,00625
4	0,5	2,5	Canal 2	Canal 1	0,03126	0,00625
5	0,5	1,0	Plano 6	-	0,01250	0,00625
6	0,5	1,5	Canal 4	Plano 2	0,01874	0,00625
7	0,5	1,5	Canal 4	Canal 3	0,01874	0,00625
8	1,0	1,0	Plano 7	Plano 4	0,00625	0,00625
9	0,5	0,5	Plano 10	-	0,00625	0,00625
10	0,5	1,0	Canal 6	Plano 5	0,01250	0,00625
11	0,5	1,0	Canal 6	Canal 5	0,01250	0,00625
12	0,5	1,0	Plano 11	Plano 7	0,01250	0,00625
13	1,0	1,0	Canal 8	Plano 9	0,00625	0,00625
14	1,0	1,0	Canal 8	-	0,00625	0,00625

Tabela 5.7 – Dados dos canais da sub-bacia de Umburana

Canal	Comprimento (km)	Coefficiente de Manning	Declividade (m/m)
1	0,50	0,035	0,00625
2	2,50	0,035	0,00625
3	0,50	0,035	0,00625
4	1,50	0,035	0,00625
5	0,50	0,035	0,00625
6	1,00	0,035	0,00625
7	0,50	0,035	0,00625
8	1,00	0,035	0,00625

Foram também realizadas simulações utilizando as Equações 3.20 e 3.21, de Kirpich e Manning, respectivamente, para o cálculo do tempo de concentração do hidrograma na propagação do escoamento.

5.2.1. Resultados do Modelo de Fluxo

O modelo de fluxo foi executado para três eventos (1, 9 e 11) da sub-bacia de Umburana, conforme descrito anteriormente. Em virtude de haver poucos eventos disponíveis, foi possível realizar simulações utilizando os mesmos parâmetros *C* e *D* usados para BES, além dos ajustados para a sub-bacia de Umburana (BRS), para avaliar sua influência nos resultados do modelo.

A execução do modelo de fluxo para os três eventos (1, 9 e 11) descritos anteriormente, considerou tanto os parâmetros *C* e *D* da BES, cujos resultados são

mostrados na Tabela 5.8, como os distribuídos conforme os solos da BRS, mostrados na Tabela 5.8. As Tabelas 5.8 e 5.9 mostram também os resultados conforme a metodologia para o cálculo do tempo de concentração.

Tabela 5.8 – Lâminas calculada (mm) e observada na sub-bacia de Umburana (utilizando *C* e *D* da BES)

Evento	Data			Metodologias de Propagação				Lâminas Observadas (mm)
	Ano	Mês	Dia	Muskingun		Convexo		
				Tempo de Concentração				
				Kirpich	Manning	Kirpich	Manning	
1	1977	4	30	70,44	63,58	89,17	91,57	62,16
9	1978	3	6	2,98	2,08	17,29	14,29	11,41
11	1978	3	11	13,86	8,81	37,86	33,51	6,12

Tabela 5.9 – Lâminas calculada (mm) e observada na sub-bacia de Umburana (utilizando *C* e *D* da BRS)

Evento	Data			Metodologias de Propagação				Lâminas Observadas (mm)
	Ano	Mês	Dia	Muskingun		Convexo		
				Tempo de Concentração				
				Kirpich	Manning	Kirpich	Manning	
1	1977	4	30	65,11	57,49	85,2	86,43	62,16
9	1978	3	6	7,28	4,82	8,64	7,87	11,41
11	1978	3	11	24,41	27,34	25,92	33,20	6,12

Os hidrogramas obtidos para a seção final de cada trecho de rio são apresentados nas Figuras 5.21 a 5.23, dos eventos 1, 9 e 11, respectivamente para a modelagem de 14 planos e 8 trechos de rio. Esses hidrogramas foram calculados considerando os valores de *C* e *D* ajustados para cada tipo de solo da sub-bacia de Umburana, apresentados na Tabela 5.5, utilizando a metodologia de propagação de Muskingun, com o tempo de concentração calculado pela equação de Manning. Essas figuras mostram a evolução da cheia ao longo dos trechos de rios desde a 1ª seção do rio (menor hidrograma) até a 8ª (exutório da bacia).

As Figuras 5.24 a 5.28 apresentam os hidrogramas calculados e observados na seção final do rio, calculados com os parâmetros *C* e *D* da BES, nas modelagens da sub-bacia de Umburana com 1 plano e 1 rio, 4 planos e 4 rios e 14 planos e 8 rios. Nesses hidrogramas, é utilizada a seguinte nomenclatura para identificar as metodologias usadas para calcular cada série de vazão: i) M-M, propagação pelo método de Muskingun e tempo de concentração calculado pela equação de Manning; ii) M-K, propagação pelo método de Muskingun e tempo de concentração calculado pela equação de Kirpich; iii) C-

M, propagação pelo método Convexo e tempo de concentração calculado pela equação de Manning; e iv) C-K, propagação pelo método Convexo e tempo de concentração calculado pela equação de Kirpich. Os melhores resultados podem ser observados no evento 1 para a modelagem de 4 planos e 4 canais.

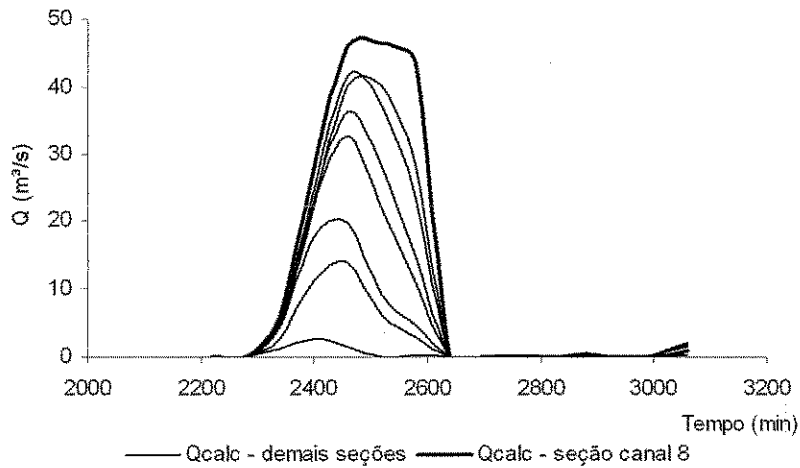


Figura 5.21 – Hidrograma do evento 1 na seção final dos trechos de rio

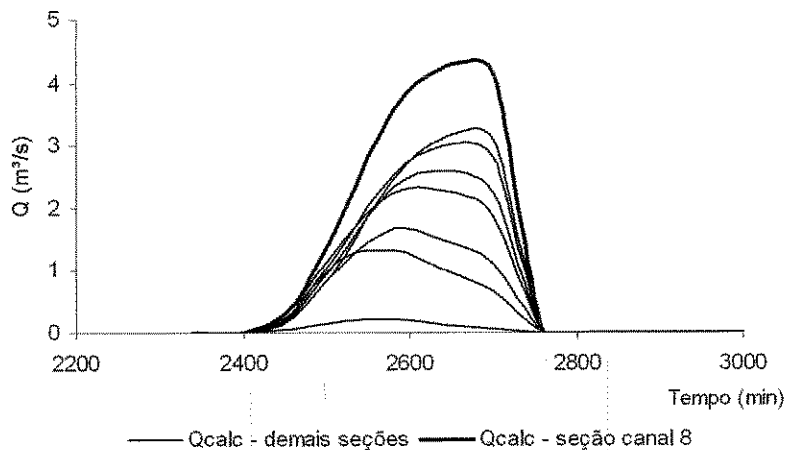


Figura 5.22 – Hidrograma do evento 9 da seção final dos trechos de rios

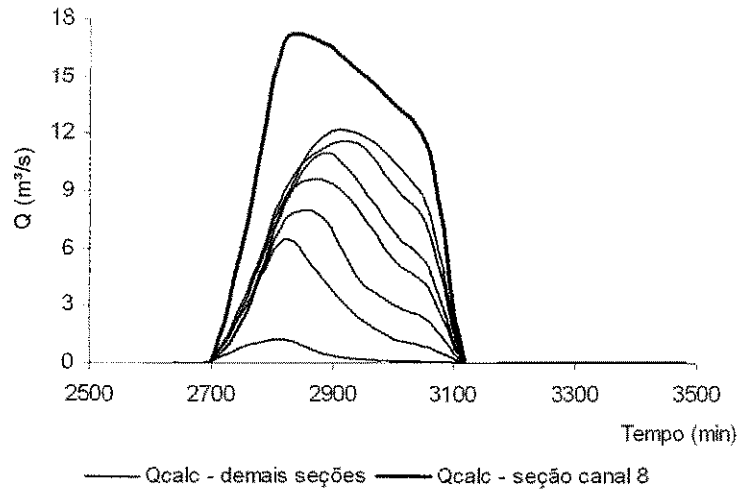


Figura 5.23 – Hidrograma do evento 11 das seção final dos trechos de rios

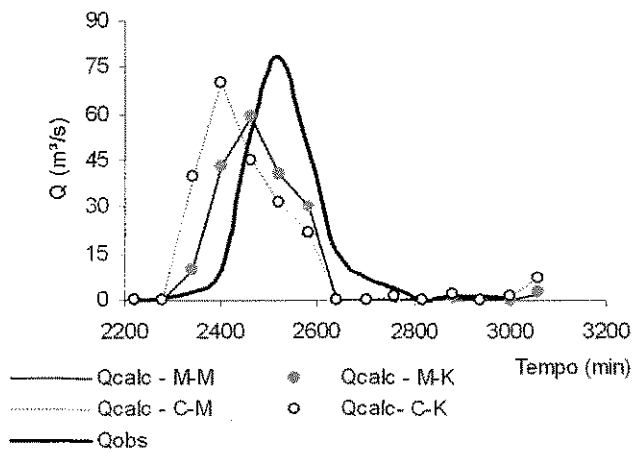


Figura 5.24 – Hidrograma do evento 1 - modelagem de 1 plano e 1 canal

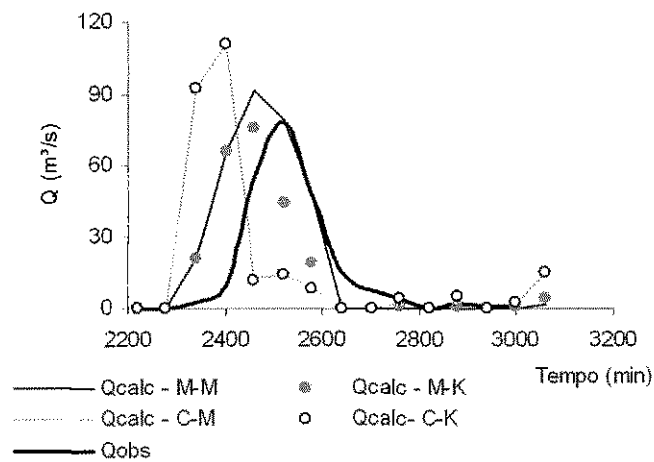


Figura 5.25 – Hidrograma do evento 1 - modelagem de 4 planos e 4 canais

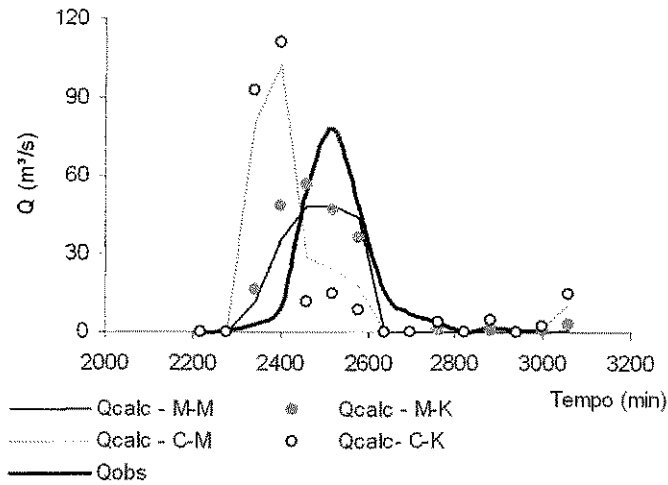


Figura 5.26 - Hidrograma do evento 1 - modelagem de 14 planos e 8 canais

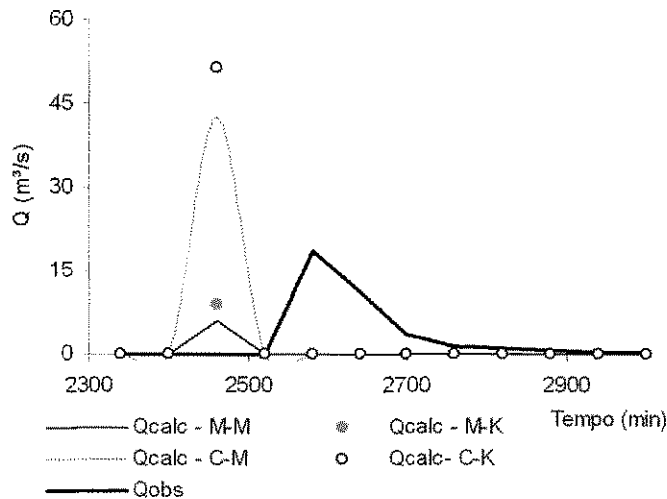


Figura 5.27 – Hidrograma do evento 9 - modelagem de 14 planos e 8 canais

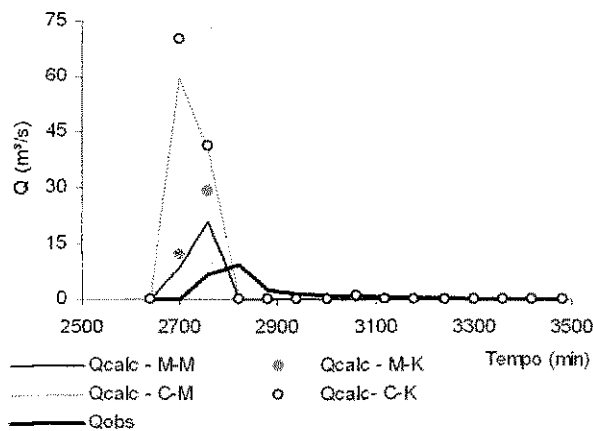


Figura 5.28 – Hidrograma do evento 11 - modelagem de 14 planos e 8 canais

Os hidrogramas calculados utilizando os parâmetros ajustados para a BRS, apresentados na Tabela 5.5, são apresentados nas Figuras 5.29 a 5.31, para os quais foi usada a modelagem de 14 planos e 8 rios.

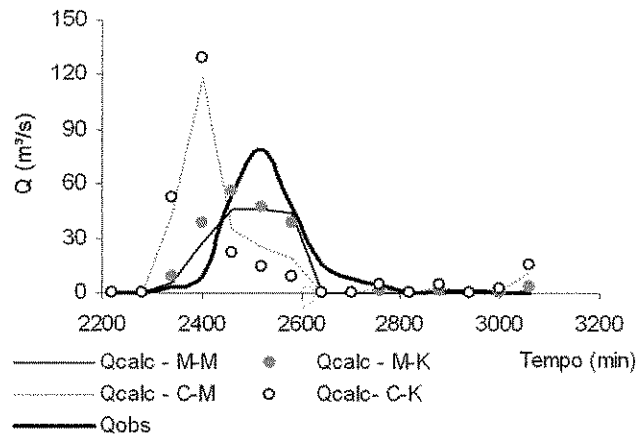


Figura 5.29 - Hidrograma do evento 1 - modelagem de 14 planos e 8 canais

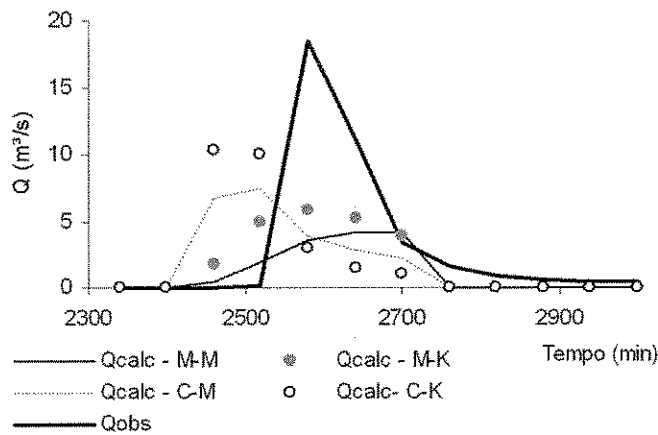


Figura 5.30 - Hidrograma do evento 9 - modelagem de 14 planos e 8 canais

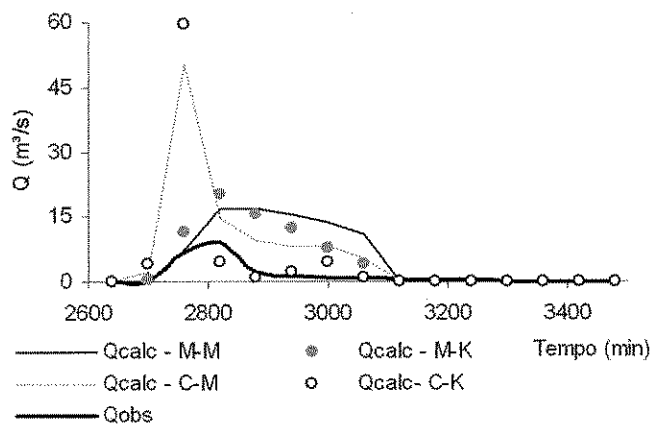


Figura 5.31 - Hidrograma do evento 11 - modelagem de 14 planos e 8 canais

Os gráficos das Figuras 5.32 a 5.35 mostram o comportamento das variáveis do solo que são governadas pela umidade. A Figura 5.32 mostra o comportamento de acordo com a simulação da capacidade de infiltração dos solos presentes em cada plano da BRS, de acordo com a modelagem realizada para a bacia.

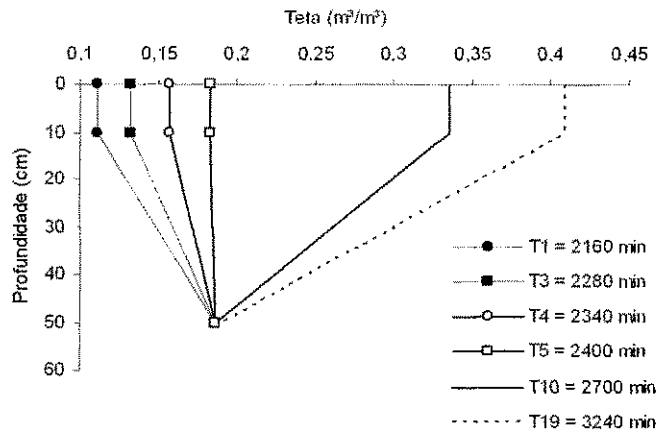


Figura 5.32 – Gráfico do perfil de umidade do solo (durante o evento 1)

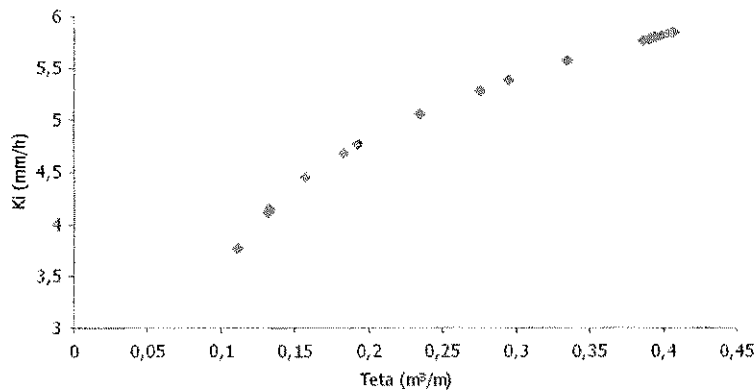


Figura 5.33 – Gráfico da condutividade hidráulica (K_i) versus umidade (Teta) do solo

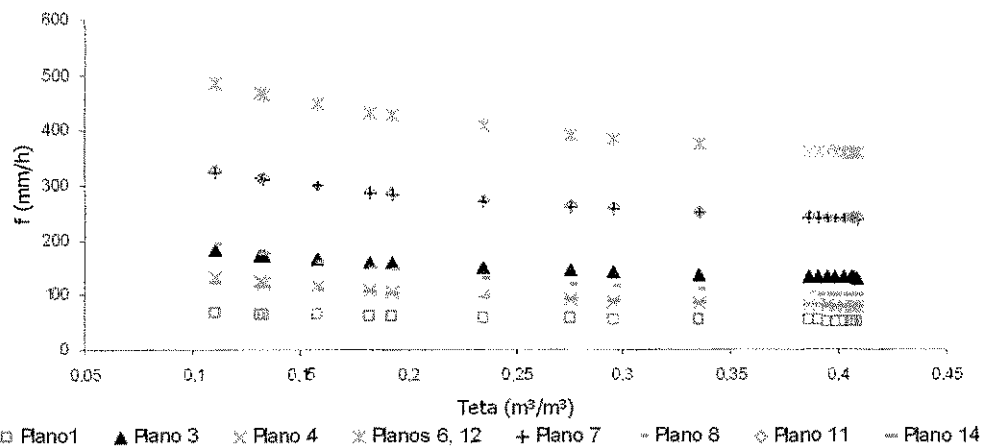


Figura 5.34 – Gráfico da capacidade de infiltração (f) versus umidade (Teta) do solo

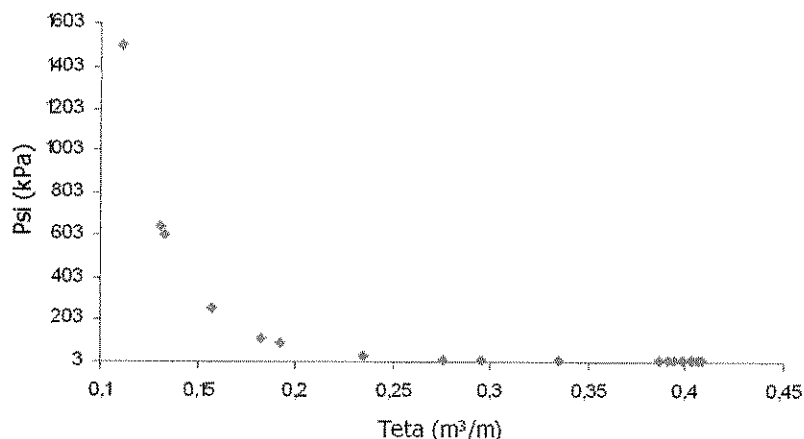


Figura 5.35 – Gráfico da tensão capilar (Psi) versus umidade (Teta) do solo (horizonte A)

5.2.2. Resultados do Modelo de Erosão do Solo

Em virtude de não haver dados de erosão do solo para as sub-bacias da BRS, não foi realizado nenhuma modelagem deste processo para Umburana.

5.3. Validação do Modelo MODFIPE

A validação de um modelo é um processo importante para avaliação da consistência dos resultados finais. Segundo Ewen e Parkin (1996) existem vários métodos de validação de um modelo hidrológico, pode-se citar: i) divisão da amostra de dados, que consiste em dividir a amostra em duas partes, uma para calibração e outra para validação; ii) divisão da amostra diferenciada, que é semelhante à divisão da amostra porém a divisão ocorre em função de uma dada condição (e.g., período seco ou úmido); iii) utilização de uma bacia homogênea ou vizinha, no qual é realizada a calibração dos parâmetros para uma bacia e a validação com os dados de outra bacia de características semelhantes; iv) método da bacia homogênea ou vizinha diferenciada por uma dada condição (e.g., uso do solo, relevo, período seco ou úmido, etc) onde a calibração é realizada para uma condição e verificada com a outra bacia numa condição diferenciada, ou vice-versa. Além desses métodos de validação pode-se ainda comparar os resultados com outros modelos calibrados e validados na mesma região de estudo.

Neste trabalho, os métodos de validação utilizados são o da divisão da amostra e da bacia homogênea ou vizinha, além de efetuar a comparação com resultados de outros modelos.

5.3.1. Validação do Modelo na Micro-Bacia 4 da BES

As simulações realizadas para validação na micro-bacia M4 utilizaram os mesmos dados de chuva (1986) e parâmetros do solo usados para a M3, exceto a declividade, o diâmetro representativo dos sedimentos, as lâminas dos escoamentos e erosões do solo observadas em 1986. Um outro aspecto que diferencia a M4 da M3 é a área total, que é de 0,0048 km². A Figura 5.36 mostra a modelagem dos 6 planos e 3 canais (exutório na saída do canal 3) utilizada para a micro-bacia 4. Os dados de chuva utilizados foram os mesmos utilizados na M3, pois se localizam na mesma área experimental.

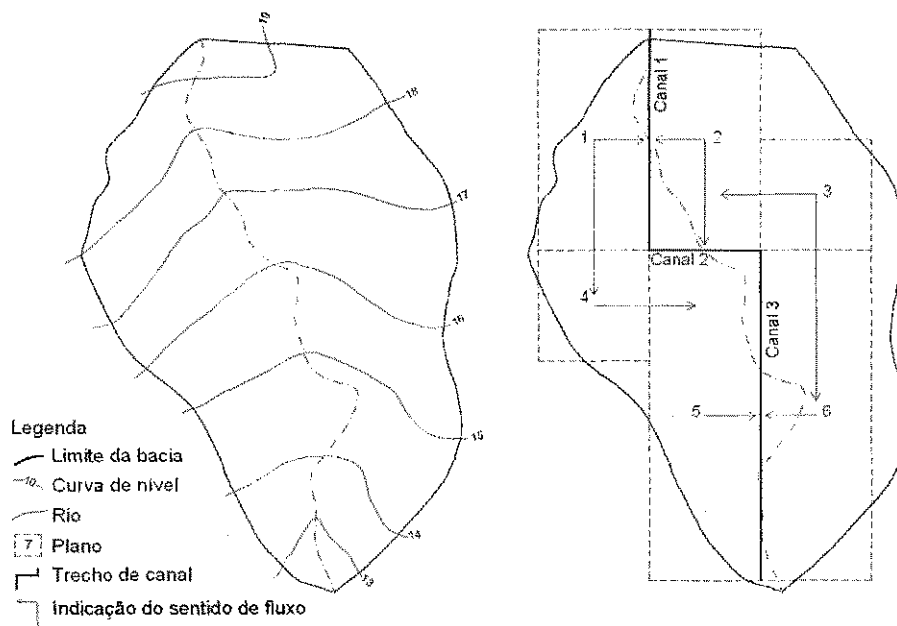


Figura 5.36 – Modelagem da micro-bacia 4

A identificação dos planos e canais usados na modelagem de M4 é apresentada nas Tabelas 5.10 e 5.11, respectivamente.

Tabela 5.10 – Dados dos planos da modelagem da micro-bacia 4 da BES

Plano	Largura (km)	Comprimento (km)	Direção		Declividade (m/m)	
			X	Y	X	Y
1	0,020	0,040	Canal 1	Plano 4	0,200	0,100
2	0,020	0,040	Canal 1	Canal 2	0,140	0,070
3	0,020	0,020	Plano 2	Plano 6	0,110	0,110
4	0,020	0,020	Plano 5	-	0,075	0,075
5	0,020	0,060	Canal 3	-	0,160	0,053
6	0,020	0,060	Canal 3	-	0,125	0,042

Tabela 5.11 – Dados dos canais da micro-bacia 4 da BES

Canal	Largura média (m)	Comprimento (km)	Coefficiente de Manning	Declividade (m/m)
1	1,00	0,040	0,035	0,0450
2	1,00	0,020	0,035	0,0100
3	1,00	0,060	0,035	0,0633

O gráfico das lâminas totais, calculada e observada de cada evento simulado para a micro-bacia M4, é apresentado na Figura 5.37. Os valores totais dessas lâminas são mostrados na Tabela 5.12.

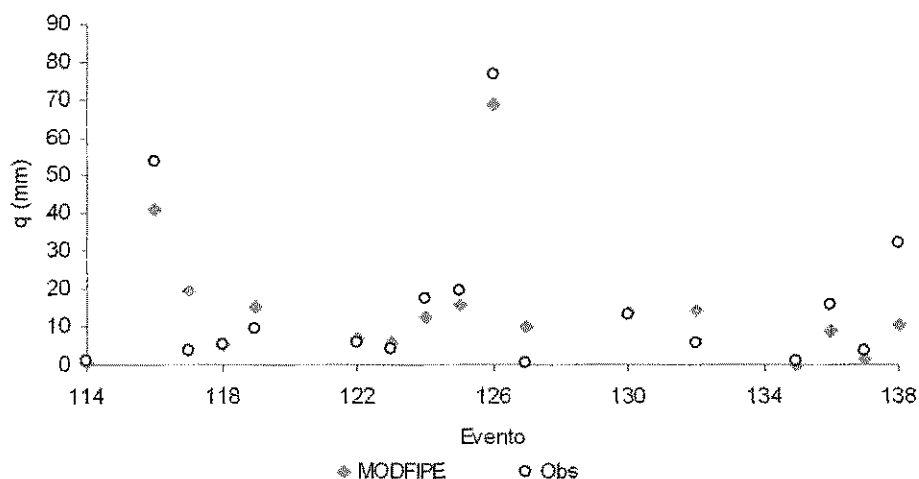


Figura 5.37 – Gráfico das lâminas observada e calculada na micro-bacia 4

Tabela 5.12 – Lâminas observada e calculada (M4)

Evento	Data			Lâminas (mm)	
	Ano	Mês	Dia	q _{Modifipe}	q _{Observada}
114	1986	2	6	0,74	1,03
116	1986	2	12	40,84	53,80
117	1986	2	13	19,37	3,47
118	1986	2	26	5,18	5,31
119	1986	3	1	15,19	9,71
122	1986	3	4	6,73	5,58
123	1986	3	5	5,88	4,01
124	1986	3	28	12,78	17,60
125	1986	3	13	16,03	19,70
126	1986	3	21	69,09	76,60
127	1986	3	22	10,22	0,73
130	1986	3	7	13,69	13,40
132	1986	4	9	14,45	5,64
135	1986	4	15	0,16	0,94
136	1986	4	21	8,70	15,80
137	1986	4	22	1,40	3,45
138	1986	4	30	10,44	31,91
Total				250,88	268,68

Os valores da erosão total disponível calculada e capacidade de transporte são apresentados na Tabela 5.13. A capacidade de transporte foi calculada por cada uma das três metodologias citadas.

Tabela 5.13 – Erosão calculada e observada (M4)

Evento	Ano	Mês	Dia	Erosão Total (kg/ha)		Sedimento Transportado (kg/ha)		
				E _{total,disp.}	E _{obs}	E _{Engelung Hansen}	E _{Yalin}	E _{Laursen}
114	1986	2	6	352,4	275	213,0	11,3	206,3
116	1986	2	12	6.427,4	7.168	5.280,1	2.879,5	6.818,4
117	1986	2	13	2.196,8	1.077	1.253,3	513,2	1.193,8
118	1986	2	26	937,0	286	735,2	89,8	728,9
119	1986	3	1	1.907,0	909	1.058,5	108,9	1.016,8
122	1986	3	4	1.375,4	338	1.316,8	134,7	1.161,3
123	1986	3	5	855,2	295	782,6	8,3	781,3
124	1986	3	8	2.096,5	1.127	1.490,4	303,4	1.389,3
125	1986	3	13	2.418,9	4.417	1.875,1	501,2	1.873,1
126	1986	3	21	10.094,2	2.780	9.750,6	6.352,4	9.228,2
130	1986	4	7	1.792,8	263	787,5	40,3	778,4
132	1986	4	9	1.832,4	559	1.325,8	185,4	328,5
136	1986	4	21	2.072,2	2.678	1.317,2	399,2	1.317,1
137	1986	4	22	392,5	302	329,3	7,3	139,2
Total				34.750,7	22.474	27.515,4	11.534,9	26.960,6

Aragão (2000) e Lopes (2003) realizaram experimentos com os modelos Wesp e Kineros2 na BES. Comparações entre os resultados das lâminas obtidas com estes modelos e com o MOFIPE (Davi, 2004) e o MODFIPE, são apresentados no Gráfico da Figura 5.38 e Tabela 5.14. Os resultados da comparação da erosão se encontram na Tabela 5.15.

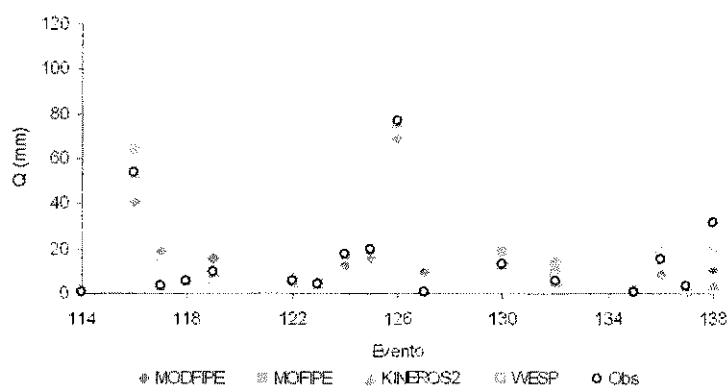


Figura 5.38 – Comparação das lâminas calculadas na sub-bacia M4 com outros modelos

Os resultados obtidos por Lopes (2003) foram através de calibração de parâmetros, enquanto os resultados obtidos por Aragão (2000) foram por validação, utilizando valores médios dos parâmetros calibrados na micro-bacia 3.

Tabela 5.14 – Comparação das lâminas totais calculadas em M4 com outros modelos

Evento	Data			Lâminas (mm)				
	Ano	Mês	Dia	q _{Modfipe}	q _{Mofipe}	q _{Kineros2}	q _{Wesp}	q _{obs}
114	1986	2	6	0,74	1,08	1,03	1,71	1,03
116	1986	2	12	40,84	63,39	53,90	-	53,80
117	1986	2	13	19,37	14,58	3,42	4,58	3,47
118	1986	2	26	5,18	4,51	5,32	-	5,31
119	1986	3	1	15,19	6,34	9,76	-	9,71
122	1986	3	4	6,73	6,08	5,59	-	5,58
123	1986	3	5	5,88	3,54	4,02	5,05	4,01
124	1986	3	28	12,78	17,01	17,70	-	17,60
125	1986	3	13	16,03	22,4	19,50	-	19,70
126	1986	3	21	69,09	105,53	76,20	-	76,60
127	1986	3	22	10,22	0	-	-	0,73
130	1986	3	7	13,69	18,63	13,70	-	13,40
132	1986	4	9	14,45	11,74	5,65	8,69	5,64
135	1986	4	15	0,16	0	-	1,36	0,94
136	1986	4	21	8,70	12,52	15,90	18,54	15,80
137	1986	4	22	1,40	1,7	3,46	0,09	3,45
138	1986	4	30	10,44	19,23	4,37	-	31,91
Total				250,88	308,28	239,52	40,02	268,68

Tabela 5.15 - Comparação da erosão total calculada em M4 com os resultados de outros modelos

Cheia	Data			Erosão (Kg/ha)				
	Ano	Mês	Dia	EC _{Modfipe}	EC _{Mofipe}	EC _{Kineros2}	EC _{Wesp}	E _{Obs}
114	1986	2	6	352,4	385,0	274,0	190,0	275,0
116	1986	2	12	6.427,4	6.160,0	7.150,0	-	7.168,0
117	1986	2	13	2.196,8	2.420,0	1.085,0	1.113,0	1.077,0
118	1986	2	26	937,0	2.329,0	285,0	-	286,0
119	1986	3	1	1.907,0	1.724,0	909,0	-	909,0
122	1986	3	4	1.375,4	1.297,0	339,0	46,0	338,0
123	1986	3	5	855,2	9.49,0	292,0	-	295,0
124	1986	3	28	2.096,5	2.299,0	1.131,0	-	1.127,0
125	1986	3	13	2.418,9	3.971,0	4.417,0	-	4.417,0
126	1986	3	21	10.094,2	9.698,0	2.776,0	-	2.780,0
130	1986	3	7	1.792,8	2.810,0	26,0	-	263,0
132	1986	4	9	1.832,4	1.741,0	560,0	-	559,0
136	1986	4	21	2.072,2	2.152,0	2.692,0	2.089,0	2.678,0
137	1986	4	22	392,5	502,0	302,0	3.500,0	302,0
Total				34.750,5	38.436,0	22.475,0	6.938,0	22.474,0

5.3.2. Validação na Sub-Bacia Mundo Novo da BRT

Os detalhes e a identificação dos 21 planos e 6 canais modelados para a sub-bacia Mundo Novo (Figura 5.39) são apresentados nas Tabelas 5.16 e 5.17.

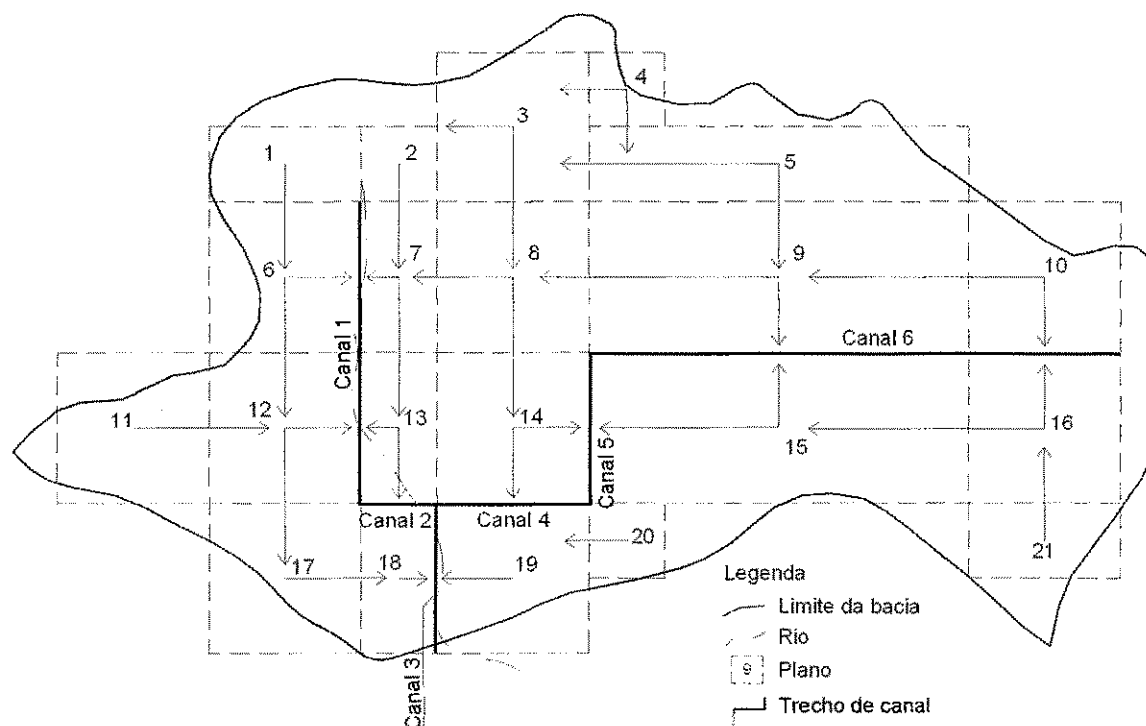


Figura 5.39 – Modelagem da sub-bacia Mundo Novo, da BRT

Tabela 5.16 – Dados dos planos da modelagem da sub-bacia Mundo Novo da BRT

Plano	Largura (km)	Comprimento (km)	Direção		Declividade (m/m)	
			X	Y	X	Y
1	1,0	0,5	-	Plano 6	0,0018	0,00362
2	0,5	0,5	-	Plano 7	0,0036	0,00362
3	1,0	1,0	Plano 2	Plano 8	0,0036	0,00362
4	0,5	0,5	Plano 3	Plano 5	0,0036	0,00362
5	2,5	0,5	Plano 3	Plano 9	0,0007	0,00362
6	1,0	1,0	Canal 1	Plano 12	0,0036	0,00362
7	1,0	0,5	Canal 1	Plano 13	0,0072	0,00362
8	1,0	1,0	Plano 7	Plano 14	0,0036	0,00362
9	2,5	1,0	Plano 8	Canal 5	0,0014	0,00362
10	1,0	1,0	Plano 9	Canal 4	0,0036	0,00362
11	1,0	1,0	Plano 12	-	0,0036	0,00362
12	1,0	1,0	Canal 2	Plano 17	0,0036	0,00362
13	0,5	1,0	Canal 2	Canal 3	0,0072	0,00362
14	1,0	1,0	Canal 6	Canal 7	0,0036	0,00362
15	2,5	1,0	Canal 6	Canal 5	0,0014	0,00362
16	1,0	1,0	Plano 15	Canal 4	0,0036	0,00362
17	1,0	1,0	Plano 18	-	0,0036	0,00362
18	0,5	1,0	Canal 8	-	0,0072	0,00362
19	1,0	1,0	Canal 8	-	0,0036	0,00362
20	0,5	0,5	Plano 19	-	0,0036	0,00362
21	1,0	0,5	-	Plano 16	0,0018	0,00362

Tabela 5.17 – Dados dos canais da sub-bacia Mundo Novo da BRT

Canal	Largura média (m)	Comprimento (km)	Coefficiente de Manning	Declividade (m/m)
1	20,0	2,0	0,035	0,00362
2	20,0	0,5	0,035	0,00362
3	20,0	1,0	0,035	0,00362
4	20,0	1,0	0,035	0,00362
5	20,0	1,0	0,035	0,00362
6	20,0	3,5	0,035	0,00362

A Tabela 5.18 apresenta as lâminas calculadas para a sub-bacia Mundo Novo para os dois eventos contínuos simulados. Os hidrogramas obtidos para a seção final de cada trecho de rio, desde a 1ª seção (canal 1) até o exutório na 6ª seção (canal 3) são apresentados nas Figuras 5.40 e 5.41, eventos 24 e 25, respectivamente.

Tabela 5.18 – Lâminas calculada e observada para os três eventos de Mundo Novo

Evento	Data			Metodologias de Propagação				Lâminas Observadas (mm)
	Ano	Mês	Dia	Muskingun		Convexo		
				Tempo de Concentração				
				Kirpich	Manning	Kirpich	Manning	
24	1985	3	24	33,94	15,63	76,34	64,81	9,21
25	1985	3	27	16,58	5,18	27,06	17,43	17,76

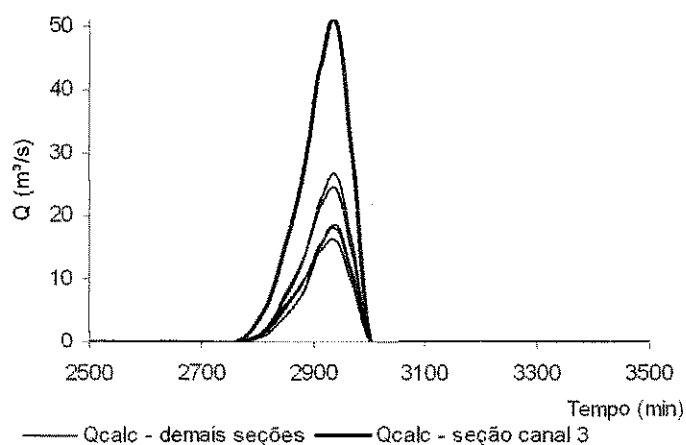


Figura 5.40 – Hidrograma do evento 24 da seção final dos trechos de rios

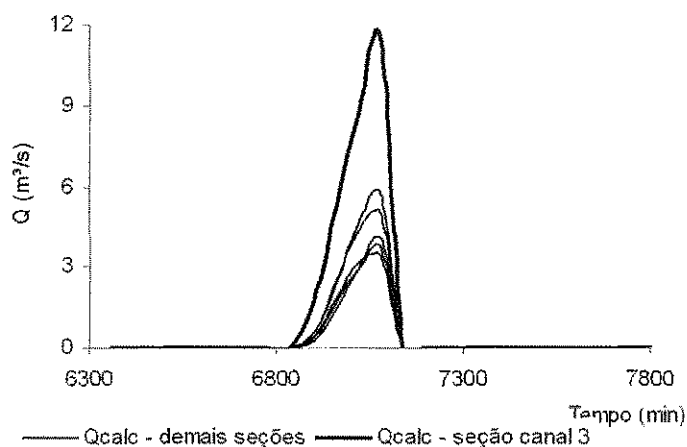


Figura 5.41 – Hidrograma do evento 25 da seção final dos trechos de rios

As Figuras 5.42 e 5.43 apresentam uma comparação dos hidrogramas calculado e observado para os eventos 24 e 25. Esses hidrogramas apresentam resultados da propagação do escoamento pelas metodologias de Muskingun (M) e Convexo (C), com o tempo de concentração calculado por Kirpich (K) - Equação 3.20, e Manning (M) - Equação 3.21.

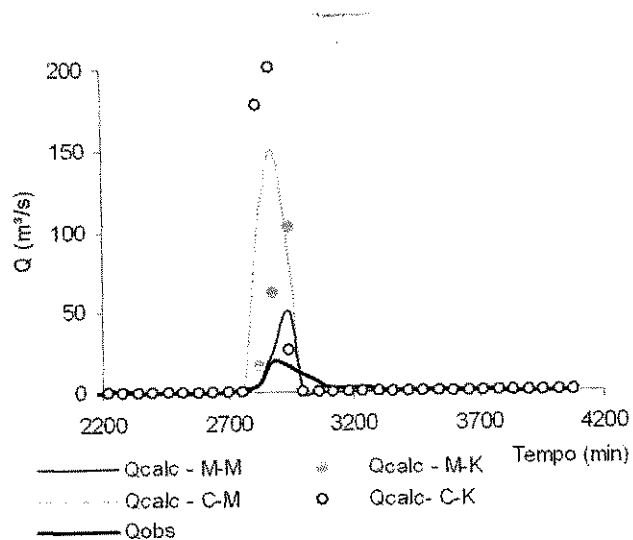


Figura 5.42 – Hidrogramas calculado e observado na última seção do canal (evento 24)

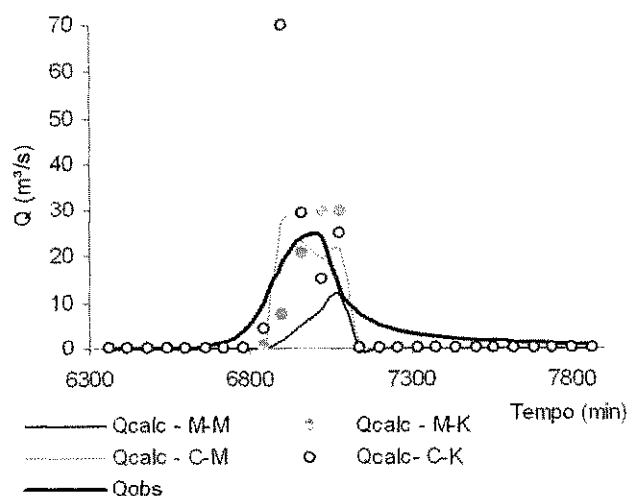


Figura 5.43 – Hidrogramas calculado e observado na última seção do canal (evento 25)

Os gráficos das Figuras 5.44 a 5.46 mostram o comportamento das variáveis do solo que são governadas pela umidade.

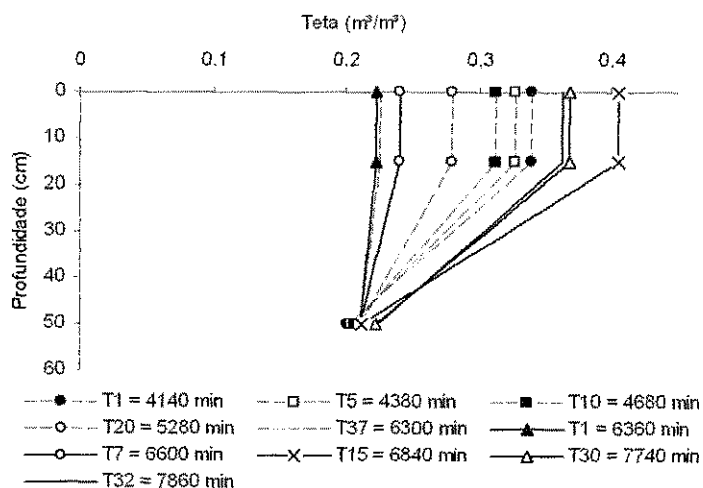


Figura 5.44 – Gráfico do perfil de umidade (Teta) do solo para o evento 25 (as linhas tracejadas representam tempos que antecedem o evento)

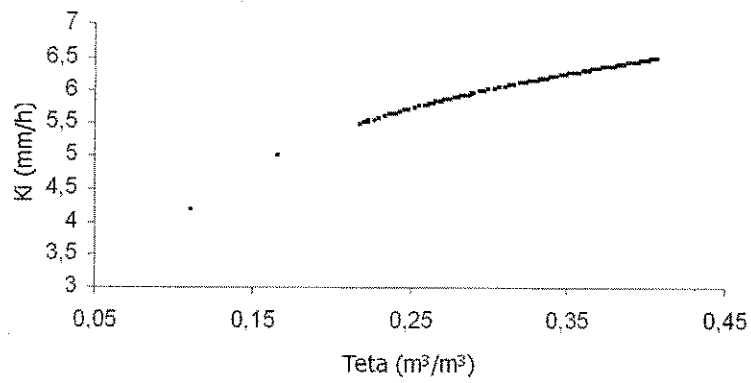


Figura 5.45 – Gráfico da condutividade hidráulica (K_i) versus umidade (Teta) do solo

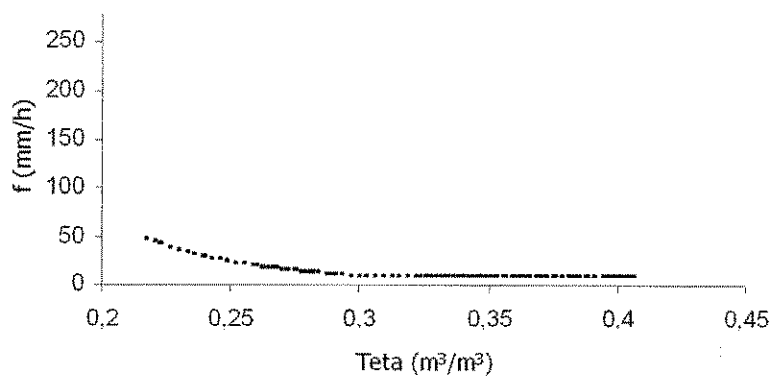


Figura 5.46 – Gráfico da capacidade de infiltração (f) versus umidade (Teta) do solo

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentadas as análises e discussões sobre os resultados obtidos nas simulações realizadas no desenvolvimento e validação do MODFIPE.

Os resultados dos parâmetros hidráulicos do solo foram analisados com base no ajuste da curva de capacidade de infiltração e da umidade. O escoamento foi analisado com base em comparações com dados observados e resultados obtidos por outros modelos, tais como: MOFIPE, Kineros2 e Wesp.

6.1. Análise do Modelo de Fluxo

O modelo de fluxo foi analisado com base na comparação das simulações realizadas nas micro-bacias M3 e M4 da BES e nas sub-bacias de Umburana e Mundo Novo, das bacias representativas de Sumé e Tauá respectivamente.

Analisando as simulações realizadas em M3 e M4, os resultados mostraram-se aceitáveis em termos dos coeficientes de determinação (r^2), os quais variaram de 0,82 a 0,94. Ao analisar o erro relativo entre as lâminas totais calculadas e as observadas, percebe-se que, em alguns eventos, esse erro é consideravelmente alto, variando de 30 a 40 % em alguns eventos, podendo chegar até a 300 % em alguns eventos extremos.

Uma importante análise é a comparação dos resultados do modelo proposto (distribuído) com os resultados do modelo concentrado MOFIPE para avaliar o efeito da propagação do escoamento. Foi possível observar que a consideração da propagação do escoamento nas direções X e Y, influencia diretamente no escoamento final (na saída da bacia), pois as dimensões dos planos (largura e comprimento) determinam o comprimento de propagação que afeta os processos de retenção e translação do escoamento. O efeito de retenção no modelo pode ser evidenciado quando se realiza

simulação em grandes bacias, nas quais o grande comprimento dos trechos de rio faz com que aumente o tempo de concentração do trecho de rio aumentando a retenção do escoamento, como pode ser observado na sub-bacia Mundo Novo, no trecho de rio 6.

Usando o coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (1970)

$$[NSE = 1 - \frac{\sum (X_{\text{calculado}} - X_{\text{observado}})^2}{\sum (X_{\text{observado}} - \bar{X}_{\text{observado}})^2}]$$

para comparar as lâminas calculadas pelo modelo

MODFIPE com as do modelo MOFIPE tomadas como observadas, comprova-se a melhoria obtida pelo uso do modelo distribuído, já que, ao realizar essa comparação para os eventos da micro-bacia M4 da BES, obteve-se um valor de 0,809 para o MOFIPE e de 0,821 para o MODFIPE.

O coeficiente de determinação r^2 obtido da comparação das lâminas calculadas com os dois modelos (Figura 6.1), MODFIPE e MOFIPE, para a micro-bacia M3 e M4 foram 0,9992 e 0,9355, respectivamente. Os valores de r^2 obtidos da comparação das lâminas observadas com as calculadas pelos modelos MODFIPE, Kineros2, Wesp e MOFIPE são mostrados na Tabela 6.1. Os resultados dos modelos Kineros2 e Wesp, por terem sido obtidos por calibração dos parâmetros para cada evento, aproximaram-se mais dos valores das lâminas observadas, com valores do coeficiente de determinação que variaram de 0,89 a 1,00. O gráfico da Figura 6.2 mostra a comparação das lâminas totais calculadas (usando os modelos antes citados) e observadas na sub-bacia M4.

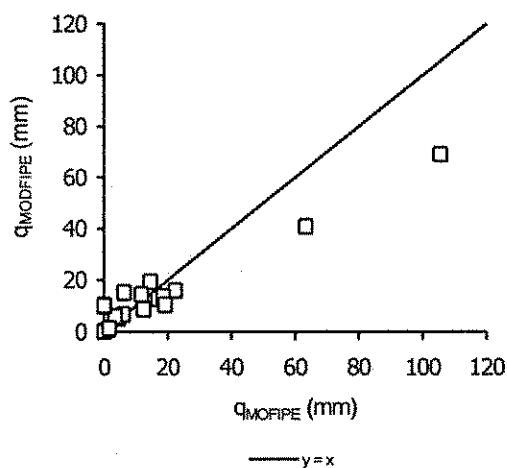


Figura 6.1 – Relação entre as lâminas calculadas pelos modelos MOFIPE e MODFIPE (micro-bacia 4)

Tabela 6.1 – Coeficientes de determinação obtidos com base nos modelos e nos valores observados nas micro-bacias M3 e M4

Local	Modfipe	Mofipe	Kineros2	Wesp
M3	0,94	0,95	0,99	1,0
M4	0,83	0,94	0,89	0,91

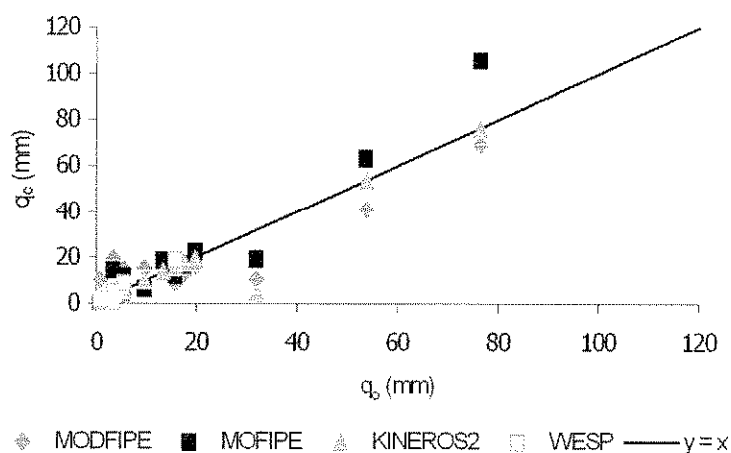


Figura 6.2 – Comparação das lâminas calculadas pelos modelos MODFIPE, MOFIPE, KINEROS2, WESP) e observadas na micro-bacia M4

As simulações nas sub-bacias de Umburana e Mundo Novo, com áreas muito grandes em relação a M3 e M4, apresentaram resultados superestimados para as lâminas calculadas nos eventos nos quais houve picos de intensidade de precipitação em curtos intervalos de tempo. Em eventos com essa característica o MODFIPE não apresenta bons resultados; mesmo assim, foram obtidos resultados satisfatórios para as lâminas calculadas com o tempo de concentração utilizando a equação de Manning.

Davi (2004) observou o mesmo comportamento para o modelo de fluxo concentrado, ou seja, o MOFIPE não apresentou bons resultados nos eventos de grande intensidade de chuva em curtos intervalos de tempo.

Valores mais próximos dos observados, para as lâminas totais da sub-bacia Mundo Novo poderiam ter sido obtidos utilizando parâmetros da própria bacia, pois estes reproduziriam melhor o comportamento hidráulico da bacia.

6.2. Parâmetros Hidráulicos do Solo

A variação nos valores dos parâmetros do solo foi testada por Davi (2004) dentro de uma faixa limite permissível; combinações desses valores podem levar o modelo de fluxo a apresentar resultados mais próximos dos valores observados.

As simulações realizadas na BRS e BRT, com escalas testadas variando de 10 a 20 km², utilizaram praticamente os mesmos valores de parâmetros do solo usados na BES com escala da ordem de 5000 m². A transposição direta desses parâmetros não produziram bons resultados nas bacias maiores, nas quais a modelagem de planos e

canais tem efeitos (e.g., retenção e translação, variabilidade de solos, relevo, etc) nas simulações.

Analisando o perfil de umidade do solo ao longo do tempo, percebe-se que antes e durante os eventos de chuva (Figuras 5.27 e 5.41), o perfil de umidade com a profundidade se comporta como descrito na bibliografia (ver Tucci, 2001), ou seja, com a ocorrência de precipitação o perfil tende a saturação, cessada a precipitação ocorre o inverso, diminuindo o teor de umidade nas camadas superficiais.

Os gráficos da condutividade hidráulica, capacidade de infiltração e tensão capilar do solo em termos da umidade, também se comportaram como descrito na bibliografia (ver Tucci, 2001).

6.3. Análise do Modelo de Erosão do Solo

Para a simulação da erosão total do solo nas micro-bacias M3 e M4, foram obtidos resultados aceitáveis, comparados aos observados e simulados pelo MOFIPE (concentrado). Uma análise mais detalhada de cada evento pode ser feita, observando a influência do tamanho de cada área dos planos nas modelagens das sub-bacias M3 e M4, pois com a influência da propagação do escoamento, o efeito de retenção nessas bacias é muito pequeno influenciando assim a erosão pelo fluxo nesses planos. Outra influência na erosão do solo é a do coeficiente de Manning. As primeiras simulações foram realizadas com o coeficiente de rugosidade de Manning igual a 0,017 para planos e 0,020 para canais e apresentou maiores valores para erosão que as simulações realizadas com n igual e 0,017 para planos e 0,030 para os canais.

A Tabela 6.2 mostra a erosão total calculada (MODFIPE) e observada nas micro-bacias M3 e M4, onde **Ec** é a erosão total calculada pelo modelo e **Eo** a erosão total observada.

Tabela 6.2 - Erosão total nas micro-bacias M3 e M4

Bacia	Ec (kg/ha)	Eo (kg/ha)
M3	43.987,00	34.128,00
M4	34.750,70	22.474,00

O valor obtido para o coeficiente de determinação para a micro-bacia M3 foi considerado razoável, sendo r^2 igual 0,8399. Já para a micro-bacia M4, este coeficiente não apresentou bom resultado, sendo r^2 igual a 0,3938. Essa análise pode ser observada nas Figuras 6.3 e 6.4, para M3 e M4, respectivamente.

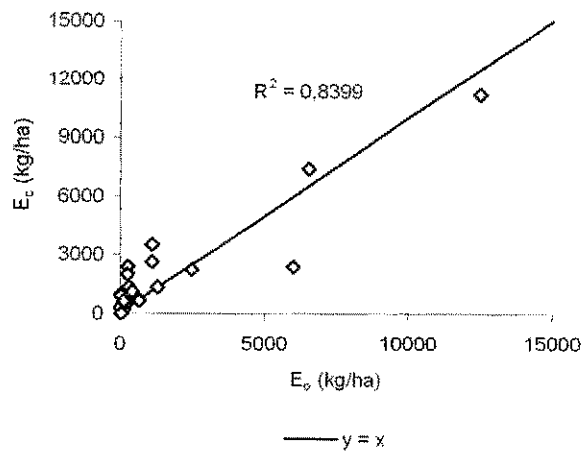


Figura 6.3 – Comparação entre a erosão total calculada (MODFIPE) e observada da micro-bacia M3

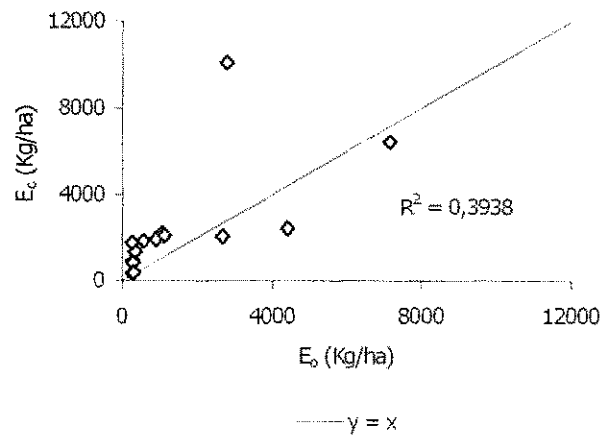


Figura 6.4 - Relação entre a erosão total calculada (MODFIPE) e observada da micro-bacia M4

6.4. Análise Final dos Resultados

De uma forma geral, os parâmetros do solo do MODFIPE poderiam ter sido ajustados e valores para as lâminas totais mais bem simulados. Valores para a umidade inicial nas sub-bacias de Umburana e Mundo Novo, deveriam ter sido obtidos em campo, como também outros parâmetros do solo.

Parâmetros do solo devem ser obtidos na própria bacia de simulação, pois componentes de geração do escoamento do MODFIPE dependem diretamente dos parâmetros das camadas de solo, tais como profundidade de cada camada de solo, porcentagem de argila e areia, umidade inicial, etc.

Simulações em grandes bacias requerem um cuidado especial quanto aos parâmetros do solo, visto que estas possuem vários tipos de solo, profundidades variáveis

para cada tipo de solo, entre outros parâmetros do solo, que devem ser analisados para cada plano no momento da modelagem. Nem todas estas considerações foram realizadas nas duas grandes bacias simuladas.

6.5. Limitações do Modelo Distribuído MODFIPE

O modelo de propagação do MODFIPE foi desenvolvido com base na propagação do escoamento vindo do modelo de fluxo, que por sua vez não considera a existência de reservatórios a montante das seções dos trechos de rios. Nas grandes bacias é comum a existência desses reservatórios, como é o caso de Mundo Movo. Não considerar estes reservatórios implica em propagar todo o escoamento ao longo dos trechos de rios até a seção final.

Uma outra limitação do modelo que pode ser observada na fase de simulações é o tempo de processamento dos cálculos para simulações de grandes bacias ou simulações com uma massa de dados muito grande. Modificações nos processos de cálculo foram realizadas, mas ainda assim, o tempo de processamento para um ano de dados é da ordem de 5 a 10 minutos para modelagens com até 21 planos.

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1. Conclusões

Neste trabalho foi apresentada uma modificação do modelo concentrado de simulação do escoamento e erosão do solo MOFIPE, na qual se buscou verificar, corrigir e fazer modificações em algumas equações no modelo concentrado, além de implementar a fase canal, com a propagação do escoamento e estimação da evapotranspiração realizada com diferentes metodologias, resultando no modelo distribuído MODFIPE

Com o modelo MODFIPE foram realizadas simulações nas bacias experimental e representativa de Sumé no Estado da Paraíba e também, na bacia representativa de Tauá, no Estado do Ceará. Com base nos resultados das simulações realizadas, foi possível concluir que:

- a) os resultados dos processos de escoamento e erosão do solo, simulados de forma contínua, sem calibração e com parâmetros avaliados com base na textura do solo e dados da região, mostraram-se razoáveis quando comparados com os valores observados e calculados por outros modelos;
- b) os escoamentos foram mais bem representados pelo modelo de fluxo do que as cargas de sedimento pelo modelo de erosão do solo;
- c) os resultados obtidos para as lâminas escoadas na micro-bacia M4 mostram-se satisfatórios com os parâmetros do solo transpostos da micro-bacia M3, com variações apenas no relevo e tamanho da bacia;

d) a simulação do escoamento nas sub-bacias apresentou resultados aceitáveis com a transposição dos parâmetros da micro-bacia, os quais melhoraram com a calibração dos parâmetros de infiltração;

e) o efeito da retenção na propagação do escoamento se mostrou notório em grandes bacias, tendo pouca influência nas micro-bacias, com os melhores resultados obtidos com o método de Muskingum e tempo de concentração pelo método de Manning;

f) uma análise da eficiência do modelo pelo método de Nash e Sutcliffe mostrou que o modelo distribuído proposto MODFIPE melhorou os resultados em relação ao modelo concentrado MOFIPE.

7.2. Recomendações

Algumas recomendações são importantes para pesquisas futuras sobre este trabalho, tais como:

- a) Considerar a modelagem do processo de interceptação;
- b) Implementação das equações de Saint-Venant para a propagação do escoamento;
- c) Considerar os escoamentos sub-superficial e subterrâneo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, M.B., BATHURST, J.C., CUNGE, J.A., O'CONNELL, P.E. AND 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. AND 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.

ARAGÃO, R. (2000). Estimativa dos Parâmetros do Modelo WESP com os Dados da Bacia Experimental de Sumé - PB. Dissertação de Mestrado, DEC/CT/UFPB.

BATHURST, J.C. AND 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, pp. 563-594.

BATHURST, J.C., KILSBY, C. AND WHITE, S. (1996). Modelling the Impacts of Climate and Land Use Change on Basin Hydrology and Soil Erosion in Mediterranean Europe. In: C.J. Brandt and J.B.Thornes (editors). *Mediterranean Desertification and Land Use*. John Wiley & Sons, Chichester, UK, pp. 355-387.

BEVEN, K.J. & KIRKBY, M.J. (1976). Toward a simple physically- based variable contributing area of catchment hydrology working paper. Nº 154 School of Geography. Un. Of Leeds UK.

BEVEN, K.J. & KIRKBY, M.J. (1979). Physically-based variable contributing area model of basin hydrology *Hydrol. Sci. Bull.* 24(1) 43-69

BEVEN, K.J. (1995). Chapter 18: TOPMODEL Computer Models of watershed hydrology, V.P. Singh ed. *Water Resources Publications* Littleton, Colo.

FEDDES, R.A., KOWALIK, P., NEUMAN, S.P AND BRESLER, E. (1976). Finite Difference and Finite Element Simulation of Field Water Uptake by Plants. *Hydrol. Sci. Bull.*,21, 81-98.

FIGUEIREDO, E.E. (1998). Scale Effects and Land Use Change Impacts in Sediment Yield Modelling in a Semi-Arid Region of Brazil. PhD Thesis, Dept. of Civil Engineering, University of Newcastle upon Tyne, England. p. 264.

FIGUEIREDO, E.E. & DAVI, H. H. R. C. (2006). MOSESS: a model for soil erosion prediction at small scales. *Sediment Dynamics and the Hydromorphology of Fluvial Systems* (Proceedings of a symposium held in Dundee, UK, July 2006). IAHS Publ. 306, 2006. pp. 556-563.

FOSTER, G. R. (1982). Modeling the erosion process. In: Haan, C. T.; Johnson, H. P. and Brakensiek, D. L., Ed. *Hydrologic modeling of small watersheds*. St. Joseph, American Society Agricultural Engineers, p. 297-380.

GRAYSON, R.B., MOORE, I.D. AND MCMAHON, T.A. (1992a). Physically Based Hydrologic Modeling, 1: A Terrain-Based Model for Investigative Purposes. *Water Res. Res.*, 28(10): 2639-2658.

GRAYSON, R.B., MOORE, I.D. AND MCMAHON, T.A. (1992b). Physically Based Hydrologic Modeling, 2: Is the Concept Realistic? *Water Res. Res.*, 28(10): 2659-2666.

LAURSEN, E.M. (1958). The Total Sediment Load of Streams. *J. of Hydr. Div. ASCE*, 54(HY1). 1-36.

LI, R.M., STEVENS, M.A., AND SIMONS, D.B. (1976). Water and Sediment Routing from Small Watersheds. *Proceedings of the Third Federal Interagency Sedimentation Conference*, U.S. Water Res. Council, pp.193-204.

LOPES, V.L. (1987). A Numerical Model of Watershed and Sediment Yield, Ph.D. Dissertation, University of Arizona.

LOPES, W. T. A. (2003). Efeitos de Escala na Modelagem Hidrossedimentológica na Região Semi-Arida da Paraíba. *Dissertação de Mestrado*, DEC/CTT/UFCG.

LUKEY, B.T., SHEFFIELD, J., BATHURST, J.C., LAVABRE, J., MATHYS, N., AND MARTIN, C. (1995). Simulating the Effect of Vegetation Cover on the Sediment Yield of Mediterranean Catchments Using SHETRAN. *Phys.Chem.Earth*, Vol.20,No.3-4, pp. 427-432.

MCCUEN, R. H. (1982). *A Guide To Hydrologic Analysis Using SCS Methods*. Prentice-Hall, INC, Englewood Cliffs, New Jersey, United States.

MAIDMENT, D.R. (1993). GIS and hydrologic modeling. In: Goodchild, M.F.; Parks, B.O.; Steyaert, L.T.; ed. *Environmental modeling with GIS*. New York, Oxford University Press, Cap. 14, p. 147-167.

MEDEIROS, P. H. A. (2005). Medida e Modelagem da Intercepção em uma Bacia do Semi-Árido. *Dissertação de Mestrado*. UFC/CE, Fortaleza.

MEYER, L. D. & WISCHMEIER, W. H. (1969). Mathematical Simulation of the Process of Soil Erosion by Water. *Trans. of the ASAE* 12(6). 754-758, 762.

NASH, J.E. & SUTCLIFFE J.V. (1970). "River flow forecasting through conceptual models. Part I A discussion of principles," *Journal of Hydrologic Engineering*, nº1 10, pag 282 – 290.

RAWLS, W.J. & 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.

REFSGAARD, J.C., SETH, S.M., BATHURST, J.C., ERLICH, M., STORM, B., JORGENSEN, G.H., AND CHANDRA, S. (1992). Application of the SHE to Catchments in India. Part 1. General Results. *J. Hydrol.*, 140: 1-23.

REICHERT, J.M.; CABEDA, M.S. Salpico de partículas e escoamento superficial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.16, n.3, p.390-6, 1992.

SAXTON, K.E., RAWLS, W.J., ROSEMBERGER, J.S. AND PAPENDICK, R.I. (1986). Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol. 50, 1031-1036.

SHAW, E. M. (1994). *Hydrology in Practice*. Chapman and Hall. London

SIMONS, D. B.; ŞENTÜRK, F. (1992). *Sediment Transport Technology*. Fort Collins, Water Resources Publications. 807 p.

SMITH R. E., GOODRICH, D. C., WOOLHISER, D. A., AND UNKRICH, C. L. (1995). KINEROS – A KINematic Runoff and EROSION Model. In: V. S. Singh (editor). *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, United States.

STEVENS, H. H., YANG, C. T. (1989). Summary and use of selected fluvial sediment discharge formulas. Denver, Colorado: U.S. Geological Survey.

STEYAERT, L.T. (1993). A perspective on the state of environmental simulation modeling. In: Goodchild, M.F.; Parks, B.O.; Steyaert, L.T.; ed. *Environmental modeling with GIS*. New York, Oxford University Press, Cap. 3, p. 16-30.

SUGUIO, K. (2003) *Geologia Sedimentar*. Edgard Blücher, São Paulo, 2003. 416p

TROENDLE, C. A, (1985). Variable source area models. IN: *Hydrologic Forecasting* edited M.G. Anderson and T.P. Burt, cap 12 p347-402. John Wiley and Sons.

TUCCI, C. E. M. (1998). *Modelos Hidrológicos*. Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, Porto Alegre – RS. 668 p.

TUCCI, C. E. M. (2001). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Organizado por Carlos M. E. Tucci. 2 ed. Ed., Universidade/UFRGS: ABRH. Porto Alegre-RS

TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L., (2001b). Storm hydrology and urban drainage. In: *Urban Drainage in Humid Tropics*. IHP. UNESCO Capítulo 4 p69-28.

VAN GENUCHTEN, M.Th. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:892-898.

VANONI, V. A. (1975). Sedimentation Engineering. ASCE – Manuals and Reports on Engineering Practice. Nº 54. New York.

VERTESSY, R.A.; HATTON, T.J.; O'SHAUGHNESSY, P.J.; JAYASURIYA, M.D. (1993). A. Predicting water yield from a mountain ash forest catchment using a terrain analysis based catchment model. J. Hydrology, 150:665-700.

VIEIRA, V. P. 1999. Água Doce no Semi-árido. In: Águas Doce no Brasil Aldo Rebouças, Benedito Braga José. G. Tundisi (orgs). Cap 15 p509-532.

WICKS, J.M. (1988). Physically-Based Mathematical Modelling of Catchment Sediment Yield. PhD Thesis. Dept. of Civil Eng., Univ. of Newcastle upon Tyne, England, UK., p. 238.

WICKS, J.M. AND BATHURST, J.C. (1996). SHESED: A Physically-Based, Distributed Erosion and Sediment Yield Component for the SHE Hydrological Modelling System. J.Hydrol., 175: 213-238.

WILLIAMS, J. R. (1975). Sediment Routing for Agricultural Watersheds. Water Res. Bulletin, Am. Water Res. Ass. (AWRA), 11, No. 5, pp. 965-974.

WISCHMEIER, W. H. (1960). A Universal Soil-Loss Estimating Equation to Guide Conserv. Farm Planning. Trans. of the 7th Cong. Int. Soil Sci. Soc., 1:418-425.

YALIN, M.S. (1963). An Expression for Bedload Transportation. J.Hydr.Div., Proc. ASCE, 89(HY3):221-250.

YANG, R. A. & WERSMA, J. L. (1973). The Role of Rainfall Impact in Soil Detachment and Transport. Water Res. Res. 9: 1629-1639.

subtropicais da América Latina, é uma praga primária de grande importância econômica.

O *Zabrotes subfasciatus* originário do novo mundo é uma das principais pragas de feijão armazenado, distribuindo-se nas Américas Central e do Sul, onde os ovos são depositados e colocados na superfície dos grãos e, as larvas se desenvolvem-se no seu interior, provocando perda de peso, reduções no poder germinativo, valor nutritivo e desvalorização comercial.

3.3. Feijão *Phaseolus vulgaris* L.

A origem do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) é sul americano, tendo autores que o consideram de origem Asiática e até desconhecida (EMBRAPA, 2010). A cultura é uma das mais importantes constituintes da dieta do brasileiro, por ser uma excelente fonte protéica, além de possuir boa quantidade de carboidratos e de ser rico em ferro (VIEIRA et al., 1998).

De acordo com Araújo et al. (1996) é uma leguminosa bastante difundida em todo o território nacional. É plantada, preferencialmente, como cultura de subsistência em pequenas propriedades, embora tenha havido, nos últimos anos, crescente interesse de produtores de outras classes, cujo sistema de produção adota tecnologias avançadas, incluindo a irrigação.

O feijoeiro é a espécie mais cultivada entre as do gênero *Phaseolus*. Considerando todos os gêneros e espécies envolvidas nas estatísticas da FAO, o feijão envolve cerca de 107 países produtores em todo o mundo. E, somente o gênero *Phaseolus*, o Brasil é o maior produtor, seguido do México.

Entretanto, a produção brasileira de feijão tem sido insuficiente para abastecer o mercado interno, devido à redução na área plantada, de ordem de 35%, nos últimos 17 anos. Mesmo o aumento de 48% na produtividade, verificado neste período, ainda resultou numa diminuição de 4% na produção, portanto, não sendo suficiente para atender a demanda (EMBRAPA, 2010).

A cultura do feijão assume importância expressiva nos estados da Região Nordeste, por sua posição geográfica estratégica e, principalmente, pelas condições edafo-climáticas que favorecem a interação genótipo x ambiente (DIAS et. al., 1998).

A qualidade do feijão não se limita apenas às suas características genéticas, fisiológicas e físicas, envolvendo também seu estado fitossanitário que inclui a presença de pragas de armazenamento.

Apesar do excelente desempenho da cultura na região, diversos problemas de natureza técnica preocupam os produtores e demais envolvidos no processo de produção-comercialização. O feijão constitui uma cultura de importante destaque social, tornando-se o principal alimento proteico e energético do homem rural. É uma cultura autógama com taxa média de cruzamento natural, igual ou inferior a 1%, variando com o cultivar e condições ambientais (BLACKHURST, 1980; MILLER, 1980).

Na alimentação dos brasileiros, o feijão é a principal fonte de proteína, seguido, em importância pela carne bovina e pelo arroz. Apenas esses três alimentos básicos contribuem com 70% da ingestão proteica, além de ser uma cultura de grande expressão sócio-econômica no Brasil (LAJOLO et al., 1996). Essa importância alimentar deve-se, especialmente, ao menor custo de sua proteína em relação aos produtos de origem animal. Assim, os produtos de origem vegetal no controle de insetos praga, para esta cultura, deve ser prioridade em pesquisas, por abrir perspectivas promissoras para a sua utilização no controle do *Zabrotes subfasciatus*, principal praga de armazenamento do feijão *Phaseolus*, a qual vem sendo combatida com o emprego de produtos químicos que tanto prejuízos trazem ao homem e ao meio ambiente.

3.4. Plantas com atividades inseticidas

Os inseticidas de origem vegetal foram muito utilizados até 1940, principalmente a nicotina, extraída das folhas de *Nicotiana tabacum* e *Nicotiana glauca* (Solanaceae), associada à norticotina e anabasinina (VIEIRA; MAFEZOLI; BIATTI, 2001).

Com o desenvolvimento dos inseticidas sintéticos a partir da II Guerra Mundial, e por estes serem mais potentes que os inseticidas botânicos, a utilização destes produtos naturais foram substituídos pelos produtos sintéticos, utilizados em larga escala até os dias atuais.

Além da nicotina, outros inseticidas botânicos utilizados foram a piretrina, extraído do piretro, *Chrysanthemum cinerariaefolium* (Asteraceae); a rotenona, extraída de *Derris* spp. e *Lonchocarpus* spp. (Fabaceae) e a rianodina, extraída de *Rhynchospora speciosa* (Flacourtiaceae) (SILVA et. al, 2003).

O ressurgimento das pesquisas com inseticidas botânicos deve-se à necessidade de se dispor de novos compostos para o uso no controle de pragas, sem os problemas de contaminação ambiental, resíduos nos alimentos e aparecimento de insetos resistentes (VENDRAMIM e CASTIGLIONE, 2000).

Ainda segundo os autores, a diminuição na diversidade de moléculas sintéticas com atividade inseticida e o incremento nos custos de produção das mesmas, também têm estimulado os estudos com inseticidas vegetais.

Vieira et al. (2001) relataram a possibilidade de obtenção de melhores preços para os produtos certificados (ou chamados) “orgânicos”, com a utilização dos inseticidas de origem vegetal no sistema de produção.

Segundo Oliveira (1997), as plantas inseticidas são facilmente encontradas, destacando-se as plantas das famílias Meliaceae, Labiatae, Umbeliferae, Compositae, Lauraceae, dentre outras. Espécies vegetais pertencentes às famílias Asteraceae, Annonaceae, Canellaceae e Rutaceae, também se destacam como promissoras para o desenvolvimento de novos inseticidas de origem vegetal (JACOBSON, 1989; MIANA et. al., 1996).

Analisando-se a situação dos produtos armazenados, a importância dos produtos naturais é ainda maior visto que, os resíduos químicos dos inseticidas sintéticos permanecem acumulados por mais tempo pelo fato de praticamente não haver atividade metabólica no vegetal. E, principalmente, pela não ocorrência de ação de fatores climáticos como a chuva, sol, vento entre outros, que poderiam reduzir mais rapidamente o nível de resíduos nos grãos tratados.

3.5. Benefícios dos inseticidas botânicos

Alta disponibilidade de matéria-prima vegetal como fonte destes inseticidas, são biodegradáveis, reduzindo a persistência e a acumulação do pesticida no meio ambiente.

Normalmente são seletivos, controlando os insetos-praga e não prejudicando seus inimigos naturais ou insetos não-alvo e não apresentam os efeitos colaterais típicos dos inseticidas convencionais.

Apresentam maior probabilidade de desenvolvimento de resistência pelos insetos, uma vez que existe mais de um princípio ativo presente no produto vegetal e; são compatíveis com outros métodos de controle, possibilitando sua adoção num sistema de manejo integrado de pragas (MIP). Porém, deve-se considerar, em algumas situações, que alguns destes fatores definidos como vantajosos podem ser interpretados

como limitantes quando da utilização desta tática de controle. Determinadas regiões apresentam alta diversidade da flora, e conseqüentemente maior disponibilidade de matéria-prima vegetal, fonte para obtenção dos inseticidas botânicos. Todavia, algumas espécies vegetais com potencial inseticida possuem uma distribuição limitada, o que poderia inviabilizar sua utilização em determinadas localidades. Além deste fator, faz-se necessário o manejo e a exploração racional destas espécies, para não promover um desequilíbrio dos ecossistemas em que estas se encontram, ou até mesmo ocasionar a sua extinção.

A rápida biodegradação dos inseticidas de origem vegetal, considerada uma das mais importantes vantagens destes produtos, por reduzir os riscos de contaminação dos alimentos e do meio ambiente, pode ocasionar a necessidade de sucessivas aplicações destes produtos botânicos, o que dificultaria o manejo das pragas nas culturas.

Da mesma forma, a especificidade apresentada pelos inseticidas botânicos pode acarretar a falha ou a necessidade da utilização de outro método de controle, devido ao inseticida de origem vegetal adotado não apresentar resultado satisfatório. Os inseticidas botânicos normalmente apresentam seletividade em relação aos inimigos naturais e outros benéficos, como os polinizadores, porém, em algumas situações podem ser prejudiciais, devendo ser realizados estudos específicos sobre o efeito destes produtos naturais sobre os organismos não-alvo (ISMAN, 1997).

3.6. Obtenção de inseticidas botânicos

As plantas inseticidas podem ser empregadas na forma de pós, extratos aquosos ou não-aquosos (acetônico, hexânico, clorofórmico, metanólico etc.) e óleos (fixos ou essenciais).

Para obtenção dos pós, após a coleta de material vegetal a ser utilizado (frutos, folhas, caules ou raízes) este é submetido à secagem (em estufa a cerca de 40°C ou à sombra) e moído, na granulometria desejada, e posteriormente armazenado em recipientes hermeticamente fechados.

No caso dos extratos aquosos, após a coleta, secagem e moagem, os pós são submetidos à imersão em água (a frio ou a quente), homogeneização e extração propriamente dita (por aproximadamente 24 horas) e filtração (com utilização de um tecido ou peneira).

Existem diferentes formas para obtenção de extratos não-aquosos provenientes de plantas. Para preparo destes extratos, umas das técnicas que pode ser utilizada é, após

a secagem do material vegetal, a imersão deste em solvente (hexano, clorofórmico, metanol etc.), com posterior filtragem, evaporação a vácuo e concentração dos extratos.

Normalmente, este processo de preparo propicia a obtenção de menor quantidade de extrato, o que, aliado à restrita comercialização destes solventes e aos riscos de intoxicação e contaminação com seu manuseio, dificulta a sua utilização diretamente no controle de pragas. Por isso, tais extratos são empregados em testes laboratoriais com o objetivo de avaliar a bioatividade da espécie vegetal, auxiliando no processo de identificação e isolamento das substâncias químicas responsáveis pela atividade inseticida.

Os óleos podem ser obtidos a partir da prensagem do material vegetal (geralmente frutos ou sementes), os quais podem ser frescos ou secos (geralmente ao sol). Após a prensagem, o óleo é extraído e armazenado em recipientes apropriados. Estes são chamados óleos 'fixos'. Os óleos essenciais ou voláteis podem ser obtidos de diferentes maneiras, sendo que uma das formas mais utilizadas é o arraste com vapor d'água. Para extração de óleos voláteis de frutos cítricos (*Rutaceae*) pode ser realizada a prensagem deste material vegetal. Estes óleos voláteis têm apresentado potencial para uso no controle de pragas e tem sido alvo de inúmeras pesquisas

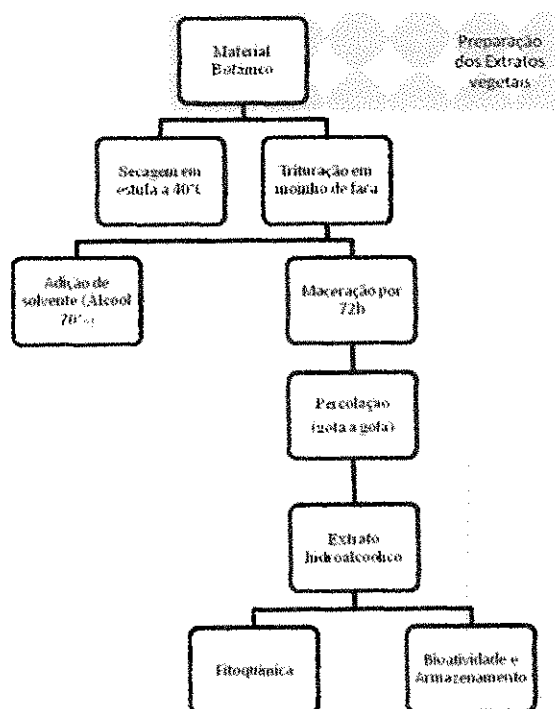


Figura 3.3. Fluxograma (obtenção de extratos) de acordo com Almeida et al (2003)

3.7. Efeito dos inseticidas botânicos sobre insetos

Entre os diferentes efeitos que os inseticidas de origem vegetal podem apresentar sobre os insetos estão: repelência, inibição da alimentação e/ou do crescimento, alterações do sistema hormonal e morfogenéticas, alterações no comportamento sexual, esterilização dos adultos, mortalidade na fase imatura e adulta, entre outros.

Embora se espere que os inseticidas de origem vegetal demonstrem alta atividade inseticida, outros efeitos apresentados, como a mortalidade de insetos é também de grande interesse. Quando da utilização dos inseticidas botânicos, deve-se objetivar a redução da densidade populacional das pragas, seja através da mortalidade das formas imatura ou adulta, ou simplesmente pela inibição da alimentação e oviposição dos insetos, colaborando para adoção conjunta deste método com outras técnicas de controle. Devido a estes importantes efeitos não-inseticidas apresentados pelos produtos botânicos, alguns pesquisadores passaram a utilizar o termo plantas insetistáticas ao invés de plantas inseticidas.

Todavia, o termo planta inseticida tem sido utilizado ao longo dos anos, em virtude dos primeiros inseticidas de origem vegetal terem sido utilizados com objetivo de matar os insetos, tornando-se consagrado no meio científico (GALLO et. al., 2002).

Para realização de pesquisas ou emprego prático de inseticidas de origem vegetal no controle de pragas é fundamental a preocupação com a manutenção da fonte de matéria-prima a ser utilizada, priorizando-se plantas com a maior distribuição, facilitando sua obtenção e aplicação; explorar espécies perenes em relação às anuais, permitindo a coleta periódica de material vegetal; coletar estruturas vegetais que não comprometam o desenvolvimento da planta, como frutos e folhas, seguidos por caules e raízes; quando possível e apropriado realizar o cultivo da planta inseticida, de maneira a aumentar a disponibilidade de recurso vegetal. Em relação à introdução e cultivo destas espécies vegetais com propriedades inseticidas, torna-se necessário um profundo estudo econômico e ambiental a respeito desta real necessidade, por muitas vezes as espécies nativas podem apresentar resultados semelhantes às introduzidas. Aspectos sobre custos envolvidos na introdução e obtenção de matéria-prima vegetal e dos produtos botânicos prontos para a utilização também são importantes e devem ser considerados.

Para avaliação da bioatividade dos inseticidas botânicos sobre os insetos, podem ser realizados experimentos de campo ou casa de vegetação, utilizando-se parcelas tratadas e não tratadas e avaliando-se a população e oviposição da praga ou o dano da

planta. Em laboratório, pode-se avaliar a oviposição, consumo de alimento, duração do ciclo biológico, peso e tamanho, mortalidade das fases imatura e adulta, fecundidade e fertilidade. Outra alternativa é a incorporação destes produtos naturais em dietas artificiais, desenvolvidas para determinadas espécies de insetos, comparando-se dietas com e sem extratos, óleos ou substâncias das espécies vegetais. Em relação às pragas de grãos armazenados, podem ser utilizadas amostras de grãos com e sem adição e ou aplicação de pós, óleos ou extratos, comparando-se a diferença na oviposição, durante o ciclo, peso e tamanho, mortalidade dos adultos, fecundidade e fertilidade, ou a diferença nos danos quantitativos e qualitativos provocados pelos insetos (GALLO et. al., 2002).

3.8. Plantas com ação inseticida sobre pragas de grãos armazenados

A possibilidade de controlar as condições ambientais dentro das instalações de armazenamento de grãos, minimizando o efeito negativo destes fatores, possibilita perspectivas positivas de sucesso quando do emprego de inseticidas de origem vegetal nestas condições. Nestes locais, os inseticidas botânicos podem ser empregados na forma de pós, extratos (aquosos ou não aquosos) e óleos.

O efeito tóxico da pimenta do reino, *Piper nigrum*, sobre pragas de grãos armazenados foi demonstrados por Su (1977). O autor observou alta mortalidade de adultos de *Sitophilus oryzae* quando expostos a grãos tratados com o extrato etanólico e com o pó de vegetal.

Pós obtidos de pimenta-malagueta foram eficientes no controle de *Callosobruchus maculatus* em Caupi armazenado, durante um período de 60 dias (FILGUEIRA e BEZERRA NETO, 1989). Ofuya (1990) testou o efeito de pós obtidos de 15 espécies vegetais sobre a oviposição de *C. maculatus* em sementes de *Vigna unguiculata* e constatou redução na oviposição do inseto nas sementes misturadas a pós de *Nicotiana tabacum* e *Ocimum gratissimum*.

De acordo com Almeida (2003) as pesquisas com plantas inseticidas demonstraram-se eficientes no controle da fase adulta do *Callosobruchus maculatus* inoculados na massa de sementes de feijão *Vigna unguiculata*. Em condições de armazenamento, Pessoa (2004) usando o método de pipetagem de extratos de *Chenopodium ambrooides* apresentara efeito altamente tóxico sobre *S. zeamais*, além de reduzirem a emergência de adultos .

Várias são as estratégias capazes de determinar a atividade de produtos naturais contra insetos e o seu isolamento. Em geral, inicia-se com extratos brutos das plantas preparados com diversos solventes (hexano, diclorometano, acetato de etila, metanol e água). A escolha do bioensaio mais apropriado para determinar atividade inseticida depende também dos hábitos dos insetos com os quais se deseja fazer o ensaio (SIMÕES et al., 2004).

Analisando a atividade inseticida de extratos obtidos de 30 espécies vegetais em relação a diferentes insetos entre estes o *Z. subfaciatus*, Saito et al. (1989) observaram melhores resultados em relação a esta espécie com extrato hidroalcoólico de *Potomorphe umbellata* que causou 40% de mortalidade.

3.9. Tratamento de sementes e grãos

As sementes, na condição de órgão vegetal que contém as reservas nutritivas necessárias para garantir a formação de novas plântulas, são alvo de microorganismos patogênicos. O tratamento de sementes constitui-se numa medida valiosa pela sua simplicidade de execução, baixo custo relativo e eficácia sob vários aspectos, entre os quais se destaca o controle de insetos praga de armazenamento (MACHADO, 1999).

Tratamento de sementes e grãos, em seu sentido mais amplo, envolve a aplicação de diversos processos e substâncias as mesmas, com objetivo de preservar ou aperfeiçoar seu desempenho e aumentar o rendimento e a produtividade das plantas. No contexto da patologia de sementes, esse tratamento refere-se a medidas que visam ao controle de doenças através de ações sobre as mesmas (CONCEIÇÃO et al., 2004).

O controle das doenças ainda nas fases que antecedem a implantação de uma lavoura ou por ocasião da semeadura faz com que o tratamento de sementes seja considerado, na agricultura moderna, uma das medidas mais recomendadas, possibilitando assim o menor uso de defensivos químicos e, conseqüentemente, evitando graves problemas em termos de poluição do ambiente (MACHADO, 1999).

O tratamento prévio das sementes tem importância por originar plantas mais vigorosas e saudáveis, devido à eliminação dos patógenos presentes nas sementes ou por protegê-los contra a ação de fitopatógenos do ambiente, sejam eles do solo ou de armazenamento.

A razão da existência de diferentes recursos para o tratamento de sementes fundamenta-se no fato de que a diversidade e a natureza dos agentes causadores de doenças são enormes e nem sempre um único método de tratamento propicia o controle

de todos os casos. Machado (1988) considera o tratamento de sementes e grãos uma das medidas de controle mais praticadas na agricultura moderna pela sua simplicidade de execução, menor risco de intoxicação humana e poluição ambiente, maior eficácia e baixo consumo material.

Com o recente envolvimento e crescente preocupação da população com o meio ambiente, têm surgido novas exigências e restrições ao uso de defensivos agrícolas. Diante deste fato, o tratamento de sementes com defensivos químicos sintéticos, principalmente quanto às pragas de grãos e ataques de fungos, vem gerando uma expectativa negativa quanto ao seu uso. Enquanto que tratamentos alternativos à base de produtos naturais têm ocupado lugar de destaque, podendo vir a ser uma opção viável e uma prática bastante promissora, tendo em vista os inúmeros estudos que tem sido feitos no intuito de se avaliar o efeito de extratos vegetais no controle de pragas (INNECCO, 2004).

A utilização de substâncias extraídas de fontes naturais pode atuar na inibição de fungos e insetos-praga associados a sementes sendo de grande utilidade no controle de doenças no campo e/ou armazenamento.

Visando o controle de patógenos e pragas de armazenamento, têm-se utilizado grandes quantidades de produtos químicos, os quais, sem dúvida, representam um avanço tecnológico. Por outro lado, surgem os problemas decorrentes do tratamento químico, como a toxicidade para o homem e alterações para o ecossistema, além da fitotoxicidade para as plantas cultivadas. Nos últimos anos, tem havido um crescente interesse por alternativas de controle que são menos tóxicas e economicamente viáveis, sendo o emprego de produtos naturais extraídos da flora nativa uma ótima e promissora possibilidade nesse sentido (CARNEIRO e AGUIAR, 1991).

Os elevados custos ambientais e econômicos, derivados do uso de agrotóxicos na agricultura, resultaram num maior esforço de pesquisas direcionadas ao desenvolvimento de sistemas de controle de doenças de plantas através de agentes naturais. As vantagens mais propagadas desses sistemas são o menor impacto ambiental e a maior segurança ao homem, tanto para aquele que aplica o produto quanto para o consumidor final dos alimentos. Esta vertente na pesquisa de novos compostos se dá pelo aspecto ecologicamente correto de produzir substâncias que sejam menos agressivas ao meio ambiente, contribuindo para uma melhor qualidade de vida, conforme estabelece a Carta Européia do Ambiente e da Saúde (DEOUX; DEOUX, 1998).

O uso de extratos vegetais e óleos essenciais, por exemplo, têm sido fonte de inúmeras pesquisas que validam sua eficácia (SOUZA et al., 2002; MORAIS, 2004).

Extratos de alho (*Allium sativum* L.) e de capim-santo (*Cymbopogon citratus* Stapf.) têm sido avaliados com relação aos seus efeitos *in vitro* e *in vivo* sobre o desenvolvimento de fitopatógenos vislumbrando-se assim possibilidades de uso desses produtos como método de controle alternativo para fins fitossanitários. (LEAL et al., 2001). A flora brasileira é bem diversificada em espécies que possuem importância terapêutica, com uma diversidade de uso que pode ser usada tanto na medicina quanto na agricultura natural, que vem sendo empregadas desde antigas civilizações, as plantas constituem-se de partes ricas em taninos e quinonas que apresentam características fitoterápicas, e de substâncias com diferentes estruturas químicas e com diversas atividades contra insetos e microorganismos patogênicos (CARVALHO et al., 2002).

Segundo Almeida et al. (1997), o emprego de produtos naturais no tratamento de sementes e grãos, além de controlar a incidência das pragas de armazenamento, reduz os custos de produção, evita danos de toxidez ao homem e proporciona maior rentabilidade a empresa agrícola, ao agricultor, devido a um ganho adicional superior aos gastos. Contudo, um produto ideal deverá ser altamente eficiente no controle das doenças e pragas, não apresentar toxicidade as sementes ao homem e aos animais, ser econômico, de fácil aplicação, não ser corrosivo, e ser estável por um longo período.

Chatterjee (1990), avaliando 18 espécies vegetais no tratamento do milho durante o armazenamento, observou inibição no desenvolvimento dos fungos *Aspergillus flavus*, *A. glaucus*, *A. niger*, *Curvularia palescens* e *Chaetomium indicum*. Sementes de arroz tratadas com diferentes extratos aquosos de *Cycas revoluta* e *Thuja orientalis* foram armazenadas em diferentes condições por Kumar (1990), tendo o mesmo constatado, depois do armazenamento, controle dos fungos e redução da germinação para as sementes tratadas nas maiores concentrações.

Almeida et al. (2005) estudaram o controle do caruncho *Collosobruchus maculatus*, utilizando extratos de *Piper nigrum* e concluíram que a mortalidade dos insetos adultos aumenta com o incremento do período de exposição aos extratos e que todos os extratos de *P. nigrum* foram eficientes em matar o caruncho do feijão *Vigna*, embora, em termos absolutos, o extrato na dosagem de 6 ml tenha sido o mais eficiente.

Williams e Mansingh (1993) testaram o potencial inseticida de extratos etanólicos de folhas de 60 plantas pertencentes a 32 famílias e 52 gêneros, em relação a adultos de *T. confusum*, observaram que 13 extratos ocasionaram índices de mortalidade

que variou entre 53 e 100%, com destaque para *Bontia daphnoides*, *Cuscuta americana* e *Dioscorea polygonoides*, que apresentaram total atividade inseticida.

Almeida et al. (2005) extraíram de oito espécies botânicas oito extratos alcoólicos e empregaram no controle do *Collosobruchus maculatus*, tendo-se obtido 100% de controle com os extratos de *Azadiracta indica* e *Colopogonium caeruleum*, 99,5% com *Piper nigrum*, 99%, com *Annona squamosa*, 98,5% com *Cróton tiglium*, 98% com *Mentha piperita*, 95% com *Anthemis nobilis* e 61% com o extrato de *Camelis sinensis*.

3.10. Armazenamento

A partir do momento em que o homem tornou-se sedentário, necessitou desenvolver hábitos para assegurar sua sobrevivência e assim diminuir sua dependência da natureza. Neste momento, desenvolve o hábito de plantar produzindo seus suprimentos alimentares. No entanto, começa a produzir excedentes agrícolas e com a finalidade de garantir alimentos para os momentos de secas e inundações guardar alimentos num processo que hoje chamamos de armazenamento.

Na agricultura, desde que o homem começou a domesticar plantas, o armazenamento é uma das técnicas mais importantes para se conservar alimentos (CARVALHO e VILLELA, 2006). Segundo Vieira et al. (2006) o principal objetivo é preservar a qualidade das sementes, reduzindo o mínimo possível seu processo de deterioração, que dependerá principalmente das condições ambientais e das características da própria semente.

O armazenamento de sementes inicia-se no campo a partir do momento em que estas atingem a maturidade fisiológica e não apenas quando ela entra no armazém, de forma a evitar perdas e preservar sua qualidade. Analisando a preservação na qualidade das sementes e reduzindo seu processo de deterioração do armazenamento dependerá das condições ambientais do meio de armazenagem e das características da semente (VIEIRA et al., 2006). Essa qualidade sofre também influência das condições do ambiente no campo e na fase de semeadura e colheita; outro lado a velocidade de deterioração é influenciada por fatores genéticos, forma de manipulação e condições de armazenagem. Antonello et al. (2009) ressaltam que, aliados as condições ambientais meio de armazenagem e característica da própria semente para a perda de qualidade de grão se sementes ainda se considera superior a todos esses, a temperatura, umidade e a

embalagem, vez que determinam a taxa de deterioração e, por conseguinte, a manutenção da qualidade fisiológica das sementes.

Segundo Puzzi (2000), o teor de água contido em produtos agrícolas é de suma importância durante seu armazenamento, pois é um fator determinante na manutenção de sua qualidade; por estar conectada com a redução da velocidade de respiração, que por sua vez é controlada com baixos valores do teor de umidade, vez que produtos úmidos normalmente têm um metabolismo acelerado.

Conforme Santos et al. (2005), o armazenamento de sementes de feijoeiro com teor de água inicial superior a 13% resultará em danos provocados por mudanças no metabolismo celular, pois o aumento da atividade enzimática e respiratória das sementes propicia o desenvolvimento de fungos, que serão favorecidos pela elevada temperatura.

Esta afirmativa concorda com as observações de Carvalho e Villela (2006), de que a velocidade de respiração aumenta com o aumento da temperatura, e, por conseguinte há uma maior aceleração no processo de deterioração.

Bruno et al. (2000), estudando a qualidade fisiológica de sementes de amendoim durante seu armazenamento, registrou decréscimos de forma contínua na germinação das sementes armazenadas em ambientes sem controle de temperatura e umidade relativa do ar. De acordo com os autores as condições ambientais adversas durante o armazenamento resultam no envelhecimento das sementes que podem apresentar desde redução da viabilidade até a completa perda do poder germinativo, produção de plântulas de menor tamanho, produção de plântulas anormais, dentre outros. Portanto, a qualidade das sementes não pode ser melhorada durante o armazenamento, mas pode ser preservada quando as condições de conservação são favoráveis (SANTOS et al., 2005).

3.11 Embalagem

De acordo com Carvalho e Villela (2006) a escolha correta do tipo de embalagem para o armazenamento de sementes sob condições ambientais favoráveis, minimiza perdas qualitativas e quantitativas, além de permitir uma maior flexibilidade na comercialização desta.

No processo de escolha do tipo de embalagem a ser usada, deve ser levada em consideração as condições climáticas nas quais a semente vai permanecer armazenada, o tempo de armazenamento da semente, o valor da semente, a quantidade de semente por

embalagem, a modalidade de comercialização, as características mecânicas da embalagem, a disponibilidade no comércio e o custo da embalagem. Essas são classificadas como: embalagens porosas ou permeáveis (que permitem troca de vapor de água entre a semente e o ambiente), semipermeáveis ou semiporosas (permitem determinada troca de vapor de água entre a semente e o ambiente externo) e impermeáveis (não admitem troca de umidade da semente com o meio exterior) (CARVALHO e VILLELA, 2006).

Segundo Condé e Garcia (1984) a maior permeabilidade da embalagem promoverá facilidades para que a umidade do meio ambiente entre em contato com as sementes e, assim, haverá maior atividade de microorganismos, insetos e do metabolismo da própria semente que, dessa forma, promoverá um maior consumo de reservas. A associação desse conjunto de atividades contribui para uma elevada queda na qualidade das sementes.

Moraes (1996) ao estudarem a ocorrência de pragas em sementes de amendoim acondicionadas em três embalagens sob condições ambientais, em duas microrregiões do estado da Paraíba verificaram que as sementes fora do fruto são mais susceptíveis ao ataque de pragas, como também as embalagens impermeáveis apresentam menos sementes danificadas do que as embalagens semipermeáveis e permeáveis.

Azeredo et al. (2005), estudando a conservação de sementes de amendoim em função do beneficiamento, embalagem e ambiente de armazenamento, detectaram que as sementes armazenadas em ambiente controlado e dentro dos frutos mantiveram sua viabilidade, enquanto que as armazenadas fora dos frutos e em ambiente não controlado perderam acentuadamente seu vigor conforme o avanço do período do armazenamento. Resultados semelhantes foram obtidos por Almeida et al. (1998).

3.12 Pragas de armazenamento

As perdas médias brasileiras de grãos, pelo ataque de insetos praga de armazenamento é de aproximadamente 10% (SMIDERLE et al., 2008) o que representará neste ano uma perda de aproximadamente 3,8 mil toneladas de grãos, vez que a produção agrícola brasileira de grãos foi estimada em 3.748,7 mil toneladas (CONAB, 2011). Além dessas, existem as perdas qualitativas (reduzindo os valores nutritivos e comerciais do produto), sendo da maior importância, uma vez que comprometem o uso do grão produzido, ou o classificam para outro uso menos nobre.

Segundo Vieira (2005) uma revisão bibliográfica de abrangência internacional registrou como capazes de aparecer na cultura do feijão, 16 doenças de maior importância e, pelo menos 23 de menor importância, além das causadas por nematóides e insetos. Falando necessariamente do Brasil especificaram quatro viroses de maior importância e pelo menos 12 de menor gravidade; cinco moléstias causadas por bactéria; 28, por fungos (de maior ou menor importância); e algumas provocadas por nematóides das quais se sobressai a das folhas e das raízes.

As pragas de grãos armazenados causam prejuízos como: a perda de peso, pois os insetos se alimentam dos grãos consumindo parte dele; perda do valor como alimento, em decorrência do consumo pelos insetos, os grãos têm seu valor nutritivo reduzido e perda da viabilidade da semente, pela destruição do embrião, provocando perda total ou parcial da viabilidade das sementes (ATHIÉ et al., 1998). Faroni et al. (1995), acrescenta outros fatores negativos como aquecimento do produto durante o armazenamento, disseminação de microrganismos podendo propiciar infestação por patógenos, além de contribuir para o aumento do custo de armazenamento devido à necessidade de prática de controle .

No entanto, os principais insetos de grãos e subprodutos armazenados pertencem à ordem Coleóptera (pequenos besouros denominados popularmente de carunchos ou gorgulho), e à ordem Lepidóptera (pequenas mariposas que erroneamente tem sido designada de traças). Os gorgulhos são muito resistentes, o que lhes permitem o movimento pelos reduzidos espaços entre os grãos, inclusive nas grandes profundidades dos silos e graneleiros, onde os espaços são muito comprimidos. As mariposas são frágeis e, em geral, permanecem na superfície da massa de grãos, causando assim menos prejuízos que os gorgulhos. Os grãos e subprodutos podem, ocasionalmente, ser infestados por insetos muito pequenos, conhecidos como Psocóptera. Estes geralmente alimentam-se de uma grande variedade de matéria orgânica e são considerados pragas pela sua presença e não pelos danos que causam (ALMEIDA et al., 1997).

De acordo com estudos (BAKER et al., 1989), a ordem Coleóptera, compreende todas as espécies pertencentes à família Bruchidae, sendo as principais: *Acanthoscelides clandestinus* (Mots.), *A. obtectus* (Say), *Zabrotes subfasciatus* (Boh.), *Callosobruchus analis* (Fabr.) e *C. maculatus* (Fabr.), esta conhecida como gorgulho, é a principal praga do feijão-de-corda armazenado. Os membros da família Bruchidae alimentam-se de sementes, especialmente as de leguminosas. Os adultos são facilmente reconhecidos: o corpo é recoberto por pêlos curtos, é compacto e globular. Os élitros são curtos,

deixando exposto o último segmento abdominal, chamado pigidium. As antenas são longas. As principais espécies como pragas de sementes de leguminosas armazenadas são: *Acanthoscelides obtectus* (Say), *Callosobruchus* sp., *Zabrotes subfasciatus* Boheman. e *Cayredon serratus*. Outros gêneros, tais como, *Bruchus*, *Bruchidius* e *Specularius*, embora sejam importantes pragas do campo, não sobrevivem por muito tempo nos grãos bem secos e, geralmente, morrem no armazenamento (RESENDE et al., 2008).

O caruncho, *Zabrotes subfasciatus*, é considerado a principal praga de feijão armazenado podendo também ser encontrado em regiões de clima temperado. Os carunchos afetam o poder germinativo das sementes e depreciam a qualidade do grão devido à presença de furos e ovos dos insetos adultos e de larvas no interior dos grãos.

Os feijões do grupo manteiga, tipo Jalo, por exemplo, são os mais afetados. Quando não se faz o controle dessa praga, o produto armazenado pode ser totalmente perdido. O controle químico com fosfeto de alumínio tem se mostrado eficiente. Em pequenas quantidades, o armazenamento dos grãos dentro de garrafas tipo *pet* é também uma boa forma de evitar o ataque e desenvolvimento dessa praga. (EMBRAPA, 2005). Contudo, o controle químico é dificultado pelo custo do produto e por problemas de toxicidade (GALLO et al., 2002).

A maioria das perdas ocorre devido ao descuido, à má-conservação e à falta de conhecimento das medidas específicas que poderiam ser tomadas para evitar o estrago.

Além de prejudicar a competitividade agrícola, estas perdas poderiam alimentar parte da população brasileira que se encontra faminta e fortemente desnutrida. Estas perdas poderiam ser reduzidas se práticas adequadas fossem adotadas desde o cultivo até o seu destino final. Contudo, o uso de tecnologias adequadas na pós-colheita, durante o manuseio, processamento, armazenamento e transporte, é tão fundamental quanto a sua produção. Até porque o aumento desta produção deve vir, necessariamente, acompanhado de redução nas perdas e da preservação da qualidade inicial do produto (ANTONIALI et al., 2009).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.0. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos nos Laboratórios de Análise de Sementes e de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, e no Instituto Federal de Belo Jardim - PE.

4.1. Origem das sementes

As sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L., foram adquiridas junto a produtores de Belo Jardim, PE da safra 2010/2011.

Sua qualidade inicial foi avaliada por meio da análise de pureza, determinação do teor de umidade, testes de germinação e vigor e percentual de infestação por *Zabrotes subfasciatus*.

4.2. Criação dos insetos pragas de armazenamento

O *Zabrotes subfasciatus* (Figura 4.1) foi coletado em grão do feijão *Phaseolus* que se encontravam armazenados em depósitos de cereal no mercado central de Campina Grande, PB para comercialização. A multiplicação deu-se depois da seleção, separação e identificação dos mesmos em microscópio, inoculando-os em uma massa de feijão, previamente expurgada, dentro de recipiente de vidro com capacidade de 300 ml, tendo a boca vedada com tecido de voil para permitir a ventilação em seu interior.

Posteriormente, foram levados a uma estufa incubadora com temperatura de 32°C e umidade relativa do ar de 95%. Depois da inoculação foi aguardado um período dez dias para cópula e postura. Após este período, os gorgulhos adultos foram retirados da massa de grãos com auxílio de uma peneira de 4 mesh, deixando-se apenas os grãos mais as posturas no local até a emergência dos insetos adultos utilizados nos experimentos.

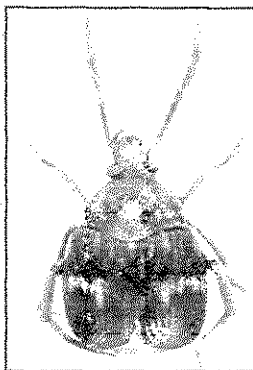


Figura 4.1. *Zabrotes subfasciatus*. Principal praga de feijão armazenado.

4.3 Obtenções dos extratos

As espécies vegetais (Figura 4.2) foram coletadas em Belo Jardim, PE, e secas em estufa a 40°C por 48 h (mastruz) e 72 h (casca da Jaqueira), sendo posteriormente moídas, pesadas e armazenadas em recipientes de vidro hermeticamente fechados. As espécies estudadas *Artocarpus heterophyllus* (Lam) e *Chenopodium ambrosioides* são referenciadas na farmacognosia como possuidoras de princípios ativos capazes de controlar e/ou matarem insetos pragas de culturas e grãos armazenados.

O Extrato em pó foi obtido triturando as plantas ou as partes (Tabela 4.1) a serem empregadas em moinho (Figura 4.3 A). O extrato hidroalcoólico foi obtido a partir do extrato em pó, depois de pesado em balança, umedecido com álcool etílico a 70% v v⁻¹ e extração depois de 72 h obedecendo rigorosamente todos os passos descritos na metodologia sugerida por Almeida et al. (2003). Posteriormente, as soluções foram filtradas em percolador (Figura 4.3 B) e concentradas em evaporadores rotativos com temperatura controlada (60°C), depois foram armazenadas em recipientes apropriados até a evaporação total do solvente utilizado na extração para em seguida serem acondicionados em frascos escuros até o momento de serem utilizados nos experimentos.

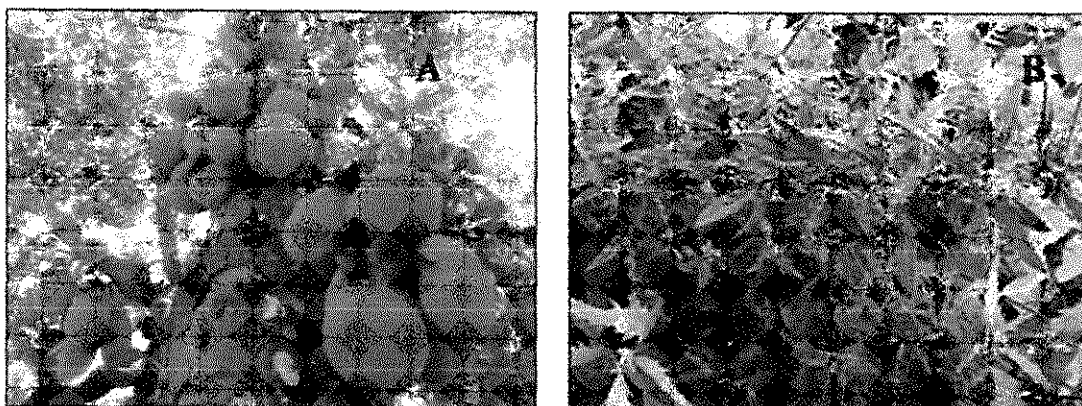


Figura 4.2. *Artocarpus heterophyllus* (A - Jaqueira) e *Chenopodium ambrosioides* (B- Mastruz)

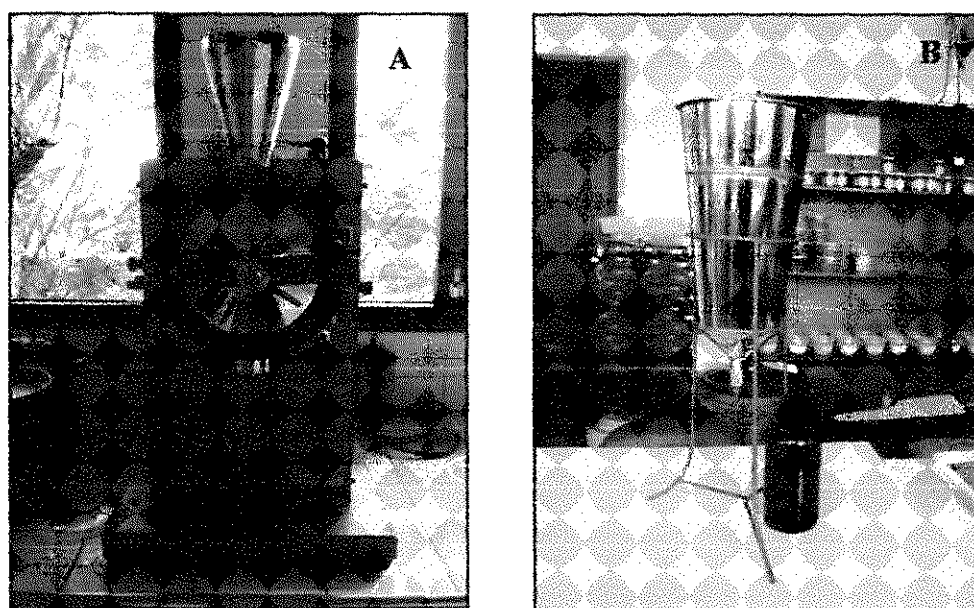


Figura 4.3. Moinho de faca utilizado na trituração das plantas para obtenção do extrato em pó (A) filtradas em percolador (B)

Tabela 4.1. Espécies vegetais empregadas no preparo dos extratos e seu rendimento.

Espécie vegetal	Proporção	Filtragem	Rendimento
<i>Artocarpus heterophyllus</i> (Jaqueira)	500 g de massa: 1000 ml de álcool (1:2)	Percolador	500 ml
<i>Chenopodium ambrosioides</i> (Mastruz)	400 g de massa: 400 ml de álcool. (1:1)	Percolador	350 ml

4.4. Bioensaios

Primeira etapa

4.4.1. Teste com chance de escolha: repelência/atratividade

Inicialmente foi realizado um teste de repelência/atratividade com o *Zabrotes subfasciatus*, utilizando-se uma arena (Figura 4.4) formada por cinco caixas plásticas de 6,1 cm de diâmetro e 2.1 cm de altura, sendo a caixa central interligada simetricamente as demais por tubos plásticos, na disposição em diagonal, para se avaliar o efeito do pó dos extratos das plantas sobre a atratividade/repelência aos insetos adultos de *Zabrotes subfasciatus*. Para isto em duas caixas da arena dispostas diagonalmente foram colocados 10 g de feijão triturado e não tratado com o pó dos extratos e, igualmente em duas outras caixas, a mesma quantidade da massa de feijão misturada cada com 3 g do extrato em pó, ficando a caixa central sem massa alguma do feijão, onde se inocularam 30 insetos não sexados com 10 dias de vida.

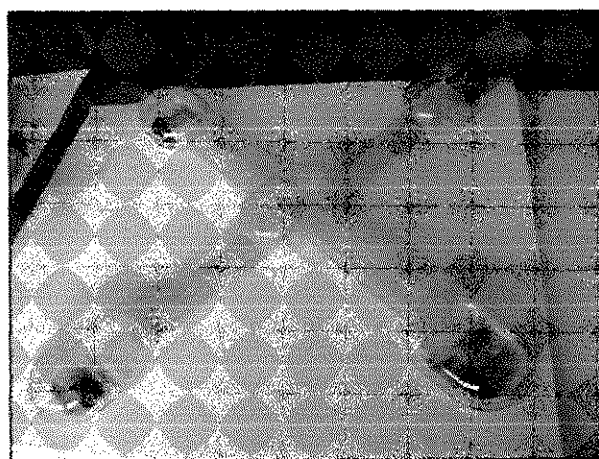


Figura 4.4. Arena utilizada nos testes de repelência/atratividade

Segunda etapa

4.4.2 Teste de mortalidade

Foram avaliados os efeitos dos extratos hidroalcoólicos nas doses de 2, 4, 6, 8 e 10 ml aplicados na forma de nebulização com auxílio de um equipamento tipo torre de Potter (Figura 4.5) sobre a mortalidade do *Zabrotes subfasciatus* com 10 dias de vida. A

avaliação se deu passado 48 h da aplicação contando os insetos vivos. A metodologia empregada foi a desenvolvida por Almeida et al. (1999), em que o extrato é levado ao inseto na forma de vapor (nebulização), onde se encontravam dentro de recipientes plásticos medindo 104 x 141 mm (altura x diâmetro), com tampas perfuradas com pequenos furos para a entrada e saída, respectivamente, do vapor gerado pelo compressor (Figura 4.5). Os tratamentos constaram de 4 repetições com 30 insetos cada, mais uma testemunha que não recebeu a aplicação dos extratos.

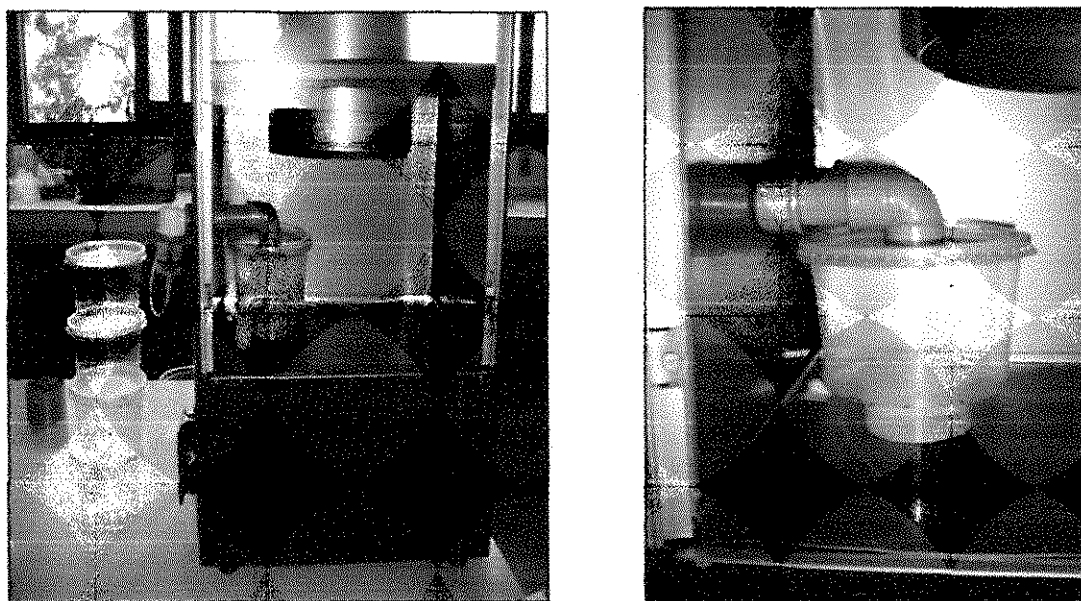


Figura 4.5. Equipamento desenvolvido para a aplicação dos extratos sobre os insetos adultos.

Terceira Etapa

4.4.3. Armazenamento

Neste experimento, utilizaram-se os extratos hidroalcoólico nas doses que se mostraram mais eficientes da etapa anterior em matar os insetos adultos do *Zabrotes subfasciatus*; as quais foram aplicadas pelo método de pipetagem diretamente sobre a massa do feijão, homogeneizando por meio de agitação manual, deixando-se um lote sem receber tratamento, em seguida foram distribuídas sobre bandejas de polietileno, ficando por um período de 24 h a temperatura ambiente, com a finalidade de maior absorção do extrato na massa de grão. Depois deste tempo às sementes foram distribuídas em recipiente tipo PET, de 500 g de capacidade, tendo sido inoculados com 30 insetos adultos não sexados de *Zabrotes subfasciatus*. Igual procedimento deu-se

com as sementes não tratadas. Em seguida foram armazenadas (Figura 4.6) em condições de laboratório sem controle de temperatura e umidade relativa do ar, onde permaneceram por um período de 120 dias quando se deu as avaliações do percentual de infestadas e perda de peso; germinação e a determinação do teor de umidade.



Figura 4.6. Armazenamento do feijão nas condições climáticas de Campina Grande, PB.

Quarta etapa

4.4.4. Testes fitoquímicos

4.4.4.1. Prospecção fitoquímica dos extratos

Os testes fitoquímicos foram realizados na Universidade Federal de Alagoas, a fim de se detectar a presença de compostos de interesse nas diferentes espécies vegetais.

Na identificação dos fitoconstituintes os extratos foram analisados separadamente, na concentração de 100%, sendo utilizado o volume de 3-4 mL da respectiva solução a ser submetida aos testes de identificação dos fitoquímicos, baseando-se na metodologia descrita por Matos (1997).

4.4.4.1.1. Teste para fenóis e taninos

No tubo de ensaio contendo a solução, foram adicionadas 3 gotas de solução alcoólica de FeCl_3 (Cloreto Férrico), nas concentrações de 1%, 4,5% e 9%. A presença de fenóis ou taninos foi determinada pela coloração da reação. Coloração variável entre o azul e o vermelho, indicativo da presença de fenóis; azul, presença de taninos pirogálicos e tonalidade verde, taninos catéquico.

4.4.4.1.2. Teste para antocianinas, antocianidinas e flavonóides

Neste teste, a solução foi acidificada para pH 3.0, utilizando-se HCl (Ácido Clorídrico) concentrado, e alcalinizada para pH 8.5 e 11.0, com NaOH (Hidróxido de Sódio) concentrado. A presença de antocianinas, antocianidinas e flavonóides foram identificados pela coloração da reação (Tabela 4.2).

Tabela 4.2. Indicativos da presença de compostos nas amostras vegetais

Constituintes	Cor as solução		
	Ácido ^(3,0)	Alcalino ^(8,5)	Alcalino ⁽¹¹⁾
Antocianinas e Antocianidinas	Vermelha	Lilás	Azul-Púrpura
Flavonas, Flavonóis e Xantonas	-----	-----	Amarelo
Chalconas e Auronas	Vermelha	-----	Vermelho-Púrpura
Flavonóis	-----	-----	Vermelho-Laranja

4.4.4.1.3. Teste para leucoantocianidinas, catequinas e flavonas

Para identificação dos fitoconstituintes, realizou-se a acidificação da solução, com HCl concentrado, até pH 1.0 e a alcalinização, com NaOH (Hidróxido de Sódio) concentrado até pH 11.0. Em seguida, o tubo de ensaio foi aquecido, com o auxílio de bico de busen, de 2-3 minutos. Logo após, foram observadas as possíveis alterações de coloração das reações (Tabela 4.3).

Tabela 4.3. Indicativos da presença de leucoantocianidinas, catequinas e flavonas nas amostras vegetais

Constituintes	Cor da solução	
	Ácido	Alcalino
Leucoantocianidinas	Vermelha	-----
Catequinas	Pardo-amarelada	-----
Flavanonas	-----	Vermelho-Laranja

4.4.4.1.4 Teste para flavonóis, flavanonas, flavanonóis e xantonas

No tubo de ensaio contendo a solução, foram adicionadas 3-4 gotas da solução alcoólica de FeCl₃ (Cloroeto Férrico) a 4,5%. A coloração verde, indicativo da presença de flavonóis; amarelo, presença de flavanonas e tonalidade castanha ou violeta, xantonas livres ou seus heterosídeos.

4.4.4.1.5. Teste para esteróides e triterpenóides

Adicionou-se 10 mL de uma solução etanólica de cada extrato em béqueres e deixou-se secar em banho-maria. Extraiu-se o resíduo seco de cada becker três vezes com porções de 1-2 mL de CHCl₃. Separaram-se os extratos em tubos diferentes e colocou-se algumas gotas de CHCl₃. Filtrou-se a solução clorofórmica em um pequeno funil fechado com uma bolinha de algodão, coberta com miligramas de Na₂SO₄ anidro, para um tubo de ensaio bem seco. Adicionou-se 1 mL de anidrido acético e agitou-se

4.4.4.1.6 Teste para saponinas

O tubo de ensaio, contendo o extrato ou macerado, foi agitado por 2-3 min. A presença de saponinas é indicada pela formação de espuma persistente e abundante por mais de 15 minutos.

4.4.4.1.7 Teste para alcalóides

Foram utilizadas diferentes soluções e reagentes (Tabela 3), separadamente. De acordo com o reagente ou solução utilizada foram adicionadas 3-4 gotas ao tubo de ensaio contendo 3-4 mL da solução extrato ou macerado da *L. sidoides*. A presença de alcalóide é identificada pela formação da respectiva reação de acordo com a solução ou reagente utilizado (Tabela 3).

4.4.4.1.7.1. Composição química do reagente de Dragendorff

5,0 g de subnitrito de bismuto foram dissolvidos em 50,0 mL de água destilada, seguido da adição de 12,0 mL de ácido clorídrico concentrado sob agitação. Em seguida, adicionou-se lentamente 25,0 g de iodeto de potássio. Após a dissolução, o volume foi completado com água destilada para 100,0 mL de solução. A 25,0 mL desta

solução foram adicionados 18,0 mL de ácido acético glacial, completando-se o volume final da solução com água destilada para 100,0 mL.

Esse reagente é empregado para a detecção de alcalóides e peptídeos, cicloexilaminas, polietilenoglicóis e derivados, compostos de óxido polietileno, lactamas, lipídeos e esteróides α,β -insaturados.

4.4.4.1.8. Teste para antraquinonas, antronas e coumarinas

Foram marcados os pontos com os extratos-teste em placas cromatográficas que foram diluídas com clorofórmio. As placas foram borrifadas com uma solução de hidróxido de potássio a 10% e observou-se a presença das cores indicativas em luz UV 365nm. A cor vermelha indica antraquinona, a amarela indica antrona e a azul indica coumarina.

Quinta etapa

4.4.5. Análises e avaliações das sementes

O as sementes de feijão *Phaseolus*, depois de receberem os tratamentos, foram avaliadas antes e depois dos 120 dias do acondicionamento nas embalagens de pet armazenadas em condições de laboratório sem controle de temperatura e umidade relativa do ar, quanto à infestação, perda de peso. E, para estudar o efeito deste na qualidade fisiológica, um experimento foi instalado com sementes, nas mesmas condições, onde a germinação foi avaliada aos 30 dias após instalação dos ensaios para se observar a influencia dos tratamento no aumento do teor de umidade das sementes e aos 120 dias se afetariam a germinação das sementes.

4.4.5.1. Porcentagem de infestação

A porcentagem do *Zabrotes subfasciatus* presente na massa do feijão armazenado foi avaliada observando 100 grãos de cada tratamento por repetição, separando-se os íntegros dos danificados em relação ao número total da amostra. No cálculo se empregou a equação sugerida por Almeida e Villamil (2000).

$$PI = \frac{D}{D+I} \times 100$$

em que:

PI - porcentagem de infestação;

D - número de sementes danificadas;

I - número de sementes íntegras.

4.4.5.2. Perda de peso

A porcentagem da perda de peso, ocorrido no feijão, por força das condições do armazenamento, deu-se separando 100 grãos, onde dessa massa foram contados os íntegros e os não íntegros, calculando-se em seguida a porcentagem destes em relação ao total por meio da equação sugerida por Almeida e Villamil (2000).

$$PP = \frac{I - D}{I} \times 100$$

em que:

PP - porcentagem de perda de peso;

D - peso de sementes danificadas, g;

I - peso de sementes íntegras, g;

4.4.5.3. Teor de umidade

O teor de umidade dos grãos e sementes foi determinado retirando-se de cada embalagem uma amostra para formar duas sub-amostra de 20 g cada, que em seguida foram postas em estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24 horas. Após o período de permanência na estufa foram retirados, colocados em um dessecador contendo sílica gel por um tempo de 20 a 30 minutos para serem resfriados e, em seguida novamente pesados, obtendo-se a porcentagem de peso, expressa em base úmida através da expressão analítica contida nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

$$\text{umidade (\%)} = \frac{(P - p)}{P - t} \times 100$$

em que:

P - peso inicial (peso do recipiente + peso da semente úmida);

p - peso final (peso do recipiente + peso da semente seca); e

t - tara (peso do recipiente).

4.4.5.4. Teste de germinação

Foi conduzido seguindo os procedimentos descritos na Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), exceto o número de sementes que foi de 200 em quatro repetições de 50 sementes. A semeadura deu-se em substrato de vermiculita e a quantidade de água adicionada ao substrato obedeceu às recomendações de BRASIL (2009), onde foram utilizados 60% da requerida para a saturação do mesmo. A instalação deu-se em condições de laboratório no Instituto Federal de Belo Jardim, PE, sem controle de temperatura e umidade relativa do ar. Tendo sido adotado na classificação das plântulas normais e anormais de acordo com a metodologia descrita em BRASIL (2009).

4.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram avaliados com uso do software ASSISTAT versão 7.6 (SILVA e AZEVÊDO, 2002), em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em que os experimentos foram dispostos em esquema fatorial com 4 repetições e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise Fitoquímica

Em relação às análises fitoquímicas, realizadas com os extratos hidroalcoolicos, obtiveram-se os resultados contidos na Tabela 5.1. Entre os grupos químicos pesquisados neste trabalho, cujos resultados estão apresentados na tabela 5.1, a espécie *Artocarpus heterophyllus* (Matruz) apresentou-se positiva para antocianina, flavonóide e esteróide, já a espécie *Chenopodium ambrosioides* (Jaqueira) foi positiva para tanino, triterpeno e saponina o que confere com a descrição de Almeida (1993); Goda et al. (1999); Lorenzi e Matos (2002).

Tabela 5.1. Resultados dos testes empregados na fitoquímica dos extratos em pó e hidroalcoolicos do Mastruz e da Jaqueira estudados

Compostos fitoquímicos	<i>Chenopodium ambrosioides</i> (mastruz - parte aérea)	<i>Artocarpus heterophyllus</i> (jaqueira-casca)
Tanino	-	+
Antocianina	+	-
Catequina	-	-
Flavonóide	+	-
Esteróide	+	-
Triterpeno	-	+
Saponina	-	+
Coumarina	-	-
Alcalóide	-	-

Conversões: (+) presença do composto fotoquímico; (-) ausência do composto fotoquímico

Os resultados das análises fitoquímica dos extratos de Mastruz e da casca do caule da Jaqueira resultou uma composição de compostos que possibilita uma ação toxica inibindo o desenvolvimento do inseto praga de grãos e sementes armazenadas *zabrotes subfasciatus* em estudo. Verifica-se que o extrato da jaqueira apresenta triterpeno que resultam da união de cadeia de 15 carbonos (RODRIGUEZ-CONCEPCIÓN e BORONAT, 2002). Os esteróides mais importantes da subclasse dos terpenos apresentam efeito deterrente de insetos além de outros efeitos tóxicos como foi

analisado por Taiz e Zeiger (1998) estudando a fitoquímica das plantas. Entretanto, os terpenos de expressão constitutiva se compõem na estratégia de defesa prévia das plantas contra os estresses bióticos e abióticos, além de uma defesa induzida, biologicamente desde a rapidez de resposta e quantidade de metabolitos produzidos, até a eficiência da molécula de defesa. Com isso ganha importância para estudos de plantas com ação inseticidas.

Os taninos, compostos formados pela polimerização de unidades de flavonóides são dissuasivos (deterrentes) de alimentação por herbívoros e atuam também como antimicrobianos (TAIZ e ZEIGER, 1998). As propriedades defensivas dos taninos são geralmente atribuídas a sua habilidade em se ligar às proteínas, como outros fenólicos, dificultando a digestão nos insetos. A limitação da disponibilidade de proteínas também deve ser fator de inibição do crescimento e desenvolvimento dos patógenos afirma Mairesse (2005), estudando a bioatividade de plantas no controle de insetos.

As determinações baseadas nas propriedades clássicas das saponinas têm sido verificadas no extrato da casca da Jaqueira. No entanto pode relacionar para esse composto uma ação tóxica contribuindo para a mortalidade dos insetos adultos nos bioensaios. Segundo hipóteses mais recentes, metabolitos secundários de plantas seriam formados com a função de defender a espécie de predadores. Por isso, não é surpreendente que muitas plantas acumulem substâncias de elevada toxicidade (SIMÕES et al., 2004).

O mastruz apresenta na semente uma maior concentração do princípio ativo tóxico comparando com as demais partes da planta. Os constituintes químicos dos seus extratos foi verificado a presença de flavonóides que atua como estimulantes da circulação sanguínea, o termo flavonóide envolve todo um grupo de compostos polifenólicos complexos que apresenta uma estrutura comum caracterizada por dois anéis aromáticos e um anel heterociclo oxigenado (WILHELM FILHO, 2001).

Jennings et. al. (1986) verificaram nos seus experimentos com extratos de *Delphinium geyeri Greene* a presença de flavonóides, substância isolada dessa planta, que apresentou maior atividade inibindo os receptores de acetilcolinesterase de insetos de forma mais potente que a nicotina. As plantas tem sido uma importante fonte de substâncias químicas com diferentes estruturas e com diversas atividades contra insetos. A busca de inseticidas constitui-se num novo campo de investigação aberto, amplo e contínuo.

Testes *in vitro* realizados com extratos ricos em taninos ou com taninos puros têm sido identificados ações bactericida, fungicida e antiviral (MUELLER-HARVEY e MCALLAN, 1992, TYLER, 1994, ROBBERS et al., 1997).

As saponinas são constituintes vegetais glicosídicos com um componente terpenóide aglicona. Possuem ação afrogênica devido sua tendência de formar espuma estável quando agitadas água, não propriamente emulsifica, mas determina uma alteração da tensão superficial da mucosa provocando polarização, que resulta em efeito cáustico no tecido. Assim, a saponina deve ser o componente verdadeiramente irritante. Em doses terapêuticas, as saponinas são princípio ativo de alguns medicamentos mucolíticos (MENON-MIYAKE et al., 2005).

Alguns autores argumentam que a irritação do trato respiratório aumentaria o volume do fluido respiratório, hidratando a secreção brônquica. O muco teria, então, sua viscosidade diminuída. Outra possibilidade seria devido à atividade superficial das saponinas, também originando menor viscosidade e maior facilidade de expulsão do muco, o que poderia auxiliar o tratamento da sinusite, porém alta concentração plasmática deste metabólito pode apresentar efeito tóxico nas células, causando distúrbios gástricos, náusea e vômito (SCHULZ et al., 2002). Tem-se também relatada a atividade antibacteriana e antifúngica a esta classe de metabólitos secundários (AVATO et al., 2006, BARILE et al., 2007).

As diferenças nos resultados obtidos, em relação a outros trabalhos citados, podem ser explicadas pelo momento em que o material vegetal foi coletado, e pelas diferenças nas normais climatológicas, o que altera a produção de metabólitos pelas plantas, e conseqüentemente os extratos podem apresentar concentrações diferentes daquelas substâncias que possuem bioatividade sobre o inseto estudado. No presente estudo verifica-se que o extrato de jaqueira mais eficiente que o de mastruz em matar o inseto adulto razão que se deve, conforme o estudo da fitoquímica a presença de triterpeno, tanino e saponina enquanto a menor eficiência do mastruz em matar os adultos de *Z.subfasciatus* deve-se a menor eficiência dos compostos flavanoide e esteróide em atuar com inseticida nas doses e condições do trabalho frente aos triterpeno, tanino e saponina presentes na jaqueira.

5.2 Teste de “livre escolha”

Na Tabela 5.2 observa-se pela a análise de variância dos dados de procedimento efeito altamente significativo, assim como para a sua interação com extrato. A não

significância de extratos indica que isoladamente estes atuam igualmente sobre a variável repelência e/ou atratividade.

Tabela 5.2. Resultados da análise de variância do teste de repelência e atratividade do *Zabrotes subfasciatus* aos extratos de mastruz e jaqueira

F.V.	G.L	S.Q.	Q.M.	F
Extrato (E)	1	0,22	0,22	0,00 ^{NS}
Proced. (P)	1	2955,05	2255,05	99,80 ^{**}
E x P	1	1301,87	1301,87	43,97 ^{**}
Tratamentos	3	4257,15	1419,05	47,92 ^{**}
Resíduo	8	236,86	29,60	-
Total	11	4494,01	-	-

** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$)

Mediante os dados da Tabela 5.3, constata-se que o extrato da jaqueira foi mais sensível a ação de repelência (41,66%) que o de mastruz (21,01%) em 20,56 pontos percentuais, ocorrendo o inverso com a atratividade, onde o extrato do mastruz atraiu os adultos do *Zabrotes subfasciatus* em 73,32% contra 52,21% da jaqueira, indicando que o extrato em pó quer da jaqueira quer do mastruz são em média mais atrativos (62,76%) a este inseto praga de armazenamento do feijão do que repelentes (31,38%), fato que se deve aos princípios ativos de seus constituintes, conforme discutido no item anterior, em que os constituintes triterpenos da jaqueira e esteróides do mastruz entre os demais não foram repelentes e/ou atrativos ao *Zabrotes subfasciatus*.

Tabela 5.3. Efeito dos extratos de mastruz e jaqueira, em porcentagem, sobre a repelência e atratividade de adultos de *Zabrotes subfasciatus* revelado pela interação extratos x procedimentos após 48 h de sua aplicação

Extrato	Procedimento	
	Repelência	Atratividade
Mastruz	21,10bB	73,32aA
Jaqueira	41,66aB	52,21bA
DMS para colunas: 10,24; Classific.c/letras minúsculas	DMS para linhas: 10,24; Classific.c/letras maiúsculas	MG:47,07 CV: 11,55

Ademais, a semente de jaca, assim como a de muitos vegetais, contém uma classe especial de proteínas, as lectinas. Alectina KM+, presente na semente de jaca, além da propriedade de induzir a migração de neutrófilos e proliferação celular, favorece a regeneração, que é feita pela substituição do tecido lesado por tecido normal em vez de tecido cicatricial (BARREIRA, 2004). Lectinas correspondem a uma classe de proteínas presentes em diferentes organismos, incluindo o homem. Suas estruturas moleculares são diferenciadas, proporcionando o encaixe específico com açúcares de superfícies celulares. Esse reconhecimento de açúcares feito pela lectina da semente de jaca, denominada KM+, é responsável por desencadear reações celulares que induzem o comportamento ideal do tecido diante de queimaduras. Um estudo experimental com esta proteína em queimaduras mostrou que as lesões são regeneradas de modo acelerado, a necrose tecidual é evitada e o tecido que se recompõe não é fibrótico, cicatricial, mas sim formado por células sadias, funcionais, fato demonstrado pela repilificação precoce do local lesado (BARREIRA, 2005).

Os terpenos estão envolvidos em diferentes funções nos vegetais, desde a composição de alguns óleos essenciais de plantas (monoterpenos), o que confere características como a atração de polinizadores; ação inseticida e antimicrobiana (sesquiterpenos), dentre outras (OLIVEIRA, 2008). Vários terpenos já são conhecidos e utilizados pelo homem devido suas propriedades inseticidas, e aromáticas dos óleos essenciais derivados dos monoterpenos (VIEGAS Jr., 2003).

Os compostos fenólicos pertencem a uma classe de compostos com estruturas bastante diversificadas e possuem pelo menos um anel aromático no qual, pelo menos um hidrogênio é substituído por um grupamento hidroxila (OH-) (CARVALHO et al., 2002). Os compostos fenólicos tendem a se solubilizar em água e podem estar ligados a açúcares. São compostos instáveis, facilmente oxidáveis em pH alcalino. Do ponto de vista farmacológico possuem atividade anti-séptica, antiinflamatória e podem inibir atividade enzimática (BRUNETON, 1995).

Essa classe de compostos é conhecida pela presença de substâncias que possuem acentuado efeito no sistema nervoso, sendo muitas delas largamente utilizadas como venenos ou alucinógenos (PERES, 2008). Como exemplo desse potencial alucinógeno tem-se o alcalóide conhecido como DMT, N, N-dimetiltriptamina (PACHTER et al., 1959).

Estudos realizados por Tavares (2006), com *Chenopodium ambrosioides* no controle de insetos praga de grãos armazenados, o mesmo observou para o extrato em

pó das folhas desta espécie misturados aos grãos de trigo atraiu os insetos, em maior percentual (57,8%) em comparação com a testemunha 42,2%.

Mazzonetto (2002) estudando o efeito associado de pós-vegetais da parte aérea de *C. ambrosioides* sobre vários genótipos de feijoeiro, constatou efeito repelente para *Z. subfasciatus* e *A. obtectus*.

Observa-se ainda, pelos resultados da Tabela 5.3, que a repelência foi inferior a atratividade para ambos os pós e, os extratos (pó) da Jaqueira apontou mais promissora na repelência do que o mastruz, o efeito está associado aos triterpeno presente no pó da Jaqueira que apresenta uma ação inibitória para o desenvolvimento dos insetos. Os terpenos grupo dos triterpeno, possuem, também, diversas funções nas plantas atuando como fitoalexinas, repelentes de insetos, agentes de atração polínica, agentes de defesa contra herbívoros, feromônios, hormônios vegetais, moléculas de sinalização e aleloquímicos (SILVA et al., 2009).

Malik e Naqvi (1984) testaram sete plantas indígenas para verificar seu potencial repelente sobre o inseto praga *T. castaneum* e sua atividade antialimentar sobre *R. dorminica*, ambos pragas de grãos armazenados e, poderão constatar que o rizoma de *Saussurea lappa* demonstrou melhor atividade repelente, e extratos de folhas de *C. ambrosioides* apresentaram o maior efeito antialimentar sobre estes insetos. Igualmente foi encontrado efeito repelente para *Sitophilus zeamais* efeito repelente desta do extrato em pó desta obtido das folhas, flores e frutos dessa espécie vegetal por Procópio et al. (2003), tendo sido posteriormente observado por Tavares e Vendramim (2005) estudando a bioatividade desses extratos sobre a referida praga. Ademais, o extrato do mastruz pode conter outras substâncias que podem estar relacionada com a repelência do *Zabrotes subfasciatus*, como constatado no presente estudo. Estes resultados vem a comprovar afirmações feitas anteriormente por Novo, Viglianco e Nasseta (1997) ao afirmarem que extratos de *C. ambrosioides* possuem atividade repelente a insetos pragas de grãos armazenados com possibilidade dos mesmos vir a serem utilizados no controle desta praga de armazenamento.

5.3 Teste de Mortalidade

Analisando-se a Tabela 5.4 verificam-se efeitos altamente significativos ($p < 0,01$) para dose e a interação dose x extratos e que, isoladamente os extratos apresentam

o mesmo poder inseticida em controlar os adultos do *Zabrotes subfasciatus* não presentes em uma massa de grão por meio de aplicações na forma de nebulização.

Tabela 5.4. . Resultados da análise de variância do teste de mortalidade do *Zabrotes subfasciatus* pelos extratos de mastruz e jaqueira

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Extrato (E)	1	24,30	24,30	0,72 ^{NS}
Dose (D)	4	5723,39	1430,84	42,58 ^{**}
E x D	4	8234,99	2058,74	61,27 ^{**}
Tratamentos	9	13982,69	1553,63	46,24 ^{**}
Resíduo	20	671,95	33,59	-
Total	29	14654,65		-

**significativo a de 1% de probabilidade ($p < 0,01$) e ^{NS} não significativo ($p \geq 0,05$)

A porcentagem média de *Zabrotes subfasciatus* mortos pela ação dos extratos (Tabela 5.5.), revelado pela interação extratos x dose, em testes em que os extratos foram levados aos insetos adultos na forma de vapor (nebulização), revela que a partir da dose de 6 ml quer para o extrato do mastruz quer para o da jaqueira, estes atuaram matando em 100% os *Zabrotes subfasciatus* adultos. Isto é, estatisticamente a partir da dose de 6 ml pode-se optar por qualquer um dos extratos. Esta resposta apresenta entre outras vantagens, aos futuros usuários, o uso das plantas em função da facilidade e disponibilidade das mesmas nas regiões em que se encontram as propriedades agrícolas.

Tabela 5.5. Efeito da mortalidade, em porcentagem, dos extratos de mastruz e jaqueira sobre adultos de *Zabrotes subfasciatus* revelada pela interação extratos x dose após 48 h de sua aplicação

Extrato	Dose (ml)				
	2	4	6	8	10
Mastruz	2,22bB	96,77aA	100,00aA	100,00aA	100,00aA
Jaqueira	100,00 aB	40,00bB	100,00aA	100,00aA	100,00aA
DMS para colunas =	9,87	DMS para linhas =	14,18	CV% =	6,52

Estes resultados comprovam ação inseticida da Jaqueira quando verificamos na análise fotoquímica atividade tóxica devido à presença dos triterpeno para o desenvolvimento dos insetos.

Tapondjou et al., (2002), trabalhando com folhas de mastruz determinou, como principais constituintes químicos: triterpeno, cimol, ascaridol, detentores de ação de repelência e mortalidade de insetos em grãos armazenados. Com base nesses resultados e, nos resultados da fotoquímica desta pesquisa (Tabela 5.1), podemos afirmar que a mortalidade do *Zabrotes Subfasciatus*, revelado pelo extrato hidroalcoólico do mastruz, neste trabalho, se deve aos compostos bioativos com ação inseticida presente neste extrato, entre os quais se apresenta os revelados no estudo da fotoquímica: antocianina, flavonóide e esteróide.

As diferenças nos resultados obtidos, em relação a outros trabalhos citados, podem ser explicadas pelo momento em que o material vegetal foi coletado, e pelas diferenças nas normais climatológicas, o que altera a produção de metabólitos pelas plantas, e conseqüentemente os extratos podem apresentar concentrações diferentes daquelas substâncias que possuem bioatividade sobre o inseto estudado. No presente estudo verifica-se que o extrato de jaqueira foi mais eficiente que o de mastruz em matar o inseto adulto, razão que se deve, conforme o estudo da fitoquímica, a presença de triterpeno, tanino e saponina enquanto a menor eficiência do mastruz em matar os adultos de *Z.subfasciatus* deve-se a menor eficiência dos compostos flavanóide e esteróide em atuar com inseticida nas doses e condições do trabalho frente aos triterpeno, tanino e saponina presentes na jaqueira.

Saito et al. (1989) estudaram a ação inseticida de 30 espécies vegetais em relação a diferentes insetos, entre estes o *Zabrotes subfasciatus*, concluíram que o *Zabrotes subfasciatus* foi mais sensível ao extrato hidroalcoólico de *Potomorphe umbellata* frente as demais espécies testada, onde o mesmo foi controlado (morto) em mais de 40%. Em comparação aos resultados deste trabalho, observa-se que a partir da dose de 6 ml quer para o extrato hidroalcoólico de jaqueira quer para o do mastruz o controle foi total, com 100% de mortalidade com o extrato aplicado diretamente pelo método do vapor sobre os insetos adultos do *Zabrotes subfasciatus* depois de 24 h da aplicação.

Ademais, conforme referenciado no estudo da fotoquímica, item 5.1, tem sido verificado no extrato da casca da jaqueira a presença de saponinas que devido a ação toxica de suas propriedades contribuíram para a mortalidade dos adultos de *Zabrotes subfasciatus* dos bioensaios. Uma outra atribuição é a de que metabólitos secundários de plantas seriam formados com a função de defender a espécie de predadores. Por isso,

não é surpreendente que muitas plantas acumulem substâncias de elevada toxicidade (SIMÕES et al., 2004).

Com relação ao mastruz, Wilhelm Filho (2001) verificou que o mesmo apresenta na semente uma maior concentração do princípio ativo tóxico comparando com as demais partes da planta, onde a presença de flavonóides atua como estimulantes da circulação sanguínea. Ademais, este envolve todo um grupo de compostos polifenólicos complexos que apresenta uma estrutura comum caracterizada por dois anéis aromáticos e um anel heterociclo oxigenado, que farmacologicamente possuem atividade anti-séptica, antiinflamatória e podem inibir atividade enzimática (BRUNETON, 1995).

5.4 Armazenamento

5.4.1 Infestação

Mediante os dados contidos na Tabela 5.6 revelados pela análise de variância, tem-se efeito altamente significativo para dose, procedimento e a interação dupla dose x procedimento. O efeito não significativo de extrato indica que estes não diferiram estatisticamente no controle do *Zabrotes subfasciatus*, assim como as interações não significativas, indica que não há efeitos de um fator sobre o outro; estes atuam isoladamente.

Tabela 5.6 Análise de variância da infestação de sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L. tratadas com extratos de mastruz e jaqueira e armazenadas em ambiente não controlado, durante 120 dias

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Extratos (E)	1	6,75	6,75	2,23 ^{ns}
Doses (d)	3	432,25	144,08	47,69 **
Procedimentos(p)	1	2670,08	2670,08	883,88 **
ExD	3	14,25	4,75	1,57 ^{ns}
ExP	1	0,08	0,08	0,02 ^{ns}
DxP	3	90,91	30,30	10,03 **
ExDxP	3	76,91	25,63	8,48**
Tratamento	15	3291,25	219,41	72,63
Resíduo	32	96,66	3,02	
Total	47	3387,91		
CV%= 16,48				

** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$)

Conforme os dados da Tabela 5.7, observa-se que os extratos indiferentemente controlaram o *Zabrotes subfasciatus* presentes na massa de grãos/sementes em aproximadamente 90%, isto significa que a infestação foi de 10% depois de 120 dias de armazenamento e, que para a massa de feijão não inoculada com *Zabrotes subfasciatus*, a infestação foi de apenas 3,08% que estatisticamente foi bem inferior a infestação da massa de sementes inoculada com este inseto praga de armazenamento (18,0%). Ainda, se observa, nesta mesma tabela, melhor controle desse inseto quando do emprego das doses de 6 e 10 mL, as quais controlaram igualmente, conforme a estatística, o desenvolvimento desse inseto na massa de grãos armazenadas em aproximadamente 92%.

Tabela 5.7. Valores médios da infestação (%), revelados pelos fatores extratos, procedimento e doses em sementes de feijão inoculadas e não inoculadas com *Zabrotes subfasciatus*, armazenada por 120 dias, em embalagem de PET

Extrato	Infestação				
	Procedimentos		Doses		
				0	15,33 a
Mastruz	10,16 a	Inoculado	18,00 a	6	8,16 c
Jaqueira	10,91 a	Não Inoculado	3,08 b	8	10,83 b
				10	7,83 c
DMS=1,02		DMS=1,02		DMS= 1,92	

Conforme os dados da interação dose x procedimento (Tabela 5.8), verifica-se menor infestação, para o procedimento inoculado, depois de 120 dias da armazenagem quando estas foram tratadas com os extratos de jaqueira e mastruz nas doses de 6 e 10 mL e, no procedimento não inoculado, o controle foi de 100% quando se aplicou a dose de 10 mL com igualdade estatística para as doses de 6 e 8 mL; confirmando os resultados apresentados anteriormente para os dados contidos na Tabela 5.7.

Tabela 5.8. Valores médios da infestação (%) para a interação dose x procedimentos em sementes de feijão inoculadas e não inoculadas com *Zabrotes subfasciatus* tratadas com extratos vegetais em diferentes doses e armazenadas por 120 dias, em embalagem de PET

Doses (mL)	Procedimentos	
	Inoculado	Não inoculado
0	20,66 aA	10,00 aB
6	15,66 bA	0,66 bB
8	20,00 aA	0,66 bB
10	15,66 bA	0,00 bB

DMS para colunas = 2,7158 (letras maiúsculas) DMS para linhas = 2,0453 (letras minúsculas)

A baixa porcentagem de infestação demonstra a ação eficiente dos extratos estudados. No caso do extrato do mastruz, esta baixa infestação deve-se provavelmente, a ação da antocianina, flavonóide e esteróide e, no caso da jaqueira a tanino, triterpeno e saponina, revelado na análise da fitoquímica (Tabela 5.1). cuja atividades desses podem debilitam o sistema nervoso central do inseto e, como inseticida atua como potente inibidor da respiração dos mesmos. Isto é: o efeito inseticida dos extratos vegetais, estudados no presente trabalho, que inibiu e, ou, controlou a infestação do químicos. Coitinho (2009) apresenta muitos compostos de *Zabrotes subfasciatus*, inoculado na massa de sementes de feijão, deve-se a seus constituintes origem vegetal com ação inseticida tais como: os terpenóides, limonóides, rocamidas, furanocumarina, cromenos, alcalóides e acetogeninas, os triterpenos e alcalóides atuam com potente atividade inibitória da respiração dos insetos.

Silva Júnior (2011) trabalhando com extratos hidroalcoólico de pinha e pimenta do reino sobre à infestação de milho armazenado com *Sitophilus zeamais* inoculado a massa de semente; constatou, depois de 180 dias do armazenamento, menor infestação para as sementes tratadas com as maiores doses desses extratos, o que em parte concorda com os resultados deste trabalho, assim como o tempo de estocagem contribui para o aumento do percentual de infestação.

A eficiência dos derivados dos extratos de jaqueira e mastruz sobre o *Z. subfasciatus*, registrado neste trabalho, pode ter sido causada pela inibição da ecdise, sendo este um dos principais efeitos devido à ingestão dos princípios ativos (os triterpenos e esteróides), a qual reduz a concentração e atrasa o efeito do ecdisônio na hemolinfa do inseto, conforme observado por Mordue (Luntz) e Blackwell (1993) tratando do efeito da azadirachtin. Nas condições em que o trabalho foi conduzido, com avaliações durante 120 dias de armazenamento, o *Zabrotes subfasciatus* realizou varias

ovulações atingindo o estágio adulto em vários tempos. Como a avaliação foi feita a cada 30 dias de armazenamento, a ação dos compostos destes extratos podem ter afetado a ecdise dos insetos, resultando em mortalidade, assim como a reprodução, desenvolvimento e longevidade podem ter sido alterado pela ação dos extratos, como observado para o extrato do nim por (LOWERY E ISMAN, 1996) Segundo Schmutterer (1990) esse efeito causa, em clima tropicais, a mortalidade em poucos dias.

De acordo com Salant e Mitchell (MORAIS, et al., 2005) o *Chenopodium ambrosioides var. anthelminticum*, quando injetado na corrente sanguínea de animais (coelhos, gatos e cachorros), o óleo provoca uma depressão da circulação, respiração e movimentos intestinais, igualmente deve ter ocorrido com o extrato do mastruz utilizado para controlar o *Zabrotes subfasciatus* presente na massa de sementes do feijão *Phaseolus* armazenada durante o tempo de 120 dias, isto é, as substâncias presentes neste extrato atuou inibindo, controlando ou impedindo o desenvolvimento das diferentes fases deste inseto, inclusive provocando a morte, conforme verificado no experimento sobre a mortalidade deste inseto adulto descrito no item 5.3 (teste de mortalidade).

As saponinas e os fenólicos são substâncias antinutricionais (SANTOS, et al., 1999; VIEIRA et al., 2001) e estes últimos (fenóis) formam complexo com proteínas que reduzem a digestibilidade, pelo que devem ter sido responsáveis em inibir a atividade do *Zabrotes subfasciatus* presente no feijão controlando a infestação na massa armazenada, no presente trabalho.

5.4.2. Perca de peso

Em Análise a Tabela 5.9, referente a perda de peso das sementes de feijão *Phaseolus* armazenadas em ambiente não controlado do LAPPA pelo tempo de 120 dias em embalagem de PET e tratadas com extratos de mastruz e jaqueira, observa-se efeito significativo (1 e 5% de probabilidade) para todos os fatores e suas interações duplas.

Tabela 5.9. Análise de variância da perda de peso das sementes de feijão *Phaseolus* tratadas com extratos de mastruz e jaqueira e armazenadas em ambiente não controlado, durante 120 dias

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Dose (D)	3	640,70	213,56	43,24 **
Procedimentos(P)	1	4652,55	4652,55	942,05 **
E x D	3	64,19	21,39	4,33*
E x P	3	72,09	24,03	4,86**
Tratamentos	15	5552,57	370,17	74,95**
Resíduo	32	158,03	4,93	
Total	47	8903,95		
CV%			17,53	

** significativo 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo 5% de probabilidade ($0,01 \leq 0,05$);

Analisando o comportamento da perda de peso das sementes de feijão *Phaseolus* tratadas com extratos de mastruz e jaqueira ao longo do 120 dias de armazenamento (Tabela 5,10), percebe-se igualdade estatística nas doses de 6, 8 e 10 mL para o extrato de jaqueira e que essas conseguiram reduzir a perda de peso em 8,69% pontos percentuais em relação as sementes que não receberam o extrato (testemunha), Comportamento similar se deu para as sementes tratadas com extrato de mastruz, em que se constatou redução da perda de peso, já na menor dose utilizada (6 mL).

Segundo Almeida et al, (2005) insetos como *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) considerado como um importante inseto-praga do feijão armazenado, tem seus danos decorrentes da penetração e alimentação das larvas no interior das sementes, provocando perda de peso, redução do poder germinativo, do valor nutritivo das sementes e grãos, e do grau de higiene do produto, pela presença de excrementos, ovos e insetos.

Tabela 5.10. Valores médios da perda de peso (%) para a interação E x D em sementes de feijão *Phaseolus* inoculadas e não inoculadas com *Zabrotes subfasciatus* tratadas com extratos vegetais em diferentes doses e armazenadas por 120 dias, em embalagem de PET

Extrato	Dose mL			
	0	6	8	10
Mastruz	17,90 aA	8,90 aC	14,08 aB	7,95 bC
Jaqueira	19,40 aA	11,02 aB	11,13 bB	11,00 aB

DMS para coluna = 2,61; DMS para linha = 3,47; Médias seguida da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Com relação ao efeito das doses dentro de cada extrato percebe-se que apenas as doses 0 e 6 mL não revelaram diferença estatística, Para as demais doses constata-se efeito diferenciado, em que a menor perda de peso foi detectada no extrato de jaqueira na dose de 8 mL e comportamento contrario foi observado na dose de 10 mL, em que o menor percentual foi observado no extrato mastruz.

Referidos resultados são importantes especialmente porque o controle de insetos-praga do feijão *Phaseolus* armazenado, é feito, predominantemente, por meio de produtos químicos que, além de agredirem o meio ambiente, têm trazido problemas à saúde humana, Desta forma, o uso de extratos naturais e aqui, especificamente, os de mastruz e jaqueira, no controle da qualidade das sementes de feijão *Phaseolus*, apresenta as vantagens de manter a qualidade das sementes durante a estocagem, menor impacto ambiental e maior segurança para o homem, tanto para o que aplica o produto quanto para o consumidor final, o que contribui para uma qualidade melhor de vida;

Mediante o resultado (Tabela 5.11) relativo à quantidade (doses) dos extratos que foram aplicados nas sementes para controle do *Z. subfasciatus*, observa-se igualdade estatística nas doses de 6, 8 e 10 mL no procedimento não inoculado, Tem-se ainda para esse procedimento que a dose de 10 mL conservou essas sementes durante todo o armazenamento, visto que a perda foi de 0%.

Puzzi (2000) descreveu os insetos que atacam as sementes armazenadas, mencionando que na fase inicial os insetos se alimentam quase que exclusivamente do endosperma e depois do embrião, o que causa perda de peso, de nutrientes e do poder germinativo.

Tabela 5.11. Valores médios da perda de peso (%) para a interação D x P em sementes de feijão *Phaseolus* inoculadas e não inoculadas com *Zabrotes subfasciatus* tratadas com extratos vegetais em diferentes doses e armazenadas por 120 dias, em embalagem de PET

Doses (mL)	Procedimentos	
	Inoculado	Não inoculado
0	27,30 aA	10,00 aB
6	19,32 bA	0,60 bB
8	25,50 aA	0,71 bB
10	18,93 bA	0,00 bB

DMS para coluna = 3,47; DMS para linha = 2,61; Médias seguida da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Para o procedimento inoculado, tem-se que a dose de 8 mL teve comportamento semelhante a dose de 0 mL (testemunha), as quais foram superiores em 7,27% as doses de 6 e 10 mL, iguais estatisticamente,

Observando o comportamento individual de cada procedimento dentro das doses utilizadas, nota-se superioridade estatística na perda de peso em todas as doses utilizadas do procedimento inoculado frente ao não inoculo.

5.4.3. Germinação das sementes de feijão

A análises de variância e coeficiente de variação correspondente ao percentual de germinação presente nas sementes de feijão, variedade “mulatinho”, armazenadas em ambiente não controlado do LAPP, pelo tempo de 120 dias, em embalagem de PET e tratadas com extratos de mastruz e jaqueira, se encontram na Tabela 5.12. em que se observa efeito significativo a 1 e 5% de probabilidade para todos os fatores e suas interações duplas, exceto para a interação dupla extrato (E) x procedimento (P).

Tabela 5.12. Análise de variância da germinação de sementes de feijão *Phaseolus* tratadas com extratos de mastruz e jaqueira e armazenadas em ambiente não controlado, durante 120 dias

F,V	G,L	S,Q	Q,M	F
Extrato (E)	1	51,04	51,04	6,83*
Dose (D)	3	1240,45	413,48	55,36**
Procedimento (P)	1	330,04	330,04	44,18**
Tempo (T)	1	1998,37	1998,37	267,56**
E x D	3	670,45	223,48	29,92**
E x P	1	18,37	18,37	2,46 ^{ns}
E x T	1	330,04	330,04	44,18**
D x P	3	410,79	136,93	18,33**
D x T	3	1626,45	542,15	72,58**
P x T	1	315,37	315,37	42,22**
E x D x P	3	538,45	179,48	24,03**
E x D x T	3	405,45	135,15	18,09**
E x P x T	1	7,04	7,04	0,94 ^{ns}
D x P x T	3	393,12	131,04	17,54**
Tratamentos	31	8425,95	271,80	36,39**
Resíduo	64	478,00	7,46	
Total	95	8903,95		
CV%			3,86	

** significativo 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo 5% de probabilidade ($0,01 \leq 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$)

Avaliando a germinação (%) das sementes de feijão armazenadas (Tabela 5.14) em embalagens PET, constata-se que houve redução significativa no percentual da germinação à medida que as doses foram elevadas no extrato da jaqueira. Em relação ao extrato de mastruz observa-se uma igualdade estatística entre as doses de 0 e 8 mL, apresentando superioridade na germinação em relação às doses 6 e 10 mL, as quais também não diferiram estatisticamente. No entanto, quando se analisa o efeito dos extratos dentro de cada dose sobre esta variável, observa-se que o extrato da jaqueira foi menos eficiente em manter a viabilidade destas sementes, tendo esta sido de 68,33% e 63,92% quando tratadas nas doses de 8 e 10 mL, respectivamente, enquanto as tratadas com o extrato de mastruz, nestas mesmas doses, a germinação foi de 76,17% e 68,25%,

respectivamente, que estatisticamente foram superiores a germinação revelada para as tratadas com o extrato da jaqueira e, que aos quatro meses do armazenamento, o percentual de germinação foi maior para as sementes tratadas com o extrato de mastruz. Estes resultados devem-se, provavelmente, a ação de componentes existentes no extrato da jaqueira que somente se manifestara nas maiores doses (8 e 10 ml) inibindo assim a germinação das sementes.

Alves (2008) avaliando o comportamento da germinação em sementes de amendoim tratadas com extratos vegetais detectou no seu trabalho que houve redução na germinação nas sementes, quando estas foram tratadas com o extrato de nim a medida que se elevou as doses (10, 40, 70 e 100 mL).

Tabela 5.13. Valores médios da germinação (%) para a interação E x D em sementes de feijão *Phaseolus* inoculadas e não inoculadas com *Zabrotes subfasciatus* tratadas com extratos vegetais em diferentes doses e armazenadas por 120 dias, em embalagem de PET

Extrato	Dose (mL)			
	0	6	8	10
Mastruz	75,58 aA	65,50 bB	76,17 aA	68,25 aB
Jaqueira	75,58 aA	71,83 aB	68,33 bC	63,92 bD

DMS para coluna = 2,22; DMS para linha = 2,94; Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Segundo Souza (2000) o emprego de produtos de origem vegetal (extratos e óleo essenciais) no tratamento de sementes pode afetar o seu desempenho, quanto a sua qualidade fisiológica e sanitária, sendo diferentes os efeitos com as espécies vegetais empregadas.

Em estudo dos efeitos do extrato aquoso de girassol (*Helianthus annuus* L.) na germinação de sementes de milho, soja e de tomateiro, Beltrán et al, (1997) obtiveram redução significativa na germinação de sementes de tomateiro, no entanto o mesmo não foi observado com as sementes das demais plantas receptoras utilizadas.

Com relação ao efeito dos extratos dentro de cada dose tem-se, superioridade do extrato de mastruz nas doses de 8 e 10 mL, isto é, as sementes quando tratadas com estas doses apresentaram o maior percentual de germinação em relação a dose de 6 mL; comportamento contrário se observa para o extrato de jaqueira, onde tem-se o maior percentual de germinação quando as sementes receberam a menor dose do extrato (6 mL).

Carvalho e Carnelossi (2005) estudando os efeitos alopáticos do extrato aquoso de mastruz (*Chenopodium ambrosioides* L.) na germinação do tomateiro detectaram em

seu estudo que o menor percentual de germinação foi observado nas sementes que receberam a maior quantidade do extrato (75 e 100 v/v), Os dados indicam que além da redução no número de sementes germinadas houve também um atraso na germinação dessas sementes, Fato que se deve aos princípios dos constituintes contidos nestes extratos que atuam distintamente sobre a viabilidade das sementes. Afirmação que em parte comunga com as de Howe e Currie (1964) ao informarem que a ocorrência do decréscimo na germinação é explicada pelo aumento no número de larvas presentes nas sementes, maior consumo alimentar com conseqüente destruição das sementes, inclusive do embrião.

Conforme dados da Tabela 5.14. verifica-se para o procedimento Inoculado, igualdade estatística em todas as doses, exceto na dose 0 mL (testemunha) a qual apresentou superioridade estatística em relação às demais doses, Medeiros et al, (2007), avaliando o pó de folhas secas e verdes de nim sobre a qualidade das sementes de feijão caupi, observaram que as sementes tratadas com o pó de nim diferiram em relação à testemunha, que apresentou maior porcentagem de germinação.

Para o procedimento não Inoculado, observa-se igualdade nas doses 0 e 8 mL, as quais se apresentaram como mais significativa em relação às demais doses.

Tabela 5.14. Valores médios da germinação (%) para a interação D x P em sementes de feijão *Phaseolus* inoculadas e não inoculadas com *Zabrotes subfasciatus* tratadas com extratos vegetais em diferentes doses e armazenadas por 120 dias, em embalagem de PET

Doses (mL)	Procedimentos	
	Inoculado	Não Inoculado
0	79,83 aA	71,33 aB
6	69,50 bA	67,83 bA
8	71,25 bA	73,25 aA
10	69,41 bA	62,75 cB

DMS para coluna = 2,94; DMS para linha = 2,22; Médias seguida da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Ainda em análise dos dados contidos na Tabela 5.14. constata-se maior germinação nas sementes que foram submetidas ao procedimento inoculado frente ao não inoculado, nas doses de 0 e 10 mL, Para as demais doses (6 e 8 mL), houve igualdade estatística para ambos os procedimentos.

No geral, tem-se que as sementes que foram submetidas ao procedimento inoculado (10,42%) com *Z. subfasciatus* e armazenadas em embalagens de PET uma maior redução na germinação que o procedimento não inoculado (8,58%) em relação a

testemunha durante o armazenamento, e que este último pode ter sido influenciado pela eficácia dos extrato em manter o poder germinativo e por não ter recebido o inoculo,

Analisando o comportamento da germinação em sementes de feijão, cultivar “mulatinho”, submetidas a diferentes tratamentos ao longo de 120 dias de armazenamento (Tabela 5.15), constata-se que a germinação das mesmas diminui ao longo do tempo, de forma significativa.

Tabela 5.15. Valores médios da germinação (%) para a interação E x T em sementes de feijão *Phaseolus* inoculadas e não inoculadas com *Zabrotes subfasciatus* tratadas com extratos vegetais em diferentes doses e armazenadas por 120 dias, em embalagem de PET

Extratos	Tempo (dias)	
	30 dias	120 dias
Mastruz	77,79 aA	64,95 bB
Jaqueira	72,62 bA	67,20 aB

DMS para coluna = 2,82; DMS para linha = 2,14; Médias seguida da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; germinação inicial = 90,5%

Com relação aos extratos dentro de cada tempo, constata-se superioridade das sementes de feijão tratadas com o extrato de mastruz sobre o de jaqueira, em 5,17% nos primeiros 30 dias de armazenamento; comportamento contrário se deu para as sementes tratadas com o extrato de jaqueira nos 120 dias de armazenamento em que houve superioridade estatística frente ao extrato de mastruz em 2,24%.

Segundo Jiménez-Osornio (1996) vários monoterpenos, alcalóides, saponinas e glicosídeos flavonóides têm sido isolados da parte área e radicular do mastruz, Todos os metabolitos secundários identificados nessa espécie têm sido relatados como agentes alopáticos, A atividade biológica dessa espécie é ampla, afetando o desenvolvimento de vírus, fungos, nematóides e insetos.

Em análise a Figura 5.1, observa-se que as sementes tratadas com o extrato de mastruz e jaqueira as quais foram armazenadas inicialmente com 90,5% de germinação, reduziram esta para 64,95% e 67,20%, respectivamente após 120 dias de armazenamento e, que este percentual de germinação para a comercialização não atende a legislação vigente para a semente que exige germinação acima de 70% (CESM 1989).

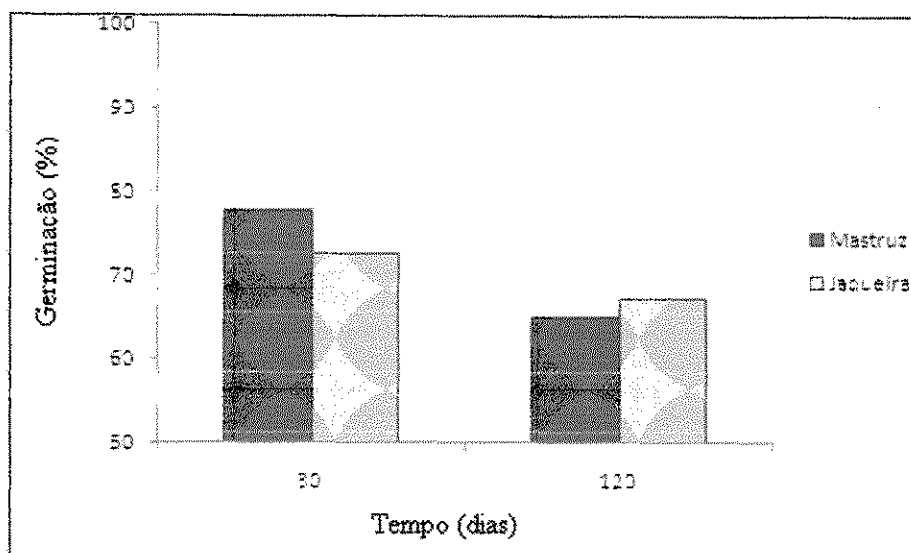


Figura 5.1. Representação gráfica da porcentagem de germinação das sementes de feijão armazenadas em embalagem de PET por 120 dias

Em análise dos dados contidos na Tabela 5.16, observa-se efeito dos dois tipos de procedimentos a que as sementes de feijão foram submetidas, onde se verifica que, a viabilidade das sementes foi reduzida, de forma significativa, com o período em que estas permaneceram armazenadas (120 dias) para ambos os procedimentos.

Tabela 5.16. Valores médios da germinação (%) para a interação P x T em sementes de feijão inoculadas e não inoculadas com *Zabrotes subfusciatus* tratadas com extratos vegetais em diferentes doses e armazenadas por 120 dias, em embalagem de PET

Procedimentos	Tempo (dias)	
	30 dias	120 dias
Inoculado	78,87 aA	66,12 aB
Não Inoculado	71,54 bA	66,04 aB

DMS para coluna = 1,57; DMS para linha = 1,57; Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; germinação inicial = 90,5%

Alguns pesquisadores concordam com estes resultados de germinação apresentados, quando afirmam que a semente depois de atingir a sua máxima qualidade fisiológica, instante esse em que possui o máximo peso seco, inicia um processo contínuo e irreversível de deterioração que não pode ser evitado, mas que pode decrescer uniformemente de maneira lenta, quando armazenado adequadamente (ALVES e LIN, 2003; ALMEIDA et al., 2009).

Em análise aos dados contidos na Tabela 5,16, tem-se comportamento distinto, para os tempos em que as sementes permaneceram armazenadas, Como se observa para o tempo de 30 dias, as sementes que receberam o inseto praga, *Z. subfasciatus*, apresentaram superioridade estatística frente às não inoculadas (7,33%), diferentemente, não foi detectado diferença significativa nos procedimentos inoculados e não inoculados aos 120 dias de armazenamento.

6. CONCLUSÕES

6. CONCLUSÕES

1. A espécie *Chenopodium ambrosioides* (Mastruz) apresenta-se positiva para antocianina, flavonóides e esteróide e *Artocarpus heterophyllus* (Jaqueira) foi positiva para tanino, triterpeno e saponina.
2. Os extratos hidroalcoolicos da casca do *Artocarpus heterophyllus* e as folhas caules e ramos do *Chenopodium ambrosioides*, comprovadamente apresentaram ação inseticida altamente eficiente (100%) no controle de *Zabrotes subfaciatus*.
3. O extrato de jaqueira foi mais sensível a ação de repelência (41,66%) que o de mastruz (21,01%), ocorrendo o inverso com a atratividade, que o extrato de *Chenopodium ambrosioides* (mastruz) atraiu os insetos adultos de *Zabrotes subfaciatus* em 73,32% contra 52,21% da jaqueira.
4. Indiferentemente, os extratos de *Artocarpus heterophyllus* e *Chenopodium ambrosioides* controlaram 100% os adultos isolados de *Zabrotes subfaciatus* a partir da dose 6ml e, em 92% após 120 dias do armazenamento nas doses 6 ml e 10 ml, quando o inseto foi inoculado na massa de sementes.
5. A bioatividade dos extratos hidroalcoolicos de *Artocarpus heterophyllus* e *Chenopodium ambrosioides* não atuaram na germinação das sementes do feijão *Phaseolus* ao longo dos 120 dias do armazenamento.
6. As sementes do feijão *Phaseolus*, tratado com os extratos hidroalcoolicos, nas doses de 8 e 10 ml apresentaram depois de 120 dias de armazenamento 68,33% e 63,92% respectivamente de germinação para o extrato de *Artocarpus heterophyllus* e 76,17 e 68,25% respectivamente, para o extrato de *Chenopodium ambrosioides*.
7. O percentual de infestação e de perda de peso das sementes de feijão provocados pelo *Zabrotes subfaciatus* diminuiu com o aumento das doses dos extratos

hidroalcoolicos de *Artocarpus heterophyllus* e *Chenopodium ambrosioides* tendo as doses de 6 e 10 ml, apresentado maior controle.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDOR, R, W, Inseticidas, In: GODFREY, C, R, A, (ed), **Agrochemical from natural products**, New Your: Marcel Dekker, 1994, p, 1.

ALMEIDA, L, D, A,; BRAGA, N, R, SANTOS, R, R,; GALLO, P, B,; PEREIRA, J, C, V, N, A, Comportamento de sementes de grão de bico na armazenagem, **Bragantia**, v, 53, n,1, p,97-102, 1997,.

ALMEIDA, F, A, C,; MORAES, J, S,; SANTOS, R, C,; ARÁUJO, E, , Influência do beneficiamento, da embalagem e do ambiente de armazenamento na qualidade sanitária de sementes de amendoim, **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, PB, v, 2, n, 2, p, 97-102, 1998.

ALMEIDA, F, A,C, VILLAMIL, J,M,P, **Insetos plagas de los granos almacenados**, Apostila de almacenamiento de granos, Madrid/UPM, 2000,

ALMEIDA S,A, **Extratos vegetais no controle ao *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) e seus efeitos na conservação do feijão *Vigna unguiculata* (L,Walp.) (C Curculionidae)**; (Engenharia Agrícola), 80f, Campina Grande: UFCG, 2003, Dissertação Mestrado,

ALMEIDA, F, de A,C,; ALMEIDA, S,A, de,; SANTOS, N,R, dos; GOMES, J,P,; ARAÚJO, M,E,R,, Efeitos de extratos alcoólicos de plantas sobre o caruncho do feijão vigna (*Callosobruchus maculatus*), **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v,9, n,4, p,585-590, 2005,

ALMEIDA, F ,A, C,; CAVALCANTI, M, F, B,S,; SANTOS, J,F,; GOMES, J,P,; E BARROS NETO, J,J,S, Viabilidade de sementes de feijão macassar tratadas com extrato vegetal e acondicionadas em dois tipos de embalagens, **Acta Scientiarum Agronomy**, v, 31, v,2, p, 345-351, 2009,

ALVES, A, C,; LIN, H, S, Tipo de embalagem, umidade inicial e período de armazenamento Em sementes de feijão, **Scientia Agraria**, v, 4, n,1-2, p, 21-26, 2003,
ALVES, N,M,C, **Comportamento da micoflora e da aflatoxina em sementes de amendoim tratadas com extratos vegetais e irradiação gama**, 2008, 129f, Dissertação (Mestrado) – UFCG - Campina Grande, PB,

ALVES N, M, C,; ALMEIDA, F, A, C,; GOMES, J,P,; LEAL, A, S, C, e SILVA, M, M, Viabilidade e micoflora de sementes de amendoim irradiadas com cobalto (60 Co), **R, Bras, Eng, Agríc, Ambiental**, v,15, n,3, p,289–295, 2011

ANTONELLO, L,M, et al, Maize seed quality after storage in different packages, **Cienc, Rural**, Santa Maria, v, 39, n, 7, 2009 ,

ANTONIALI, S,; SANCHES, J,; NACHILUK, K, **Mais alimentos ou menos perdas?** 2009, Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_3/alimentos/index.htm, Acesso em: 8 out, 2010,

ARAÚJO, R.S.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O, **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**, Piracicaba: Potafos, 1996, 786p,

ATHIÉ, I; CASTRO, M, F, P, M.; GOMES, R, A, R.; VALENTINI, S, R, T.; **Conservação de grãos**, Campinas: Fundação Cargil, 1998,

AVATO, P.; BUCCI, R.; TAVA, A.; VITALI, C.; ROSATO, A.; BIALY, Z.; JURZYSTA, M, Antimicrobial activity of saponins from *Medicago* sp, Structure-activity relationship, **Phytother Research**, v, 20, p, 454-457, 2006,

AZEREDO, G, A.; BRUNO, R, L, A.; LOPES, K, P, et al, Conservação de sementes de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) em função do beneficiamento, embalagem em ambiente de armazenamento, **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v, 35, n, 1, p,37-44, 2005,

BARILE, E.; BONANOMI, G.; ANTIGNANI V.; ZOLFAGHARI, B.; SAJJADI, S, E.; SCALA, F, e LANZOTTI, V, Saponins from *Allium minutiflorum* with antifungal activity, **Phytochemistry**, v,8, n,5, p,596-603, 2007,

BAKER, H, G, Some Aspects of the Natural History of Seed Banks, In: LECK, M.A.; PARKER, T, V.; SIMPSON, R, L, eds **Ecology of Soil Seed Banks**, New York: Academic Press, p, 9-21, 1989,

BLACKHURST, H,T.; MILLER JUNIOR., J,C, Cowpea, In: WALTER, R.; HENRY, H,H, **Hybridization of Crop Plants**, Madison: [s,n] 1980, p, 327-337,

BARREIRA, M,C,R, **Utilizando substância presente na jaca, pesquisadores da USP em Ribeirão Preto desenvolvem pomada capaz de regenerar as células em caso de queimaduras**, 2004, Disponível em: <http://www.usp.br> , Acesso em:10 out 2010,

BARREIRA, M,C,R, Pesquisadora desenvolve pomada regeneradora celular a partir de proteína da jaca, Desenvolvida na Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, 2004, Disponível em: <http://www.frmp.usp.br> , Acesso em: 20 jan 2011,

BRASIL, Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária, Departamento de Produção Vegetal, Divisão de Sementes e Mudanças, **Regras para análises de sementes (RAS)**, Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade (PBQP), Brasília: Coordenação de Laboratório Vegetal, SNDA/DNDV/CLAV, 365 p, 2009,

BRUNETON, J, Phenols and Phenolic acids In BRUNETON, J, **Pharmacognosy, phytochemistry and medical plants**, Lavoisier Press, EUA, p, 211-227, 1995,

BRUNO, R,L,A.; AZERÉDO, G,A,A.; QUEIROGA, V,P.; ARAÚJO, EGBERTO E DINIZ, E, Qualidade fisiológica e micoflora de sementes de Amendoim cv, Br-1 durante o armazenamento, **Rev, ol, fibros.**, Campina Grande, v,4, n,3, p,141-152, 2000

CARNEIRO, J, G, A.; AGUIAR, I, B, Armazenamento de sementes florestais, In: AGUIAR, I, B.; PIÑA-RODRIGUES, F, C, M, E FIGLIOLIA, M, B, (Ed), **Sementes de espécies florestais tropicais**, Brasília: ABRATES/CTSIF, 1991, 500p,

CARVALHO, L, M,.; CARNELOSSI, M, A, G, Efeitos alelopáticos do extra-to aquoso de mastruz (*Chenopodium ambrosioides* L.) na germinação do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.), **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v, 7, n, 2, p, 92-95, 2005, Beltran 1997

CARVALHO, A, A, T,.; SAMPAIO, M, C, C,.; SAMPAIO, F, C, et al, Atividade antimicrobiana *in vitro* de extratos hidroalcoólicos de *Psidium guajava* L, sobre bactérias Gram negativas, **Acta Farm, Bonaerense**, Buenos Aires, v, 21, n, 4, p,255, 2002,

CARVALHO, J,C,T,, GOSMANN, G,, SCHENKEL,E,P, Compostos fenólicos simples e heterosídicos, In: SIMÕES, C,M,O,, SCHENKEL, E,P,, GOSMAN, G,, MELLO, J,C,P,, MENTZ, L,A, PETROVICK, P,R, **Farmacognosia – da planta ao medicamento**, 4ªed, Porto Alegre/Florianópolis, Editora da Universidade, p,443-461, 2002,

CESM-Comissão Estadual de Sementes e Mudanças, **Normas técnicas para produção de sementes e mudas fiscalizadas**, João Pessoa: Delegacia Federal de Agricultura da Paraíba – Seapro (DFA/PB), 1989,

CHATTERJEE, D, Inibition of fungal growth and infection in maize grains by spice oils, Letters in: **Applied Microbiology**, Londres, v,2, 1990, p, 27,

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, 2009, Disponível em <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/4cafe08.pdf> Acesso em 18 out,2010,

Companhia Nacional de Abastecimento, **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, Quarto levantamento, janeiro 2011**, Companhia Nacional de Abastecimento, – Brasília : Conab, 2011,

CONCEIÇÃO, M, Z,.; SANTIAGO, T,.; MENTEN, J, O, M, Uma abordagem sinóptica dos últimos avanços no tratamento de sementes: produtos e equipamentos, In, VIII Simpósio Brasileiro de Patologia de sementes, João Pessoa, PB, **Anais,,** 2004,

CONDÉ, A, dos R,.; GARCIA, J, Armazenamento e embalagens de sementes de forrageira, **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v,10, n,111, p,44-49, 1984,

CORREA, M,P, **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**, Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, v,1,747 p1984,

COUTINHO, H, D, M,.; COSTA, J, G, M,.; LIMA, E, O, FALCÃO-SILVA, V, S,.; SIQUEIRA-JÚNIOR, J, P, In vitro interference of *Momordica charantia* in the resistance to aminoglycosides, **Pharmaceutical Biology**, v, 47, p, 1056–1059, 2009,

DIAS, D,C,F,S,.; VIEIRA, A,N,.; BHERING, M,C, Condutividade elétrica e lixiviação de potássio para avaliação do vigor de sementes de hortaliças: feijão de vagem e quiabo, **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v,20, n,2, p,408-413, 1998,

DECHECO, A.; MONCADA, B.; ORTIZ, M, Desarrollo de *Zabrotes subfasciatus* sobre seis variedades de frijol en Lima, **Revista Peruana de Entomologia**, Lima, v,26, p,77-79, 1986,

DEOUX, S.; DEOUX, P, **Ecologia e a saúde: o impacto da deterioração do ambiente na saúde**, Lisboa: Instituto Piaget, 1998,

EMBRAPA, **Origem e História do feijão**, Disponível em: <www.cnpaf.embrapa.br/feijao/historia>, Acesso em 17 de novembro de 2010,

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2005, Disponível em <http://www.cnpaf.embrapa.br/feijao/index.htm>, Acesso em 1 nov, 2010,

FILGUEIRA, M,A; BESERRA NETO, F, Efeito da pimenta malagueta no controle do gorgulho do caupi, *Callosobruchus maculatus* (Fabr.), **Caatinga**, Mossoró, v,6, p, 7-11, 1989,

FARONI, L, R, A.; MOLIN, L.; ANDRADE, E, T.; CARDOSO, E, G, Utilização de produtos naturais no controle de *Acanthoscelides obtectus* em feijão armazenado, In, **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v, 20, n, ½, p,44-48, 1995,

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R,P,L.; BATISTA, G,C.; BERTI FILHO,E.; PARRA, J,R,P.; ZUCCHI, R,A.; ALVES, S,B.;VENDRAMIM, J,D, **Manual de entomologia agrícola**, 2, ed, São Paulo: Agronômica Ceres, 1988,649p,

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R, P, L, et al, **Entomologia Agrícola**, Piracicaba: FEALQ, 2002,

GODA, Y.; HOSHINO, K.; AKIYAMA, II.; ISHIKAWA, T.; ABE, Y.; NAKAMURA, T.; OTSUKA, H, Constituents in watercress: inhibitors of histamine release from RBL-2H3 cells, **Biol, Pharm, Bull**, Tokyo, v,22, n,12, p,1319-1326, 1999,

GONÇALVES, E,P.; ARAÚJO, E.; ALVES, E,U.; COSTA, N, P, Tratamento químico e natural sobre a qualidade fisiológica e sanitária em sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) armazenadas, **Revista Biociências**, Porto Alegre, v,9, n,1, p,23-29, 2003,

HALSTEAD, D,G,H, The separation of *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Sitophilus oryzae* (L) (Coleoptera Curculionidae); with a summary of their distribution, **Entomologist Monthly Magazine**, OXFORD, v,99, p,72-74,1963,

HAINES, C, P, (Ed.), **Insects and arachnids of tropical stored products: their biology and identification**, 2, ed, Chatham, Kent: Natural Resources Institute, 1991,

HARRINGTON, J, Packaging seed for storage and shipment, **Seed Science and Technology**, v, 1, n,3, p, 701-709, 1973,

INNECCO, R, Controle alternativo de patógenos de sementes, In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DE SEMENTES, 8,, 2004, João Pessoa, **Anais,,** João

Pessoa: 2004, p,101-102,

ISMAN, M, B, Neem and other botanical insecticides: barriers to commercialization, *Phytoparasitica*, Bet Daga, v, 25, n,4, 1997, p,339-344, 1997,

KISMANN, K,G,; GROTH, D,Plantas infestantes e nocivas, Ludwigshven: **BASF**, v,2, p,355-356, 1992,

KUMAR, S, Performance of leaf extracts preservation of paddy seed, **Seed Research**, New Delhi, v,18,n,1, p,95-97, 1990,

JACOBSON, M, Botanical pesticides: past, present and future, In: ARNASON, J, T,; PHILOGENE, B, J, R,; MORAND, P, (Ed.), **Insecticides of plant origin**, Eashington: Annual of Chemistry Society, 1989,

JENNINGS, K,R,; BROWN, D,G,; WHIRIGHT, D,P, Methylcaconitine, a naturally occurring insecticides with a high affinity for the insects cholinergic receptor, **Experientia**, v,2, n, 6, p, 611-613, 1986,

LAJOLO, F, M,; GENOVESE, M, I,; MENEZES, E, W,Qualidade nutricional, In: ARAUJO, R, S,; GUSTÍNRAVA, C,; STONE, L, F,; ZIMMERMANN, M, J, de O,(Coords.), **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**, Piracicaba: Potafos, 1996, p, 71-99,

LIMA, J, O, G; VILELA, E, F,; ZANUNCIO, J, C, **Controle de pragas**, Viçosa: EDIT, 1979,

LEAL, T, C, A, B,; FREITAS, S, P,; SILVA, J, F,; CARVALHO, A, J, C, Avaliação do efeito da variação estacional e horário de colheita sobre o teor foliar de óleo essencial de capim-cidreira (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf), In, **Revista Ceres**, v, 48, n, 278, p, 445-453, 2001,

LORENZI, H, **Plantas Daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**, 3ª, ed, Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000,

LORENZI, H, e MATOS, F,J,A, 2002, **Plantas medicinais do Brasil: nativas e exóticas**,Instituto Plantarum, Nova Odessa, 512p,

LORENZI, H,; BACHER, L,; LACERDA, M,; SARTORI, S, **Frutas Brasileiras e exóticas cultivadas (de consumo in natura)**, São Paulo, Estituto Plantrium de estudos da Flora LTDA, 2006,640p,

LOVATTO, P,B,; GOETZE,M,; THOMÉ,G,S,H, Efeito de extratos de plantas silvestres da família Solanáceas sobre o controle de Brevicorine brassicae em couve (*Brassica oleracea* var,acephala),**Ciência Rural**,Santa Maria,v,34,n,4, 2004, p,971-978,

LOWERY, D, T,; ISMAN, M, B, Inhibition of aphid (Homoptera:Aphididae) reproduction by neem seed oil and azadiracthin, **Journal of Economic Entomology**, Manasha, v, 89, n, 3, p,602-607, 1996,

MACHADO, J,C, **Patologia de sementes: fundamentos e aplicações**, Brasília: Ministério da Educação, Lavras: ESAL/FAEPE, 1988, 107 p.

MACHADO, J, C, **Manejo sanitário de sementes no controle de doenças**, Lavras: UFLA/FAEPE, 1999.

MAIRESSE, L,A,S,; **Avaliação da bioatividade de extratos de espécies vegetais, enquanto excipientes de aleloquímicos**, Tese apresentada ao programa de pós-graduação em agronomia da Universidade Federal de Santa (UFSM – RS), Santa Maria, RS, Brasil, Janeiro de 2005.

MALIK, M,M, NAQVI, S,H,M, Screening of some indigenous plants as repellents or antifeedants for stored grain insects, **J,stored Prod, Res.,** v, 20, n,1, p, 41-44, 1984.

MATOS, F, J, de A, **Introdução à fitoquímica experimental**, 2, ed, Fortaleza: UFC, 1997.

MAZZONETTO, F, 2002, **Efeito de genótipos de feijoeiro e de pós de origem vegetal sobre Zabrotes subfasciatus (Boh.) e Acanthoscelides obtectus (Say) (Col.; Bruchidae)**, Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 134p.

MEDEIROS, D,C,; ANDRADE NETO, R,C,; FIGUEIRA L,K,; NERY, D,K,P,; MARACAJÁ, P,B, **Pó de folhas secas e verdes de nim sobre a qualidade das sementes de feijão caupi**, **Revista Caatinga**, Mossoró, v,20, n,2, p,94-99, 2007.

MENON-MIYAKE, M, A,, HILÁRIO, P,, SALDIVA, N,, LORENZI-FILHO, G,, FERREIRA, M,A, BUTUGAN, O & OLIVEIRA, R, C, **Efeitos da Luffa operculata sobre o epitélio do palato de rã: aspectos histológicos**, **Revista Brasileira de Otorrinolaringologia**, v,71, n,2, p, 32-138, 2005.

MENTEN, J,O,M, **Tratamento de sementes**, In, **Simpósio Brasileiro de Patologia de Sementes**, Gramado, RS, **Anais,,** ABRATES/COPASEM, 1996, p, 3-23.

MESQUITA, R, F, **Linhagens de feijão: composição química e digestibilidade protéica**, Dissertação (Mestrado), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras 54, p, 2005.

MIANA, G, A, et al, **Pesticidas nature: present and future perspectives**, In: COPPING, L, G, (Ed.), **Crop protection agents from nature: natural products and analogues**, Cambridge: RSC, 1996, p, 241-253.

MORAES, J, S, **Qualidade fisiológica de sementes de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) acondicionadas em três embalagens e armazenadas em duas microrregiões do Estado da Paraíba**, 99 f, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1996.

MORAES, M,H,D, **Análise sanitária de sementes tratadas**, Resumos, VIII SIMPOSIO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DE SEMENTES, **Anais,,** João Pessoa PB, 2004, pp, 12.

MORAIS, S.M.; PEREIRA, D, J.P.; SILVA, D.A.R, A.;S; MAGALHÃES,E,F, Plantas medicinais usadas pelos índios Tapebas do Ceará, **Rev, bras, farmacogn.**, v, 15, n,2, 2005.

MORDUE, (LUNTZ) A J, BLACKWELL, A, Azadirachtin: an update, **J Insect Physiol.**, v, 39, p, 903-924, 1993.

MUELLER-HARVEY, I, & MCALLAN, A, B, Tannins: their biochemistry and nutritional properties, **Advances in Plant Cell Biochemistry and Biotechnology**, v,1, p,151-217, 1992.

NOVO, R,J.; VIGLIANCO, A.; NASSETA, M, Actividad repelente de diferentes extractos vegetales sobre *Tribolium castaneum* (Herbst), **Agriscientia**, Córdoba, v,14, p, 31-36, 1997.

OFUYA, T, I, Oviposition deterrence and ovicidal properties of some plant powders against *Callosobruchus maculatus* in stored cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds, **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v, 115, 1990, p, 343-345.

OLIVEIRA, J, V, Controle de pragas de grãos armazenados com substâncias de origem vegetal, In, XVI Congresso Brasileiro de Entomologia, Salvador, 1997, **Resumos**, Salvador: SBE, 1997.

OLIVEIRA, A,M.; PACOVA, B,E.; SUDO, S.; ROCHA,A,C,M.; BARCELLOS, D,F, Incidência de *Zabrotes subfasciatus* Boheman, 1833 e *Acanthoscelides obtectus* Say 1831 em diversos cultivares de feijão armazenado (Col.: Bruchidae), **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Jaboticabal, v,8, n,1, p,47-55, 1979.

OLIVEIRA, R, B, **Terpenos e terpenóides**, Disponível no site: www.geocities.com,br/plantas, Acesso em: 15 de Fevereiro de 2008.

ONOCHA, P,A.; EKUNDAYO, O.; ERAMO, T.; LAAKSO, I, Essential oil constituents of *chenopodium ambrosioides* L, leave from Nigeria, **Journal of Essential Oil Research**, Carol Stream, v, 11, n, 2, p, 220-222, 1999.

PACHECO, I,A.; PAULA, D,C, **Insetos pragas de grãos armazenados-identificação e biologia**, Campinas: Fundação CARGILL, 1995.

PACHTER, I,J,, ZACHARIAS, D,E,, RIBEIRO, O, Indole Alkaloids of *Acer saccharinum* (the Silver Maple), *Dictyoloma incanescens*, *Piptadenia colubrina*, and *Mimosa hostilis*, **Journal of Organical Chemistry**, v, 24, p,1285-1287, 1959.

PADULOSI, S.; NG N, Q, Origin taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp, In: SINGH, B ,B.; MOHAN, R.; DASHIELL, K, E; JACKAI, L, E, N,, eds, **Advances in Cowpea Research**, Tsukuba; IITA JIRCAS, 1997, p,1-12.

PEDROSA, J, P, L.; CIRNE, M,R.; MEDEIROS NETO, J, M, Teores de bixina e proteína em sementes de urucum em função do tipo e do período de armazenamento, In,

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol, 3, n, 1, p, 121-123, 1999.

PERES, L, E, P, **Metabolismo Secundário**, Disponível no site: <http://www.ciagri.usp.br/~lazaropp>, Acesso em: 15 de Fevereiro de 2008.

PESSOA, E,B, **Controle de *Sitophilus zeamais* em milho de pipoca nas fases adulta imatura com extratos vegetais**, Campina Grande: UFCG, 57f, Dissertação de Mestrado, 2004.

PETERSON G.; KANDIL, M,A,.; ABDALLAN, M,D,.; FARAG, A,A,A, Isolation and characterization of biologically active compounds from some plants extracts, **Pesticide Science**, Oxford, v, 25, n, 4, p, 337-342, 1989.

PONTES, A, F,.; BARBOSA, M, R,V,.; MASS, P, J, M, Flora Paraibana: Annonaceae Juss, In, **Acta Bot, Bras**, vol,18, n,2, São Paulo Apr./June 2004, Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-33062004000200008&script=sci_arttext, Acesso em 28 ago, 2010l

POPINIGIS, F, 1985, **Fisiologia da Semente**, Brasília, Agiplan, 289 p.

PROCÓPIO, S, O,.; VENDRAMIM, J, D, Bioatividade de diversos pós de origem vegetal em relação à *Sitophills zeamais* Mots, (Coleoptera: Curculionidade) **Ciênc,Agrote**,, v,27, n,6, p, 1231-1236, 2003.

PUZZI, D, **Abastecimento e armazenamento de grãos**, Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2000.

RESENDE, O,.; CORRÊA, P, C,.; FARONI, L, R, D'A, CECON, P, R, Avaliação da qualidade tecnológica do feijão durante o armazenamento, **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v, 32, n,2, p, 517-524, 2008.

ROBBERS, J, E,, SPEEDIE, M,K, & TYLER, V, E, 1997, **Farmacognosia e Farmacobiotechnologia**, Ed, Premier, São Paulo.

RODRIGUEZ-CONCEPCIÓN, M, e BORONAT, A, Elucidation of the methylerythritol phosphate pathway for isoprenoid biosynthesis in bacteria and plastids, A metabolic milestone achieved through genomics, **Plant, Physiol**,, v, 130, p, 1079-1089,2002.

SAITO, M,L,.;OLIVEIRA, F,.; FELL, D,.; TAKEMATSU, A,P,.; JOCYS, T,.; OLIVEIRA, L,J, Verificação da atividade inseticida de alguns vegetais brasileiros, **Arquivos do Instituto Biológico**, v, 56, n,1/2, p,53-59, 1989.

SAITO, M,L,.; SCRAMIN, S, **Plantas aromáticas e seu uso na agricultura**, Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2004, 48p.

SAGREIRO-NIEVES, L E BARTLEY, J,P, Volatile constituents from the leaves of *Chenopodium ambrosioides* L, **Journal of Essential Oil Research**, Carol Stream, v,7, n,2, p, 221-223,1995.

SANTOS, J.B.; GAVILANES, M.L, Botânica, In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A, **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**, Viçosa: UFV, 1998, 596p, p,55-81.

SANTOS, C, M, R.; MENEZES, N, L.; VILLELA, F, A, Modificações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão no armazenamento, In, **Rev, bras, Sementes**, v,27, n,1, p, 104-114, 2005.

SANTOS, et al, **Farmacognosia: da planta ao medicamento**, Porto Alegre: editora da Universidade; Florianópolis: EdUFSC, 323-354, Disponível em: <http://www.cantoverde.org/150plantas/t.html>, Acessado em 19 jun 2010.

SCHULTZ, V,.; HANSEL, R,.; TYLER, V,E, **Fitoterapia reacional: um guia de fitoterapia para as ciências da saúde**, Manole: São Paulo, 2002.

Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária (SEAGRI), **Cultura de Jaca**, Disponível em: <<http://www.seagri.ba.gov.br/jaca.htm>>, Acesso em: 1 jun, 2009.

SIMÕES, C, M,.; SPITZER, V, Óleos voláteis, In: SIMÕES, C,M,O, et al, (Eds.), **Farmacognosia da planta ao medicamento**, 5,ed, Porto Alegre/Florianópolis: UFRS/UFSC, 2004, 586p.

SIMÕES, C,M,O,.; SPITZER,V, ÓLEOSVOLÁTEIS, In: SIMÕES, C,M,O,.; SCHENKEL, E,P,.; GOSMANN,G,.;DE MELO, J,C,P,.; MENTEZ,LA,.; PETROVICK, P,E (ED) **Farmacognosia:da planta ao medicamento** 5,ed,Porto Alegre:Editora da UFRGS; Florianópolis: Editora da UFSC,2003,CAP,18,p,467-495.

SILVA,G,.;ORREGO,O,.;HEPP,R,.;TAPPIA, M, Búsqueda de plantas com propiedades inseticidas para el control de *Sitophilus zeamais* com polvos vegetales y em mezcla carbonato de cálcio em maiz almacenado,**Ciência e Investigacion Agrária**,Santiago de Chile,v,30,n,3,p,153-160,2003.

SILVA, G; ORREGO, O.; HEPP, R.; TAPPIA, M, Búsqueda de plantas com propiedades inseticidas para El control de *Sitophilus zeamais* em maiz almacenado, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v, 40, n, 1, p, 11-17, jan, 2005.

SILVA, G,.; LAGUNES, A,.; RODRIGEZ, J, Control de *S. zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) com polvos vegetales y em mezcla carbonato de cálcio em maiz almacenado, **Ciencia e Investigacion Agrária**, Santiago de Chile, v, 30, n,3, p, 153-160, 2003.

SILVA, C,B,.; SIMIONATTO, E,.;HESS, S, C, PERES, M, T, L, P,.; SIMIONATTO, E, L,.; JUNIOR, A,W,.; POPPI, N,R, ; FACCENDA, O,.; CÂNDIDO, A, C,S,.; SCALO, S, P, Q, Composição química e atividade alelopática do óleo volátil de *hydrocotyle bonariensis* Lam (araliaceae), **Quim, Nova**, v, 32, n, 9, p, 2373-2376, 2009.

SILVA, F, A, S,.; AZEVEDO, C, A, V, Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows, **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v,4, n,1, 2002.

SILVA JUNIOR, P.J, **Medidas de controle do *Sitophilus zeamais* em sementes de milho armazenadas com extratos de *Piper nigrum* e *Annona squamosa* L**, Campina Grande : UFCG, 2004, 57f, Dissertação de Mestrado.

SIMÕES, C,M, O; SCHENKEL, E,P; GOSMANN, G; MELLO, J,C,P, de; MENTZ, L, A; PETOVICK, P,R, **Farmacognosia: da Planta ao Medicamento**, 2, Ed, Porto Alegre: Ed, UFRGS; Ed, UFSC, 2004.

SMIDERLE, O, J.; SCHWENGBER, D, R. **Rendimento e Qualidade de Sementes de Feijão-caupi em Função de Doses de Nitrogênio**, **Agroambiente**, v, 2, p, 18-21, 2008.

SU, H, C, F, **Insecticidal properties of Black pepper to Rice weevils and cowpea weevils**, **Journal of economic entomology**, Lanham, v, 70, n, 1, p, 18-21, 1977,

SOUZA, A, A, de, **Influência do horário de colheita e do tratamento sobre a qualidade das sementes do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L, r *latifolium* Hutch)**, 2000, 88 f, Dissertação Mestrado (Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB.

SOUZA, M,A,A,, BORGES, R,S,O,S,, STAR, M,L,M, e SOUZA, S,R, **Efeito de extratos aquosos, metanólicos e etanólicos de plantas medicinais sobre a germinação de sementes de alface e sobre o desenvolvimento micelial de fungos fitopatogênicos de interesse agrícola**, **Revista Universidade Rural**, v, 22, p, 181-185, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E,**Plant physiology**, 2, ed, Sunderland: Sinauer Associates, 1998, 792p.

TAVARES, M, A, G, C.; VENDRAMIN, J, D, **Bioatividade da erva-de-santa-maria, *Chenopodium ambrosioides* L., sobre *Sitophilus zeamais* Mots, (Coleoptera: Cursulionidae)**, **Neotropical Entomology**, Londrina, v, 34, n, 2, p, 319-323, 2005.

T TORRES NETO, A, B, T, et al, **Cinética e caracterização físico-química do fermentado do pseudofruto do caju (*Anacardium occidentale* L.)**, **Química Nova**, v, 29, n, 3, p, 489-492, 2006.

TAPONDJOU, L,A,, C, ADLER, H, BOUDA & D,A, FONTEM, **Efficacy of powder and essential oil from *Chenopodium ambrosioides* leaves as post-harvest grain protectants against six-stored products beetles**, **J, Stored Prod, Res.**, v, 38, p,395-402, 2002.

TAPANDJOU, L,A.; ADLER, C.; FONTEM, D,A.; BOUDA, H.; REICHMUTH, C, **Bioactives of cymol and essential oils of *Cupressus sempervirens* and *Eucalyptus saligna* against *Sitophilus zamais* Motschulsky and *Tribolium confufum* du Val**, **Journal os Stored products Research**, Oxford, v,41, p,91-102, 2005.

TAVARES, M, A, G, C, **Busca de compostos em *Chenopodium* spp, (*Chenopodiaceae*) com bioatividade em relação a pragas de grãos armazenados**, 2006, 111f, Tese (Doutorado em Ciências – Área de concentração: Entomologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

TEÓFILO, E.M.; DUTRA, A.S.; PITOMBEIRA, J.B.; DIAS, F.T.C.; BARBOSA, F.S, Potencial fisiológico de sementes de feijão caupi produzidas em duas regiões do Estado do Ceará, **Revista Ciência Agronômica**, v,39, n, 3, p,443-448, 2008.

TOLEDO, F.F.; MARCOS-FILHO, J, Manual das sementes: tecnologia da produção, São Paulo: **Agronômica Ceres**, 1977, 224p.

TYLER, V.E, 1994, **Herbs of choice: the therapeutic use of phytomedicinals**, PPP: New York.

VENDRAMIM, J, D.; CASTIGLIONE, E, Aleloquímicos, resistência e plantas inseticidas, In: GUEDES, J.C.; DRESTER, L.C., CASTIGLIONE, E, **Bases e Técnicas do Manejo de insetos**, Santa Maria: UFSM/CCR/DFS, 2000, Cap, 8, p, 113-128.

VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M, A, P.; CARNEIRO, J, E, de S, Melhoramento do feijão, In: **Melhoramento de espécies cultivadas**, 2ª edição, UFV, Viçosa, 2005, 301-391.

VIEIRA, P, C.; FERNADES, J, B.; ANDREI, C, C, **Plantas Inseticidas**, Porto Alegre: Ed, UFRGS, 2001.

VIEIRA, P, C.; MAFEZOLI, J.; BIAVATTI, M, W, Inseticidas de origem vegetal, In, FERREIRA, J, T, B.; CORRÊA, A, G.; VIEIRA, P, C, **Produtos naturais no controle de insetos**, São Carlos: EDUFSCAR, 2001.

VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T.J.; BORÉM, A, **Feijão: Aspectos gerais e cultura no estado de Minas Gerais**, Viçosa: Ed, da Universidade Federal de Viçosa, 1998, 596p,
VIEIRA, M, E, de Q, et al.; Porcentagens de Saponinas e Taninos em Vinte e Oito Cultivares de Alfafa (*Medicago sativa* L.) em Duas Épocas de Corte - Botucatu – SP, *Rev, bras, zootec.*, v, 30, n,5, p,1432-1438, 2001.

VIEIRA, A.; R, SILVA, E, M.; RODRIGUES, J, R, de M, Produção de sementes, **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v, 27, n, 232, p, 32-38, 2006.

VIEGAS-JUNIOR, C, Terpenos com atividade inseticida, Uma alternativa para controle químico de insetos, **Química nova**, São Paulo, v, 26, p, 390-400, 2003.

VITAMINASECIA, **Cultura de jaca**, Disponível em: <www.vitaminasecia.hpg.ig.com.br> Acesso em: 30 abr, 2009.

WILHELM-FILHO, D.; SILVA, E.L.; BOVERIS, A, Flavonóides antioxidantes de plantas medicinais e alimentos: importância e perspectivas terapêuticas, In: **Plantas medicinais sob a ótica da química medicinal moderna**, Chapecó: 2001, 317-349.

WILLIAMS, L, A, D.; MANSINGH, A, Pesticidal potentials of tropicals plants I, Insecticidal activity in leaf extracts of sixty plants, **Insect Science and Its Application**, Elmsford, v, 14, n, 5/6, p, 697-700, 1993.