

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

**A INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DA CHUVA E DA
COBERTURA VEGETAL SOBRE O ESCOAMENTO E A EROSÃO DO SOLO**

Campina Grande

Março 1993

CLEUDA CUSTÓDIO FREIRE GÓES

**A INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DA CHUVA E DA
COBERTURA VEGETAL SOBRE O ESCOAMENTO E A EROSÃO DO SOLO**

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-
Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal da Paraíba em
cumprimento às exigências para obtenção
do Grau de Mestre.**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS

VAJAPEYAM S. SRINIVASAN

Orientador

Campina Grande

Março 1993

172
001.453(013)
G.5987



G598i Goes, Cleuda Custodio Freire
 A influencia das caracteristicas da chuva e da cobertura
 vegetal sobre o escoamento e a erosao do solo / Cleuda
 Custodio Freire Goes. - Campina Grande, 1993.
 109f. : il.

 Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) -
 Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e
 Tecnologia.

 1. Erosao do Solo 2. Chuva - Escoamento 3. Recursos
 Hidricos 4. Dissertacao I. Srinivasan, Vajapeyam S. II.
 Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB). III.
 Titulo

CDU 631.459(043)

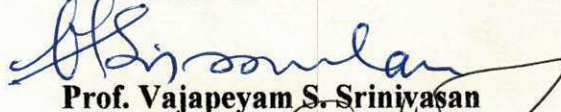
CLEUDA CUSTÓDIO FREIRE GÓES

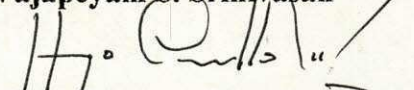
**A INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DA CHUVA E DA
COBERTURA VEGETAL SOBRE O ESCOAMENTO E A EROÇÃO DO SOLO**

Dissertação aprovada em 12.05.1993.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS

Examinadores:


Prof. Vajapeyam S. Srinivasan


Prof. Hugo Orlando Carvalho Guerra

Prof. Eduardo Enéas de Figueiredo

Aos meus pais,

Judith e Luiz,

Aos meus 9

irmãos

Ao meu esposo, Carlos

Às minhas filhas,

Luana e Renata

pelo apoio e paciência

ao longo do desenvolvimento

deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Vajapeyam S. Srinivasan, pela valiosa e eficiente orientação.

Ao Prof. Roberaldo Carvalho de Souza, da Universidade Federal de Alagoas, pelo incentivo para o início deste trabalho e oportunos esclarecimentos e sugestões.

Aos Professores da área de Engenharia de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Civil da UFPB (AERH/DEC), pelos conhecimentos transmitidos e colaborações prestadas durante todo o período de realização do trabalho.

Aos Funcionários e Técnicos da AERH/DEC, pela solicitude na prestação de informações e serviços.

Ao amigo Carlos de O. Galvão, pelo grande apoio e colaboração durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Programa Nacional de Irrigação (PRONI), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de Alagoas (FAPEAL), pela concessão de bolsas de estudo.

À Universidade Federal da Paraíba e à Universidade Federal de Alagoas por possibilitarem a execução do trabalho.

Finalmente, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Escoamento x Precipitação na parcela 4, tendo IH (mm) como parâmetro. (Gomes et al, 1987).	15
2.2	Erosão x Erosividade (EI ₃₀) na parcela 4, tendo IH(mm) como parâmetro (Gomes et al, 1987).	15
3.1	Localização da Bacia Experimental de Sumé e das zonas hidrologicamente semelhantes (Cadier et al, 1983).	17
3.2	Croqui de localização das instalações (Cadier et al, 1983).	21
3.3	Planta das parcelas experimentais de 100 m ² (Cadier et al, 1983).	23
3.4	Tanques coletores das parcelas de 100 m ² (Cadier et al, 1983).	24

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
3.1	Características físicas das parcelas (Gomes et al, 1987).	25
4.1	Quantidade de água que infiltra em cada parcela (X).	31
4.2	Modelos de Escoamento para as parcelas da Bacia Experimental de Sumé.	34
4.3	Modelos logarítmicos de erosão para as parcelas da Bacia Experimental de Sumé.	38
5.1	Estimativa dos parâmetros de infiltração e erosão para a parcela 1.	49
5.2	Modificações causadas em Kr como consequência da adoção de Ns, resultando em novos valores para EP1(calc.).	51
5.3	Comparação da lâmina observada e a lâmina calculada e a estimativa de Kr para cada evento, utilizando valores médios de Ns, resultando em novos valores para EP1(calc.).	52
5.4	Comparação dos valores observados e calculados da erosão devido à utilização de valores médios de Kr.	54
5.5	Compactação dos valores reais observados e os calculados da erosão devido à utilização de valores médios para os parâmetros Ns e Kr.	55

LISTA DE SÍMBOLOS

C	Concentração de sedimentos
DE	Duração do evento de cheia
ds	Tamanho característico dos sedimentos.
d ₅₀	Diâmetro mediano dos sedimentos.
e _I	Erosão pelo impacto da chuva.
e _r	Erosão pelo arrastamento do fluxo.
EI ₃₀	Índice de erosividade de chuva da Eq. Universal de Perda de solos.
EPI	Erosão na parcela número "i".
f(t)	Taxa de infiltração.
F(t)	Profundidade da frente de molhamento.
FCU(10)	Fator de chuva e umidade do solo.
g	Aceleração da gravidade.
Gn	Pluviógrafo número "nn" na figura 3.2.
h	Profundidade do fluxo.
i	Intensidade de precipitação.
IH	Índice de precipitação antecedente.
IMED	Intensidade média da precipitação.
k	Fator de redução da umidade do solo utilizado no cálculo de IH.

K_I	Erodibilidade do solo pelo impacto da chuva.
K_r	Erodibilidade do solo pelo fluxo superficial.
K_s	Condutividade hidráulica saturada.
L_{Pi}	Lâmina escoada na parcela número "i".
m	Parâmetro de geometria do plano.
n_c	Coefficiente de Manning para os planos.
N_s	Potencial de capilaridade.
p	Porosidade efetiva do solo.
P	Parâmetro de abstração inicial do solo.
$P-nn$	Pluviômetro número "nn" na figura 3.2.
$P(t_{n-1})$	Precipitação acumulada até o momento t_{n-1} .
PH_i	Taxa média de infiltração na parcela número "i".
$PREC$	Precipitação.
r	Taxa de entrada do fluxo superficial no plano.
R^2	Coefficiente de determinação.
\bar{R}^2	Coefficiente de determinação ajustado.
$R(t_{n-1})$	Escoamento acumulado até o momento t_{n-1} .
t	Tempo.
t_p	Tempo de empoçamento.
TW	Largura do topo do fluxo.
u	Velocidade média do fluxo.
$VPA(10)$	Variação da precipitação antecedente.

V_s	Velocidade de queda das partículas.
W_n	Parcela de 100 m^2 n'umero "n" da figura 3.2.
x	Distância na direção do fluxo.
X	Fator de redução utilizado no cálculo de P.
α	Parâmetro de rugosidade superficial.
δ	Coefficiente para tensão de cisalhamento crítica.
Δt	Incremento do tempo.
Δx	Incremento da distância.
ϵ_p	Coefficiente de deposição nos planos.
\emptyset	Taxa de sedimento saindo para o fluxo.
γ	Peso específico da água.
γ_s	Peso específico do sedimento.
ν	Viscosidade cinemática da água.
θ_i	Umidade inicial do solo.
θ_s	Umidade na saturação do solo.
τ	Tensão de cisalhamento média.
τ_c	Tensão de cisalhamento crítica.

LISTA DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Roteiro para coleta de dados	74
2	Matrizes de correlações do modelo final	76
2.A	Matrizes de correlações do modelo final - Escoamento	77
2.B	Matrizes de correlações logarítmicas - Erosão	81
3	Matriz de correlação das regressões executadas	85
3.A	Matriz de correlação das regressões executadas - Escoamento	86
3.B	Matriz de correlação das regressões executadas - Erosão	91
3.C	Matriz de correlação das regressões executadas - Infiltração	97
4	Dados de entrada para os modelos	105

SUMÁRIO

	Página
Dedicatória	ii
Agradecimentos	iii
Lista de Figuras	iv
Lista de Tabelas	v
Lista de Símbolos	vi
Lista de Anexos	ix
Sumário	x
Resumo	xiv
Abstract	xv
1 - Introdução	1
1.1 - Considerações Gerais	1
1.2 - Objetivos Gerais	1
1.3 - Bacias hidrográficas representativas, experimentais e parcelas experimentais	2
1.3.1- Parcelas experimentais	3
1.4 - Considerações Finais	3
2 - Modelos de previsão do escoamento e da Erosão	4
2.1 - Generalidades	4
2.2 - Definições e classificação dos modelos	4
2.3 - Modelos chuva - vazão	5
2.3.1 - Modelos conceituais	6
2.3.2 - Modelos fundamentais	3

2.4 - Modelos de produção de sedimentos	6
2.4.1 - Modelos fundamentais	7
2.4.2 - Modelos empíricos	7
2.4.2.1- A USLE	7
2.4.2.2 - Utilização dos modelos empíricos de erosão	10
2.5 - Pesquisas realizadas em Sumé	12
2.6 - Considerações finais	13
 3 - A Bacia Experimental de Sumé	 16
3.1 - Considerações gerais	16
3.2 - Localização	16
3.2.1 - Características físico - climáticas	18
3.2.1.1 - Clima	18
3.2.1.2 - Relevo	18
3.2.1.3 - Solo	18
3.2.1.4 - Sub-solo	20
3.2.1.5 - Vegetação	20
3.3 - Instrumentação	20
3.3.1 - Bacia Experimental de Sumé	20
3.3.2 - Parcelas experimentais	20
3.4 - Coleta de dados	22
3.5 - Controle experimental	22
 4 - Regressão linear múltipla	 26
4.1 - Considerações gerais	26
4.2 - Utilização dos modelos de regressão	26
4.3 - Gênese do modelo	26
4.4 - Especificação do modelo	27

4.5 - Verificação do modelo	28
4.5.1 - Teste F	28
4.5.2 - Coeficiente de determinação	29
4.5.3 - Coeficiente de determinação ajustado	29
4.6 - Regressões realizadas	29
4.6.1 - Variáveis utilizadas nas regressões	30
4.7 - Resultados	32
4.7.1 - Escoamento Superficial	32
4.7.2 - Erosão	35
4.7.3 - Infiltração	39
5 - WESP	40
5.1 - Considerações gerais	40
5.2 - Concepção e formação do modelo	40
5.2.1 - Infiltração	41
5.2.2 - Escoamento superficial	42
5.2.3 - Erosão - deposição	44
5.2.4 - Dados e parâmetros de entrada do WESP	46
5.2.4.1 - Parâmetros estimados	46
5.2.4.2 - Parâmetros otimizados	47
5.3 - Aplicação do modelo	48
5.4 - Resultados	56
6 - Discussão dos resultados	57
6.1 - Considerações gerais	57
6.2 - Regressão múltipla	57
6.2.1 - Escoamento superficial	58
6.2.2 - Erosão	59

6.2.3 - Infiltração	60
6.3- WESP	61
7 - Conclusões e recomendações	63
7.1 - Considerações gerais	63
7.2 - Conclusões	63
7.3 - Recomendações	64
8 - Referências bibliográficas	65

RESUMO

Dois modelos determinísticos de previsão do escoamento e da erosão foram empregados em nove parcelas experimentais de 100m², localizadas na Bacia Experimental de Sumé (região semi-árida brasileira), levando-se em consideração a aplicabilidade destes modelos à região bem como a facilidade de obtenção dos parâmetros utilizados por eles, pois essa é uma das principais dificuldades encontradas pelos pesquisadores quando se deseja aplicar a esta região a maioria dos diversos modelos existentes. O primeiro modelo é a regressão linear múltipla, é empírico, bastante conhecido e utilizado em todo o mundo. O segundo, o WESP (Watershed Erosion Simulation Problem), é um modelo do tipo fundamental, de maior complexidade que o anterior e tem como base os processos de infiltração, a hidráulica do escoamento e a mecânica dos processos de erosão e deposição. Ambos simulam o escoamento e a erosão por evento e os resultados obtidos foram considerados bastante promissores.

ABSTRACT

Two deterministic models to predict flow and erosion in nine experimental parcels of 100 m^2 , located in Sumé Experimental Basin (Brazilian semi-arid region), were used. The models take into account not only its applicability to the region but also its facility to obtain the parameters used by them, because it is one of the main difficulties found by the researchers when they want to apply the several existing models to this region. The first model is the multiple linear regression, is empirical, well known all over the world. The second, is the WESP (Watershed Erosion Simulation Problem) model, is of the fundamental type, it is more complex than the previous and has as frame the infiltration processes, the flow hydraulic and the mechanism process of erosion and deposition. Both models simulate the flow and the erosion per event and the results obtained were considered very good.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Considerações Iniciais

A região Nordeste devido aos fatores naturais já é demasiadamente castigada em se tratando da disponibilidade de solos férteis e de recursos hídricos. Por este motivo é que se procura um melhor aproveitamento do solo e água de tal maneira que a erosão seja mínima e a água tenha o seu uso otimizado.

Baseando-se nesses problemas é que várias pesquisas vêm sendo realizadas, procurando-se cada vez mais aprimorar e estender o conhecimento sobre os recursos hídricos do Nordeste. Como a dificuldade para execução de projetos de pesquisa em todas as regiões do Nordeste é grande, os estudos devem ser feitos em locais onde o sistema físico predominante seja representativo de uma grande parte da região.

A proposição para implantação das bacias representativas feita por Nouvelot (1974), proporciona um meio de estudar bacias hidrográficas como típicas representativas das grandes áreas, podendo ser bem estudadas e cujos resultados possam ser estendidos para outras regiões hidrologicamente semelhantes. "Esta planificação permite avaliar a importância geográfica dos problemas hidrológicos a resolver e permite delimitar as zonas onde a extrapolação dos resultados duma bacia é teoricamente possível" (Campello et al, 1983).

1.2 - Objetivos Gerais

A proposta deste estudo é avaliar a influência de fatores físicos como a cobertura vegetal, a intensidade de precipitação e a declividade da superfície do solo sobre o escoamento e a erosão. Sabendo-se que em bacias hidrográficas vários outros fatores influenciam o processo, são necessários dispositivos experimentais, de modo que esses outros fatores sejam fixos e apenas haja variação das características da chuva e da cobertura vegetal. Para que as condições expostas sejam satisfeitas foram utilizadas parcelas experimentais instaladas na Bacia Experimental de Sumé (localizada na cidade de Sumé a aproximadamente 130 km de Campina Grande), cuja área de cada parcela é de 100 m².

Cada parcela experimental representa uma condição definida da declividade e da cobertura vegetal. A precipitação é um fator natural que serve como entrada no processo do escoamento e da erosão.

Bacias e parcelas experimentais são utilizadas em estudos hidrológicos, porque nelas se pode quantificar as variações hidrológicas provocadas pelas diversas modificações do meio ambiente.

"Os problemas de manejo de terra requerem avaliações seguras dos processos hidrológicos e suas variações dentro da bacia de drenagem. Esses conceitos necessitam para ser refinados, desenvolvidos e formalizados de combinações mais rigorosas de experimentos de campo rigorosamente designados e modelos matemáticos baseados na realidade física" (Dunne, 1983).

Com a finalidade de se chegar a um método de previsão que se enquadre bem e reflita a realidade física da região, aplicaremos para a determinação da lâmina escoada e da erosão a regressão linear múltipla (Chow, 1964) e o Wesp (Lopes, 1987), deste modo estaremos utilizando um método já bastante conhecido (análise de regressão) e outro mais recente e mais complexo (Wesp).

1.3 - Bacias Hidrográficas Representativas, Experimentais e Parcelas Experimentais

As bacias e parcelas experimentais normalmente são implantadas dentro das chamadas Bacias Representativas. Segundo Lanna (1983), Bacia Representativa é uma bacia instrumentada com aparelhos de observação de fenômenos hidrológicos e que representam bacias situadas em uma região homogênea do ponto de vista hidrológico.

Diversos estudos vêm sendo realizados em Bacias Hidrográficas Representativas e Bacias Hidrográficas Experimentais, objetivando definir quais os principais fatores que condicionam o regime hidrológico das pequenas bacias e como esses fatores participam desse processo. O conhecimento das características físico-climáticas, facilita as extrapolações dos resultados para outras bacias não estudadas.

1.3.1 - Parcelas Experimentais

As parcelas experimentais segundo Heras (1976), são compostas por algumas centenas de metros quadrados que constitui uma verdadeira bacia hidrográfica e por um sistema receptor, situado na parte mais baixa, permitindo avaliar o volume de água e a quantidade de sedimento gerado após a chuva. São largamente utilizadas por pesquisadores no mundo inteiro (Dunne, 1983; Blackburn, 1975; Mtakwa et al, 1987; entre outros) com interesses diversos.

Nelas, se estuda os fenômenos do escoamento e da erosão sobre uma pequena superfície, na qual não há variação na declividade, natureza do solo e vegetação.

Os dispositivos de medida que se utilizam são muito diversos, sendo sua constituição e funcionamento de relativa facilidade. É um sistema que vêm sendo utilizado pelo Serviço de Conservação de Solos em diversos países europeus e americanos.

1.4 - Considerações Finais

A importância das pesquisas sobre erosão e escoamento é inquestionável, especialmente quando se trata de uma região em que, segundo Sharma et al (1984), a agricultura sofre bastante devido à variabilidade climática, os solos são pobres e há escassez de água. Os efeitos desses fatores são mais sentidos nas zonas áridas e semi-áridas do Nordeste (Hargreaves, 1974).

A necessidade de se estimar o escoamento e a erosão fez com que muitos pesquisadores enveredassem nesse sentido afim de aprimorar os conhecimentos nessa área. Cadier et al (1987), enfatizam a necessidade do desenvolvimento de modelos específicos para as bacias hidrográficas que considerem as características peculiares do processo hidrológico do Nordeste semi-árido.

2 - MODELOS DE PREVISÃO DO ESCOAMENTO E DA EROSÃO

2.1 - Generalidades

O propósito deste trabalho é obter modelos de previsão do escoamento e da erosão em parcelas experimentais utilizando para isso dados físicos reais obtidos em campo, afim de obter as primeiras estimativas de parâmetros para o desenvolvimento de um modelo que atenda a região com características físico-climáticas semelhantes.

Sabe-se porém que, a extrapolação de estudos feitos em pequenas bacias para grandes bacias é um problema delicado (Sharma et al (1980), Klemes (1983) e Pilgrim (1983)), sendo a heterogeneidade espacial considerado o fator principal dessa dificuldade.

Porém estudos neste sentido já vêm sendo desenvolvidos com resultados bastante promissores. Thebe e Pontanier (1989), desenvolveram estudos em uma parcela de 1m^2 e extrapolaram os resultados obtidos para escalas maiores (3.000 m^2) e uma pequena bacia de $18,1\text{ km}^2$. Molinier et al (1989), à partir de estudos feitos em três escalas de superfície (microparcelas de 1m^2 , parcelas de 100m^2 e microbacias de 1ha) sobre solo nu e coberto, apresentaram relações entre as três escalas de chuva-escoamento em função da chuva responsável, do índice de umidade e da superfície.

2.2 - Definições e Classificação dos Modelos

Modelos hidrológicos são uma maneira de transferir conhecimentos de medidas ou áreas conhecidas para outros locais onde não se disponha desses conhecimentos, mas que sejam necessários para o gerenciamento ou tomadas de decisões.

Segundo Lanna (conforme Marwell Filho, 1985), a utilização das técnicas de simulação permite:

- estudar e experimentar as complexas interações internas de um determinado sistema hidrológico ou de recursos hídricos;
- a simulação de sistemas de recursos hídricos e hidrológicos complexos pode oferecer valiosa informação no sentido do conhecimento das

variáveis mais atuantes no sistema e caracterizar a influência destas variáveis sobre tal sistema;

- a simulação pode fornecer previsões a respeito de situações sobre as quais se tem pouca ou nenhuma informação.

Os modelos matemáticos de simulação hidrológica, classificam-se segundo Fleming (Galvão, 1990), em determinísticos e estocásticos.

A) Modelos Estocásticos. Os modelos estocásticos consistem no processamento dos dados dependentes do tempo, cujo acesso se faz através da especificação dos dados para se fazer previsão (Viana, 1986).

Segundo Foster (1982), existem três grandes problemas que deparamos ao utilizar o método de simulação estocástica. O primeiro é a escolha de um modelo próprio para descrever o fenômeno hidrológico; o segundo é a escolha de uma distribuição de probabilidade adequada para a entrada e estimação de parâmetros para simulação; a terceira é a predição de distribuição de probabilidade para a saída do sistema quando o sistema e a distribuição de entrada são conhecidos.

"Modelos estocásticos têm sido amplamente utilizados para análises e sínteses de sistemas, particularmente para a simulação de entradas (como a variabilidade temporal e espacial de precipitação) para sistemas complexos" (Branson et al, 1981).

B) Modelos Determinísticos . Os modelos determinísticos segundo Viana (1986), dividem-se em dois grupos:

Modelos empíricos - consistem de regressões estatísticas que procuram vincular a variação de um processo físico às variáveis e parâmetros que influenciam mais diretamente o seu desenvolvimento (Silveira, 1982).

Modelos conceituais - os mecanismos são representados conceitualmente, embora não seja conhecida a forma exata de interrelação entre os diversos processos envolvidos no sistema (Viana, 1986).

2.3 - Modelos Chuva - Vazão

Os modelos chuva-vazão, classificados como modelos determinísticos, encontram-se subdivididos em duas classes, modelos conceituais e modelos fundamentais.

2.3.1 - Modelos Conceituais

O SSARR (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation) foi desenvolvido à partir de 1956, pelo U. S. Corps of Engineers, North Pacific Division, e é considerado um dos modelos conceituais mais utilizados em todo o mundo. Tem o objetivo de servir à análise de sistemas para planejamento, projeto e operação de obras hidráulicas. Posteriormente foi modificado para permitir previsões diárias necessárias à operação e gerenciamento do sistema. No Brasil, o modelo vem sendo utilizado por entidades públicas em diversos estudos (Hidroelétrica de Tucuruí, extensão de séries na Bacia do Rio Apodi, etc.) (Amaral, 1985).

Outros modelos conceituais que são amplamente utilizados são o Stanford Watershed Model (da Universidade de Stanford), o de Boughton (Austrália), entre outros (Branson et al, 1981; Clarke, 1973). No Brasil além dos modelos acima citados, temos o SMAP (Lopes et al, 1981), o MOHTSAR (Marwell Filho e Lanna, 1986) o IPII II (Tucci, 1987) e o MODHAC (Lanna e Schwarzbach, 1989).

2.3.2 - Modelos Fundamentais

A contribuição dada pelo uso do sensoriamento remoto e pelos computadores foi fundamental para o desenvolvimento deste tipo de modelagem, pois além de proporcionar maior rapidez ao processamento de dados, proporcionou uma estimativa inicial mais fácil dos parâmetros físicos envolvidos. Um exemplo deste modelo é o Sistema Hidrológico Europeu (SHE), desenvolvido por grupos de vários países europeus, com a finalidade de auxiliar as decisões nas questões referentes à avaliação do impacto hidrológico por mudanças no meio ambiente (Galvão, 1990).

2.4 - Modelos de Produção de Sedimentos

Duas aproximações para modelar os componentes do processo são apresentadas; uma é baseada empiricamente e a outra é baseada fundamentalmente.

2.4.1 - Modelos Fundamentais

Segundo Foster (1982), modelos fundamentais são baseados em conceitos recentes e na teoria dos mecanismos da erosão; produzem mais informações sobre variabilidade de erosão e sobre carga de sedimentos no espaço e no tempo durante um evento que os outros tipos de modelo e possuem grandes vantagens sobre equações empíricas:

- 1) Eles são geralmente baseados na física do processo e conseqüentemente podem ser extrapolados com mais segurança;
- 2) Eles representam mais fielmente o processo;
- 3) São mais precisos para simples eventos de cheia;
- 4) Podem considerar áreas complexas;
- 5) Consideram processo de deposição diretamente;
- 6) Podem considerar erosão e deposição em canais.

A importância dos princípios fundamentais nos processos de erosão foi reconhecida desde a década de 1930. Na década de 1940, Ellison (1947), apresentou uma extensiva análise de vários subprocessos de erosão os quais foram extremamente importantes para os modelos mais recentes de produção de sedimentos. Meyer e Wischmeier (1969), baseados nos conceitos de Ellison, formularam um modelo tendo como princípio a divisão da área em um número finito de elementos, para cada elemento eram calculadas as capacidades de desprendimento e transporte pela precipitação e pelo escoamento das partículas; o resultado de cada elemento podia ou não ser propagado para o próximo elemento. Negev (1967), adicionou um componente de erosão ao Stanford Watershed Model, demonstrando o potencial destes modelos para entender e estimar o processo de erosão do solo.

2.4.2 - Modelos Empíricos

Modelos empíricos de produção de sedimentos consistem de regressões estatísticas que procuram vincular a variação da produção de sedimentos às variáveis e

parâmetros que influenciam mais diretamente o desenvolvimento do processo físico (Silveira, 1982). Um exemplo amplo seria a Equação Universal de Perda de Solos.

2.4.2.1 - A Equação Universal de Perda de Solos

Os primeiros estudos de erosão nos EUA se deu no início do século por um alemão no Estado de Missouri, 1917. Pequenas áreas tinham as situações sob o ponto de vista climático, fisiográfico, uso da terra e manejo do solo controladas, através de simulação, buscando informações quantitativas para determinar as taxas de erosão do solo. Após os estudos realizados nos pequenos lotes experimentais, concluiu-se que vários fatores afetam a erosão dos solos. A partir da constatação da influência de vários fatores na erosão dos solos, procura-se definir quais são eles e qual a influência quantitativa de cada fator. Essas conclusões têm sido a base da recomendação para um melhor aproveitamento agrícola no uso dos recursos do solo.

Como com todos os fenômenos naturais é difícil conseguir relacionar quantitativamente as muitas variáveis influentes na erosão.

Inicialmente relacionou-se declividade à perda de solo, depois foram considerados fatores como erodibilidade e manejo do solo. Musgrave (1947), além de consolidar esses fatores acrescentou um parâmetro do escoamento.

Foi então que Wischmeier e Smith (1960a) apresentaram a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE - Universal Soil Loss Equation), equação desenvolvida baseando-se nos estudos anteriores, sendo acrescentado um fator de erosividade de chuva.

A Equação Universal de Perdas de Solos (USLE) de Wischmeier e Smith (1960), é dada por:

$$E = R K L S C P$$

onde: E = perda de solo calculada por unidade de área, em t/ha;
 R = fator chuva: índice de erosão pela chuva;
 K = fator erodibilidade do solo: intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo que é mantido continuamente limpo;
 L = comprimento da rampa;
 S = declividade da rampa;

C = cultivo;

P = prática de conservacionismo.

Bertoni et al.(1985), considera a USLE um instrumento valioso para os trabalhos de conservação do solo e de grande precisão para a previsão de perdas anuais médias de solo, desde que, a área possua as condições específicas para a sua utilização bem definidas. Uma aplicação da USLE foi realizada por ele na região de Campinas-SP, onde os resultados obtidos foram considerados bastante satisfatórios.

A USLE foi bastante utilizada e os resultados obtidos com ela foram satisfatórios, porém apesar disso, a determinação do fator R continuava a apresentar problemas para o seu cálculo devido ao trabalho laborioso e cansativo na sua determinação, além da necessidade de possuir 22 anos seguidos de dados pluviométricos para obter uma boa estimativa para a média anual do fator de energia cinética.

Segundo Foster (1982), as três maiores limitações da USLE são:

- 1) não é adequada para estimar perda de solo de simples eventos de cheia;
- 2) ela é uma equação de erosão e conseqüentemente não estima deposição (Wischmeier, 1976);
- 3) ela não estima erosão em ravinas como também em canais.

A USLE é utilizada para estimar a perda média de solo sobre um período longo. O valor anual de EI (para chuvas caídas em um ano e em um determinado local) é obtido através da soma de todos os valores de EI para as chuvas maiores que 10mm, ou menores, desde que proporcionem uma considerável perda de solo. O valor de R, é portanto, a média dos valores anuais de EI de um período longo de tempo (vinte anos ou mais). Erros são grandes na estimativa de perda de solo de um simples evento quando se substitui R por EI na equação, primeiramente porque a grande variação que ocorre de precipitação para precipitação em uma dada quantidade de precipitações não é considerada. Entretanto, um fator de erosividade para uma simples cheia é proposto por Onstad et al.(1975).

Williams (1975), também modificou a USLE substituindo o fator R por um fator que estimasse a erosividade da chuva por eventos individuais. Essa modificação da USLE é conhecida como MUSLE (Modified USLE).

Existem ainda modelos que foram criados baseados na USLE para serem utilizados em bacias, como o ANSWERS (Beasley, 1977) que é adequado para o uso com sensoriamento remoto, porém não calcula erosão em canais e o CREAMS que apesar de ser

considerado menos poderoso que o primeiro, tem a vantagem de representar áreas complexas com poucos dados de entrada.

2.4.2.2 - Utilização De Modelos Empíricos De Erosão.

Silveira (1982), estudou 3 bacias com áreas inferiores a 1 km² e uma parcela experimental com 211 m² para analisar as respostas hidrológicas e sedimentológicas proporcionadas por elas para diferentes condições de uso do solo frente a eventos pluviosos. Foram empregados modelos de previsão referentes a eventos pluviosos isolados que consistem de regressões estatísticas procurando vincular a variação da produção de sedimento aos fatores que influenciam mais diretamente no desenvolvimento do processo físico.

Além de alguns resultados específicos do estudo ele concluiu que os modelos de regressão múltipla aplicados a dados resultantes do monitoramento de eventos isolados de bacias hidrográficas de mesma ordem de grandeza permitem a identificação de parâmetros eficientes os quais, quando selecionados por modelos determinísticos, tanto se referem a características permanentes quanto às variáveis hidrológicas e evolutivas. São principalmente os modelos de regressão que para a análise da produção de sedimentos fornecem, em bacias de primeira ordem, um procedimento viável de análise e projeção.

Canali (1981), estudou três bacias piloto de primeira ordem (aproximadamente 1 km² de área) localizadas na bacia representativa do rio Forqueta (RS), com o objetivo inicial de definir a produção de sedimentos como resultado de modelo de regressão. As equações de regressão foram determinadas através da correlação do sedimento produzido com as características pluviométricas de eventos isolados, o uso do solo e a declividade. Com os resultados obtidos na pesquisa, Canali definiu duas estações sedimentológicas na região, além de recomendar modelos de produção primária de sedimentos para a região estudada.

Semmelman et al (1985), empregaram modelos empíricos de previsão a partir de dados hidro-sedimentológicos referentes a eventos pluviosos isolados com o objetivo de analisar as respostas hidrológicas e sedimentológicas que três bacias piloto com áreas inferiores à 1 km² e uma parcela experimental com 211 m² de área proporcionaram em diferentes condições de uso do solo.

Pinczés (1982), apresentou um estudo realizado em sete parcelas experimentais com 350 m² de área para avaliação da erosão e escoamento em diferentes tipos de manejo do solo. Os eventos foram analisados separadamente, considerando a intensidade e a magnitude da precipitação. O objetivo do estudo era diminuir o grau de erosão com simples métodos de proteção.

Chang, Roth II e Hunt Jr. (1982), observaram a perda de sedimentos usando amostradores de escoamento instalados em parcelas-bacia de 0,02 ha de área, baseados no projeto usado pela USDA no desenvolvimento da Equação Universal de Perda dos Solos (USLE), sobre seis condições locais da floresta no Texas-USA, durante os anos de 1980 e 1981. O solo na região é altamente erodível suportando aproximadamente 40 anos de floresta antiga.

Lal (1982), em campos experimentais administrados pelo International Institute of Tropical Agriculture - IITA (Ibadan, Nigéria) estudou os efeitos causados no escoamento e na erosão pela declividade e concluiu que a quantidade de água escoada por unidade de área é mais afetada pela intensidade da precipitação e pelas propriedades do solo que pela declividade. No caso da erosão, concluiu que a perda de solo por unidade de área aumenta com um aumento na declividade.

Blackburn (1975), usou precipitação simulada para estudar a taxa de infiltração e produção de sedimentos em pequenas parcelas no Centro e Oeste de Nevada. Duas condições de umidade antecedente foram usadas: solo seco e solo na sua capacidade de campo. As taxas de infiltração e produção de sedimentos dos vários tipos de solo foram observadas. Nos resultados observou-se que se produz mais sedimento no solo na capacidade de campo do que na condição inicial seca, devido à instabilidade do horizonte vesicular quando o solo está saturado. Os resultados foram obtidos através da análise de regressão múltipla e o maior valor do coeficiente de determinação encontrado para a produção de sedimentos foi de 0,416.

A análise de regressão múltipla é extremamente usada e recomendada por pesquisadores nos mais diversos ramos de estudos. Driver e Troutman (1989), utilizaram a regressão múltipla para desenvolver um método capaz de estimar as consequências causadas pelo uso da terra e pelas características climáticas no escoamento superficial e ainda o volume de solo erodido e carregado. Eles desenvolveram 31 relações de regressão para estimar a carga escoada superficialmente para 11 constituintes químicos e 3 modelos para estimar o escoamento superficial. O total de precipitação e a área de drenagem contribuinte foram as variáveis mais significantes do modelo.

2.5 - Pesquisas Realizadas Em Sumé

Os estudos na Bacia Experimental de Sumé iniciaram no ano de 1981 através da Cooperação Técnica entre a SUDENE e a ORSTOM/França. Estes trabalhos foram evoluindo ao longo dos anos com a disponibilidade de mais equipamentos e maior número de dados. Um resumo destes trabalhos está apresentado a seguir.

Cadier, Freitas e Leprun (1983a), iniciaram os trabalhos no local. Verificaram a influência que a declividade e a cobertura vegetal causam no escoamento e na erosão, através da análise dos dados obtidos no primeiro ano de coleta de dados feito na Bacia Experimental de Sumé.

Gomes et al (1987) e Srinivasan et al (1988), em estudos feitos na região semi-árida paraibana, dando seguimento ao trabalho iniciado por Cadier et al (1983b) introduziram novos dados, observaram a influência do índice de umidade (II) no escoamento e na erosão. Os dados utilizados iam desde o ano de 1982 até 1986. Verificaram também a grande influência causada pela vegetação e ainda a relação existente entre a produção de sedimentos e a erosividade. Para o escoamento superficial, o índice de umidade permitiu estabelecer tendências entre a precipitação e o escoamento (figura 2.1), no caso da erosão o índice de erosividade da Equação Universal de Perda de Solos foi o que permitiu uma melhor representação dessas tendências (figura 2.2).

Molinier, Galvão e Gomes (1987), transferiram resultados obtidos em parcelas experimentais, para a escala de bacias de interesse nos projetos de aproveitamento hídrico utilizando dados obtidos na Bacia Experimental de Sumé. Foram apresentados métodos de transferência das relações para o escoamento superficial, das microbacias de 1 m², operadas sob chuva simulada, para parcelas de 100 m², microbacias de 1 ha e a bacia de 10 km².

Molinier, Audry e Leprun (1989), estudaram o perfil do solo da Bacia Experimental de Sumé, preocupando-se com o desenvolvimento e comportamento da infiltração em campos nus e cobertos e em diferentes escalas, visando o armazenamento de água para ser utilizada nos anos de estiagem do sertão nordestino já bastante conhecidos pelos pesquisadores.

Galvão (1990), aplicou dois modelos em quatro microbacias (aproximadamente 1ha), desmatadas ou com vegetação nativa, localizadas na Bacia Experimental de Sumé. O primeiro modelo foi o MODIBI, é um modelo diário de

precipitação- vazão do tipo conceitual determinístico global. O segundo foi o WESP, este modelo tem como base os processos de infiltração, a hidráulica do escoamento superficial e a mecânica dos processos de erosão e deposição; simula o escoamento superficial e a produção de sedimentos por evento. Os resultados mostraram ajuste satisfatórios aos dados observados, e coerência com as hipóteses levantadas em estudos anteriores sobre o funcionamento hidrológico das microbacias. Uma observação é feita pelo autor ao modelo WESP, pois este modelo apresentou razoável dispersão na estimação dos parâmetros de erosão. De modo geral, os modelos foram considerados promissores para estudos em microbacias.

Montenegro et al (1991), analisou a repartição em escoamento superficial e infiltração da água precipitada por um minisimulador de chuva. Os trabalhos foram realizados em uma micro-parcela de 1 m² localizada na Bacia Representativa de Sumé. Foi focalizado o papel da estratificação do solo sobre esta repartição; a análise baseia-se em resultados experimentais do acompanhamento da dinâmica da água no solo através de medições tensiométricas e com sondas de neutrons.

2.6 - Considerações Finais

Neste trabalho dois modelos são utilizados para a determinação do escoamento superficial e da erosão, sendo ambos determinísticos. Estes modelos foram aplicados às nove parcelas experimentais existentes na Bacia Experimental de Sumé, tendo cada uma delas condições distintas de declividade e/ou cobertura vegetal. O primeiro modelo é um modelo de análise de regressão múltipla, classificado como empírico, tem sido bastante utilizado e difundido em todo o mundo; aplicações de modelos de regressão são encontradas em Schreiber e Kincaid (1967), Osborn e Lane (1969), Fogel e Duckstein (1970) e outros. O modelo de regressão múltipla, além da vantagem que tem de poder ser aplicado em qualquer região, possui vantagens como:

- exige, relativamente, menor número de dados para ser desenvolvido e calibrado;
- os dados de entrada são fisicamente significantes (eles indicam a alteração no sistema causada pela troca de um ou mais valores físicos significantes);
- é dinâmico, ou seja, não são estacionários no tempo e no espaço, podemos prever futuras respostas a alterações no espaço da bacia;

- pode ser aplicado a outras áreas com o processo físico dominante semelhante ao considerado.

Além das vantagens que se tem por ser um modelo determinístico, os modelos de regressão múltipla ainda possuem os seguintes aspectos positivos:

- os modelos que simulam os processos físicos decompõem os fenômenos hidráulicos e hidrológicos em seus respectivos componentes, tal como a infiltração e o sedimento produzido pelo impacto das gotas de chuva;
- simulam o fenômeno através de seus diferentes componentes, cada processo individual pode ser analisado, refinado ou alterado de acordo com as necessidades;
- por ser cada componente do processo graduado de acordo com o sistema físico, ele se torna mais representativo deste.
- com as características dos componentes do modelo o mesmo fica com maior flexibilidade que os outros.

O segundo modelo é, o WESP (Watershed Erosion Simulation Program), classificado como fundamental, foi desenvolvido recentemente por Lopes (1987). Este modelo representa a bacia através de uma sequência de elementos discretos, em forma de cascata, representando planos que descarregam em canais e tem a finalidade de simular a resposta hidrológica (hidrograma e sedigrama) de pequenas bacias hidrográficas em diferentes condições de uso e manejo (Lopes e Lane, 1987).

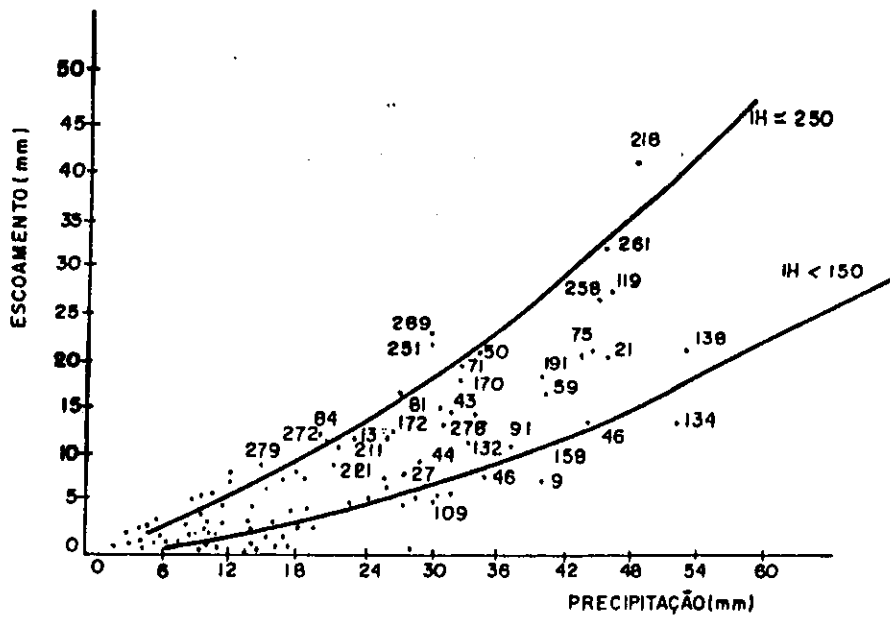


Fig.2.1 Escoamento x Precipitação na parcela 4, tendo IH (mm) como parâmetro. (Gomes et alii, 1987)

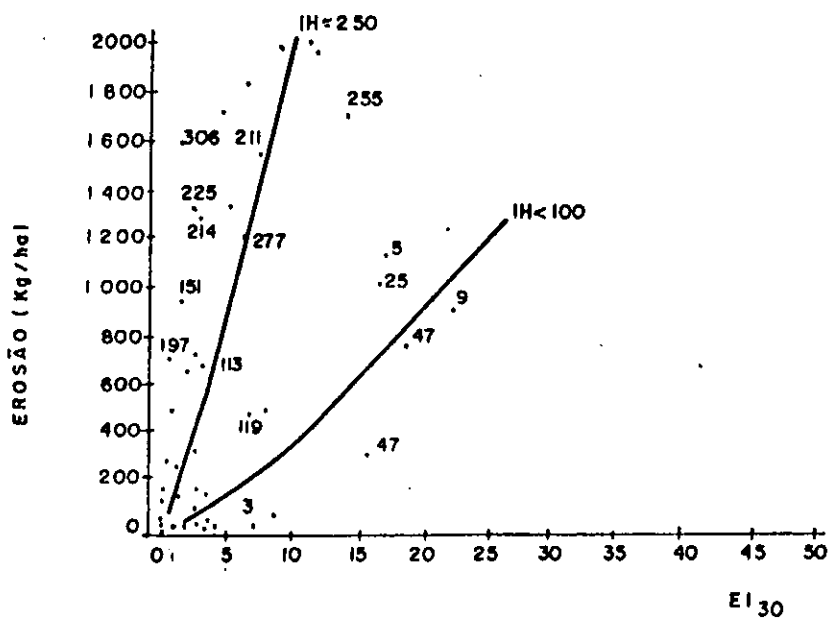


Fig. 2.2 Erosão x Erosividade (EI₃₀) na parcela 4, tendo IH(mm) como parâmetro (Gomes et alii, 1987)

3 - A BACIA EXPERIMENTAL DE SUMÉ

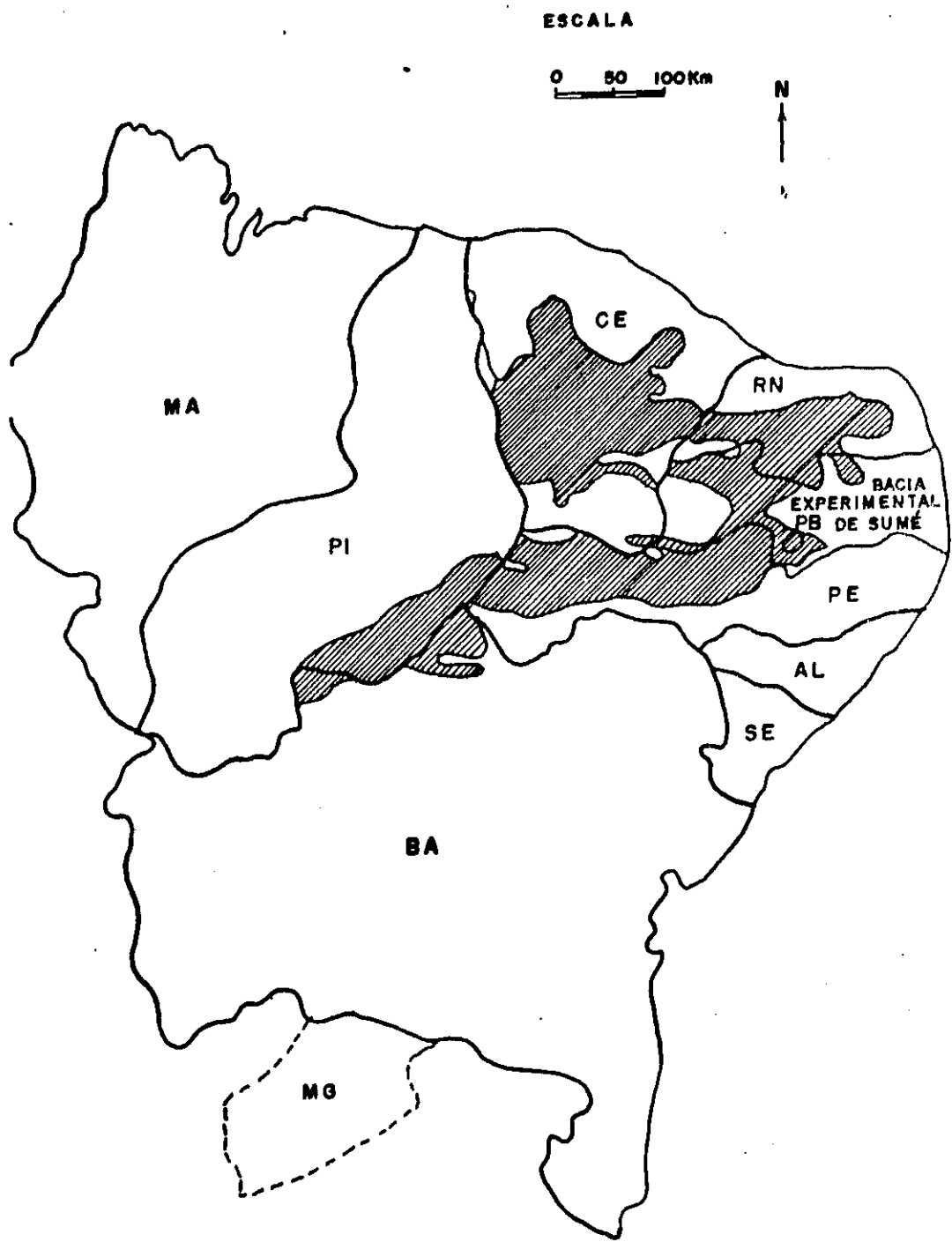
3.1 - Considerações Gerais

Para a execução deste trabalho, utilizou-se dados coletados na Bacia Experimental de Sumé onde a Universidade Federal da Paraíba (UFPB) desenvolve diversas pesquisas através do Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para o Nordeste (PDCT/NE). A UFPB tem como colaboradores a SUDENE e o ORSTOM. O apoio financeiro é dado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID).

3.2 - Localização

A Bacia Representativa de Sumé tem uma área de 137,4 km² e foi instalada no ano de 1971. Durante oito anos ela foi estudada sobre o ponto de vista pluviométrico e fluviométrico por Cadier e Freitas (1982). É constituída por três sub-bacias, sendo uma delas a de Umburana com 10,7 km² de área e onde foi delimitada a Bacia Experimental de Sumé, estando em funcionamento desde o ano de 1982 (Brasil.SUDENE, 1982). Os experimentos estão localizados em uma propriedade de fácil acesso chamada de Fazenda Nova, à montante do açude do mesmo nome, no município de Sumé, Estado da Paraíba (Figura 3.1). Está situada em uma das regiões mais secas do Nordeste do Brasil, na altura do km 118 da BR-412 entre as cidades de Sumé e Monteiro, denominada de Cariris Velhos ou Cariris. Faz parte da área superior da Bacia do Rio Paraíba, com 7° 40' Sul de latitude e 37° 00' Oeste de longitude (Galvão, 1990 e Cadier et al, 1983a).

Uma grande parte do sertão nordestino têm características físico-climáticas semelhantes, estando a Bacia Experimental de Sumé incluída nesta zona (Figura 3.1), por este motivo escolheu-se fixar os estudos neste local, já que representa bem a região, com base na planificação das regiões homogêneas feita por Nouvelot (1974).




 ZONAS COM CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS SEMELHANTES AS DA BACIA DE SUMÉ.

Fig. 31 Localização da Bacia Experimental de Sumé e das zonas hidrologicamente semelhantes (Cadier et alii 1983).

3.2.1 - Características Físico - Climáticas

As características físico-climáticas principais da bacia experimental segundo Cadier et al (1983a), são:

3.2.1.1 - Clima . Precipitação média anual entre 550 e 600 mm, distribuída de janeiro a junho e concentrada entre os meses de fevereiro e abril. A precipitação média diária ultrapassada uma vez é da ordem de 63 mm (para 1 ano), 106 mm (cada 10 anos) e 152 mm (cada 100 anos).

A temperatura média anual é de 24^o C, com médias máxima em torno de 33^o C (dezembro) e mínima em torno de 15^o C (julho).

A insolação anual é próximo de 2.800 horas e a evaporação anual no tanque "Classe A" é de 2.900 mm ao ano.

3.2.1.2 - Relevo. O relevo é representativo de uma parte considerável do Nordeste, variando entre ondulado e pouco ondulado. A declividade das vertentes no local da experimentação está entre 4 e 9%.

3.2.1.3 - Solo. O tipo de solo predominante (85% da superfície da bacia) é classificado como Bruno Não Cálcico Vértico, muito representativo do Nordeste seco - Sertão, constituindo cerca de 15% da superfície do polígono das secas. Os 15% de superfície restantes são compostos de manchas de solos Brunos Não Cálcicos Modais associados a raros Vertissolos (Leprun, 1981). Os solos são rasos (espessura variando de alguns decímetros a pouco mais de 1 m) e têm permeabilidade média de 26,4 mm/h. O perfil médio do solo de Sumé, de acordo com Molinier et al (1989), na zona de estudo é composto por:

- horizonte A de 20 cm de espessura, bruno acizentado, textura franco-areno-argilosa fase pedregosa com estrutura poliédrica a cúbica e porosidade média;
- horizonte B de 20 a 70 cm, bruno, textura franco-argilo- arenosa, estrutura cúbica a prismática até maciça com uma porosidade muito fina;
- horizonte (B)C de 70 a 90 cm, de textura areno-argilosa oriundo de um gnaisse com anfibólio.

Como consequência da existência de estreitas camadas com características contrastantes, a dinâmica do fluxo dentro do solo apresenta-se de forma desordenada. Molinier et al (1989), descrevem da seguinte forma:

Infiltração Superficial - a cobertura vegetal aparece como o fator determinante do escoamento. Na realidade o mecanismo em ação é a degradação da estrutura superficial do solo quando a superfície não é protegida do impacto direto das chuvas com forte intensidade. Nos experimentos de campo, eles concluíram que o horizonte A não se comporta somente como um simples reservatório que se encha, mas que sua relação com os horizontes contíguos, para os quais ele transmite os fluxos, são também determinantes.

As transferências de A para B e C- no que diz respeito aos solos brunos modais sem horizonte B textural e dos solos litólicos, a infiltração progride com rapidez até a base do solo. Estes solos constituem zonas de infiltração preferencial sobretudo quando coberto de vegetação. No caso de solos brunos vérticos, os fenômenos são muito mais complicados. As transferências verticais de A para B muito lentas enquanto o horizonte A não está perto da saturação. A redistribuição de A em proveito de B, e dentro de B, é também muito lento. Esta dinâmica bem contrastada entre A e B leva, com uma chuva suficiente, o horizonte A à saturação criando condições de drenagem lateral. Portanto, essa diferenciação do perfil é um dos fatores importantes do funcionamento hídrico superficial desses solos. A ausência de vegetação aumenta este efeito desviando grande parte daquelas circulações para o escoamento. Pode também acontecer alguns curto-circuitos do B: a água chega na base do B sem molhá-lo. A heterogeneidade dos solos, a presença de raízes, as fendas, etc... explicam a existência de um sistema de vias de circulação rápida muito diversificada.

As drenagens - a existência de drenagens oblíquos nas condições experimentais foi confirmada graças à comprovação da presença de lençóis dentro da alteração. Esses lençóis escoam cada vez que a topografia interna faz aparecer um gradiente hidráulico, entretanto, é muito difícil avaliar esse tempo. Ao fechar o balanço hidráulico, constatou-se a existência de perdas, às vezes mais da metade da chuva. Mas esse termo inclui também a drenagem oblíqua devida aos efeitos de bordadura que são mais importantes quando a parcela é menor.

Pode também existir uma drenagem vertical na base do solo, a respeito do qual não se tenha nenhum dado. Tudo indica que é fraco e localizado, em relação à heterogeneidade e a estrutura falhada do embasamento rochoso.

3.2.1.4 - Sub-Solo . O subsolo da região é composto por embasamento cristalino pré-cambriano, na maioria granitos (Albuquerque, 1970). É impermeável, mas fissurado (Siqueira, 1964) e foram encontrados Gnaisses e Quartzitos no local da experimentação (Cadier et al, 1983a).

3.2.1.5 - Vegetação. A vegetação regional é a caatinga hiperxerófila, arbóreo arbustiva e a local é o Marmeleiro (*Croton Sanderianus*), o Caatingueiro (*Caesalpinia Pyramidalis*) e a Jurema Preta (*Mimosa Hostilis*); (Leprun, 1983 citado por Cadier et al, 1983a). "A vegetação nativa naquela região é do tipo caatinga dos Cariris Velhos com um estrato dominante, do ponto de vista recobrimento foliar, de 2 a 3 m de altura. O estrato de 4 a 6 m também é importante, mas os arbustos estão sobretudo localizados ao longo dos eixos de drenagem" (Fotius, 1983).

3.3 - Instrumentação

3.3.1 - Bacia Experimental De Sumé

A Bacia Experimental de Sumé é composta por quatro microbacias com 0,5 a 1 ha de área, por nove parcelas experimentais tipo Wischmeier (Wischmeier, 1960a) com 100m² e por uma sub-bacia de 10 km², todas operadas com chuva natural, microparcels de 1 m² operada com chuva simulada e ainda uma estação climatológica, equipada com pluviômetro, pluviógrafo, tanque evaporimétrico "Classe A", termômetros, anemômetro, conjunto psicrômetro e heliógrafo (figura 3.2). A bacia foi instalada com o objetivo de integrar e relacionar o estudo das zonas de produção, ou de captação de água, com as zonas de utilização (Gomes et al, 1987).

3.3.2 - Parcelas Experimentais

Cada parcela possui dois tanques coletores com capacidade de 1000 litros cada (figura 3.3). O primeiro deles é equipado com um partidor de descargas, em que oito partes em nove transbordam (figura 3.4), logo 11,1% (a nona parte) dos volumes que transbordam do primeiro tanque são coletados no segundo.

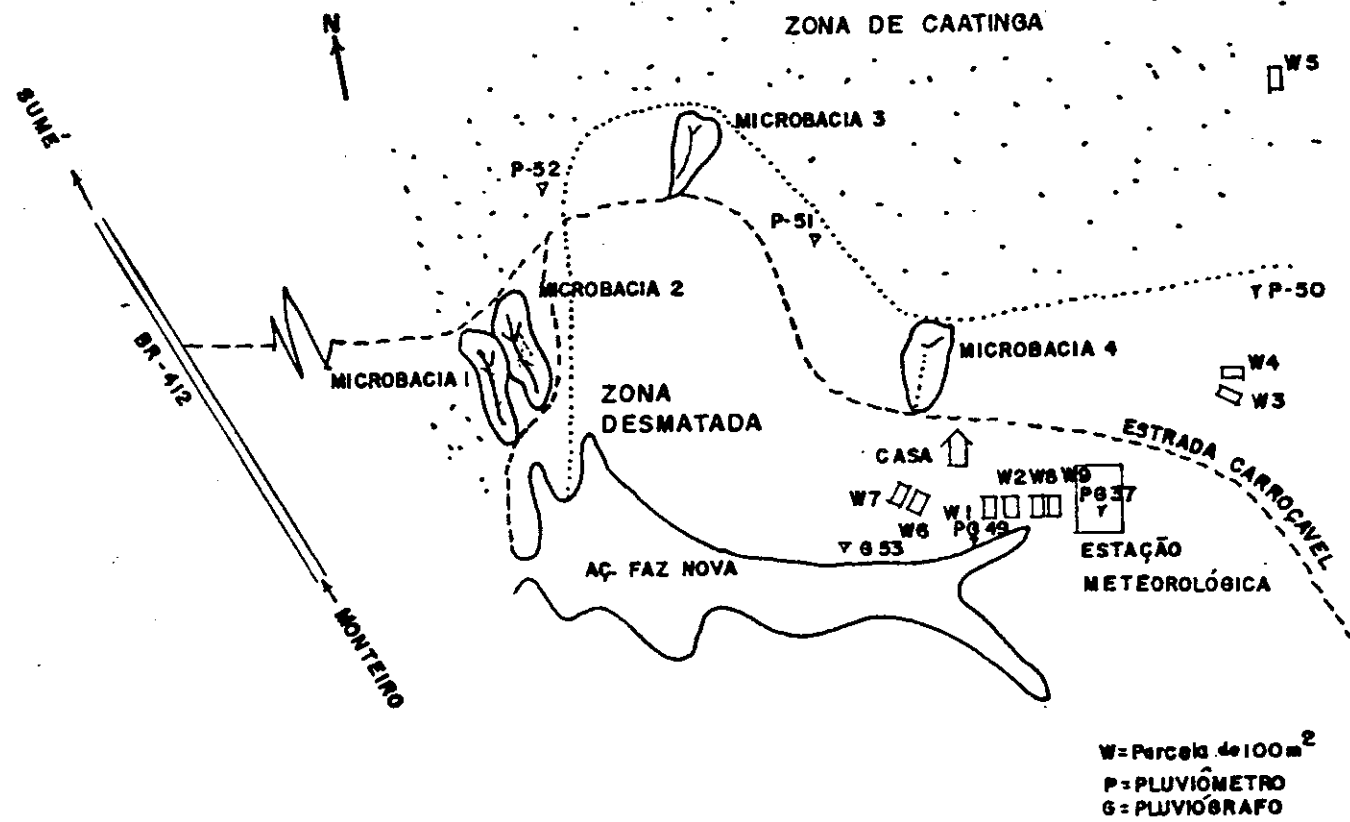


Figura 3.2 Croqui de localização das instalações (Cadier et alii, 1983)

3.4 - Coleta Dos Dados

Os volumes armazenados de água e sedimento escoados são obtidos somando-se o conteúdo do primeiro tanque com nove vezes o conteúdo do segundo. O primeiro tanque está equipado com um balde coletor que, dependendo do volume da cheia, sangra para este tanque.

A quantidade de sedimento transportado é obtido somando-se o sedimento retido no tanque (em suspensão e depositado no fundo) com a quantidade de sedimento que foi levado pela sangria.

Para avaliação da produção de sedimentos são feitas amostragens nos dois tanques coletores. São coletadas amostras do balde coletor, no primeiro tanque (em dois estágios correspondentes a duas concentrações diferentes), e no segundo tanque (um único estágio).

As amostras de água com sedimento são colhidas em volumes de 5 litros e de 1000 cm³ em quantidades que dependem do volume da cheia. Para diminuir o volume que é transportado para o laboratório, as amostras passam por um processo de reconcentração por floculação com sulfato de alumínio, podendo ser reduzido a até 200 ml, dependendo do conteúdo de sedimentos.

A determinação do peso de sedimento contido na amostra é feito por um processo de filtração, secagem na estufa e pesagem do resíduo seco. A obtenção do total de sedimento transportado em kg/ha é conseguido somando-se os produtos das concentrações das amostras pelo volume de água correspondente, representado por estas amostras. O roteiro para coleta das amostras nas parcelas estão apresentados no anexo 1.

3.5 - Controle Experimental

Os equipamentos instalados nas parcelas permitem a coleta e a medição do escoamento e da erosão provocados por cada chuva. Esses equipamentos foram concebidos para funcionar sem intervenção direta dos operadores durante os escoamentos. As medições são realizadas logo após cada cheia, o que implica a localização permanente de um técnico no campo durante a estação de chuvas (Cadier et al., 1983b).

Nove parcelas experimentais foram instaladas na Bacia Experimental de Sumé, suas características físico- morfológicas estão apresentadas na tabela 3.1.

VISTA DE CIMA

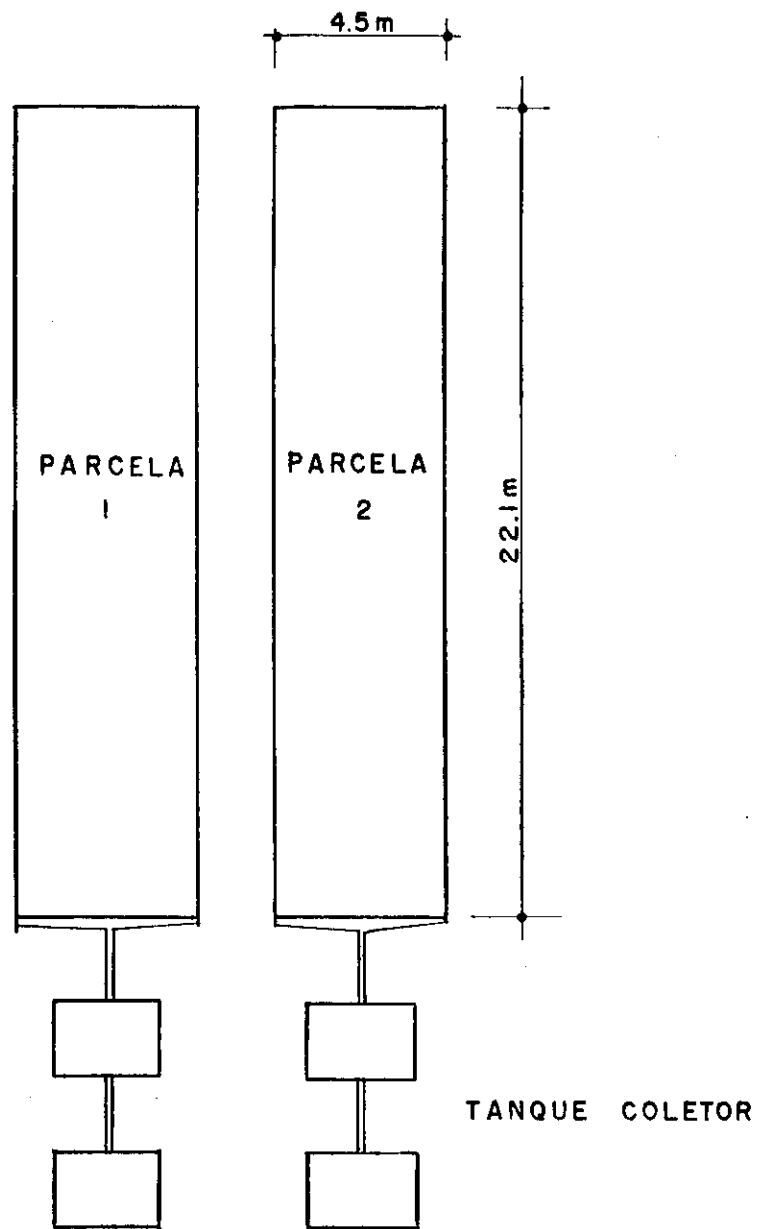


Figura-3.3 PARCELAS EXPERIMENTAIS DE 100 m² (Cadler et alii , 1983)

ESCOAMENTO E EROSÃO DA PARCELA

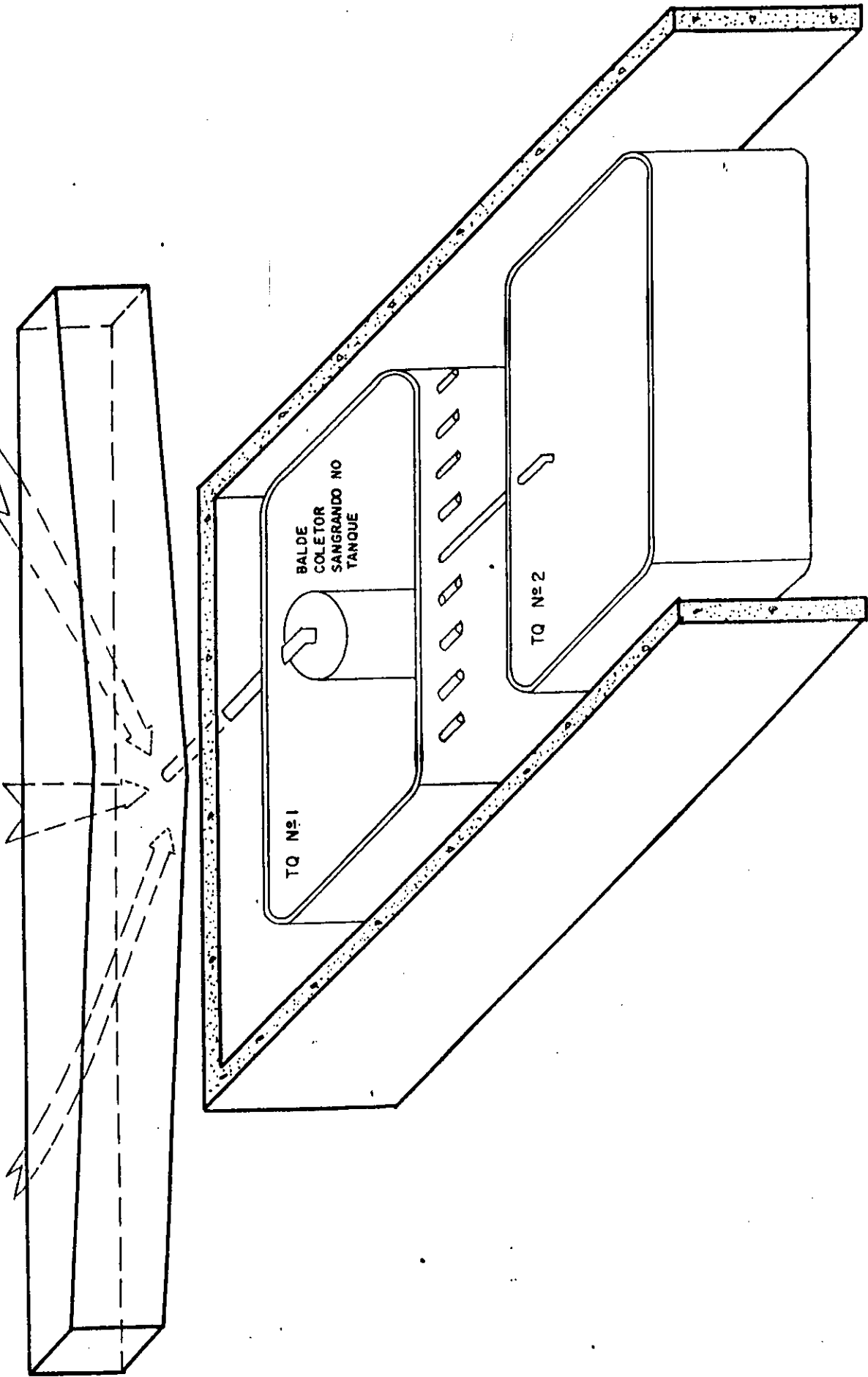


Fig. 3.4 TANQUES COLETORES DAS PARCELAS DE 100 m² (Cadler et alii, 1983) PERSPECTIVA

Segundo Gomes et al (1987), o controle experimental nas parcelas é feito pelo operador obedecendo as seguintes regras:

- a vegetação nas parcelas 1 e 4 deverá ser retirada quando atingir uma média de 5cm de altura;
- nas parcelas 2 e 3 a vegetação é roçada quando atingir 20 a 25 cm, sem que seja retirado o mato cortado do local;
- semanalmente o operador faz um levantamento sobre o estado das parcelas com relação a altura mínima, média e máxima da vegetação; aspecto da vegetação (seca, murcha, verde, recrescendo, solo nú, etc), e aspecto do solo (cultivado, removido, compactado);
- a parcela 8 é mantida constantemente limpa (sem vegetação) e seu solo é revolvido sempre que a superfície se apresenta compactada, de acordo com a parcela padrão de Wischmeier (Wischmeier e Smith, 1960b).

Tabela 3.1
Características Físicas Das Parcelas (Gomes et al, 1987).

Parcelas	Declividade (%)	Cobertura Vegetal e Estado da Superfície
1	3,8	Desmatada
2	3,9	Cobertura Morta
3	7,2	Cobertura Morta
4	7,0	Desmatada
5	9,5	Caatinga Nativa
6	4,0	Palma Forrageira (plantada morro abaixo)
7	4,0	Palma Forrageira (plantada em sulcos nivelados)
8	4,0	Desmatada e manejada de acordo com as normas de Wischmeier
9	4,0	Caatinga Renascida (6 anos)

4 - REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

4.1 - Considerações Gerais

A análise de regressão múltipla será aplicada aos dados das parcelas experimentais de Sumé visando obter modelos que simulem os processos de erosão, escoamento superficial e infiltração (através do índice phi, para a obtenção da lâmina escoada por via indireta).

Ela será utilizada procurando-se medir a relação existente entre as variáveis explicativas independentes e a variável dependente, através de uma expressão matemática que traduza a natureza desta relação.

4.2 - Utilização Dos Modelos De Regressão

Diante das vantagens apresentadas no emprego dos modelos de regressão linear múltipla, abordadas no capítulo 2, deve-se utilizar modelos de regressão para:

- 1) estimar valores individuais da variável dependente correspondendo aos valores selecionados das variáveis independentes;
- 2) determinar a quantidade de mudanças na variável dependente associada com a unidade mudada na variável independente considerada.
- 3) determinar se as variáveis independentes têm relacionamento com a variável dependente.

4.3 - Gênese Do Modelo

A análise de regressão múltipla constitui um conjunto de métodos e técnicas para o estabelecimento de fórmulas empíricas que interpretam a relação funcional entre variáveis com boa aproximação.

Tomando-se Y como variável dependente a ser estudada, teremos essa variável sofrendo influência de um número finito de variáveis independentes e com uma função "g" expressando essa dependência:

$$Y = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (\text{eq. 4.1})$$

Por ser impraticável a utilização das "n" variáveis pela dificuldade de mensuração ou por falta de conhecimento as variáveis são reduzidas a um número "K", o modelo então torna-se:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_K) + (X_{K+1}, X_{K+2}, \dots, X_n) \quad (\text{eq. 4.2})$$

Todas as influências das variáveis $X_{K+1}, X_{K+2}, \dots, X_n$, sobre as quais não exercemos controle, são consideradas variáveis aleatórias, obtendo o seguinte modelo de regressão:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_K) + U \quad (\text{eq. 4.3})$$

onde: $f(X_1, X_2, \dots, X_K)$ é a componente funcional do modelo;

U é a parte aleatória do modelo.

4.4 - Especificação Do Modelo

Consiste na determinação da forma pela qual as variáveis independentes se relacionam com a variável dependente, ou ainda qual o tipo de função (linear, polinomial, exponencial, etc.). Neste estudo as formas de regressão utilizadas foram a linear e a exponencial, representadas matematicamente da seguinte forma:

$$D = a + bx \quad (\text{eq. 4.3})$$

$$D = ax^b \quad (\text{eq. 4.4})$$

A linearidade do modelo da equação é uma base para solução direta pelo método dos mínimos quadrados. A equação na forma exponencial foi linearizada fazendo uso do logaritmo, ficando:

$$\log D = \log a + b \log x \quad (\text{eq. 4.5})$$

Para a colocação de variáveis independentes na equação, Drapper e Smith (1976) recomendam a utilização do processo passo a passo, em que são incluídas sucessivamente no modelo as variáveis independentes mais fortemente correlacionadas com y, sendo feita após cada inclusão, uma análise para se verificar se alguma variável já anteriormente incluída não deva ser descartada. Dessa forma, procura-se chegar a uma equação que represente bem a relação sem ser sobrecarregada pela presença de variáveis que não contribuem significativamente para melhor explicá-la. Isso ocorre, em geral, quando uma variável está fortemente correlacionada com alguma outra que está incorporada

á equação da regressão, trazendo, portanto pouca contribuição no sentido de aprimorar o modelo.

Para a execução das regressões, foi utilizado o SOFTWARE CIENTIFICO - SOC, que foi desenvolvido num esforço conjunto da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, Centro Tecnológico para Informática - CTI e Banco do Brasil. Sua estrutura é constituída de módulos que podem ser usados isoladamente. O módulo REGRESS foi utilizado neste trabalho.

O módulo REGRESS ajusta modelos de regressão linear simples e múltiplos através do método dos mínimos quadrados, método este que, segundo Noether (1980), vem sendo usado pelos matemáticos há mais de 100 anos e consiste na minimização da soma dos quadrados dos resíduos.

4.5 - Verificação Do Modelo

A verificação do modelo, após a sua estimação, será feita com base em parâmetros estatísticos (coeficiente de determinação e coeficiente de determinação ajustado) e no teste de significância global do modelo (Teste F).

4.5.1 - Teste F

O teste realizado pelo SOC para o modelo de regressão é o teste F que é o teste de significância global do modelo, testamos em última análise, a ligação entre a variável explicada e o conjunto de variáveis explicativas. O F calculado mostra a relação entre a variância explicada pela regressão e a variância residual (Costa Neto, 1981). O teste é realizado ao nível de significância de 5%. O valor de F foi fornecido pelo REGRESS para cada uma das regressões realizadas e através das tabelas estatísticas (Costa Neto, 1981), verificou-se se o modelo é ou não significativo.

4.5.2 - Coefficiente De Determinação

O coeficiente de determinação é definido como sendo a proporção da variação total que é explicada pela regressão.

A variação inexplicada é devida a fatores aleatórios, sobre os quais o pesquisador não tem controle (Noether, 1980)

4.5.3 - Coefficiente De Determinação Ajustado

De acordo com Canali (1981), o coeficiente de determinação ajustado R^2 , exprime o percentual da variância total explicada pelo modelo deixando de ser um simples indicador de dispersão, é uma melhora na estimativa de R^2 já que se considera o número de graus de liberdade. É dado pela expressão:

$$\overline{R}^2 = 1 - \frac{(n-1)(1-R^2)}{n-p-1} \quad (\text{eq. 4.5})$$

onde: n - número de observações realizadas;

p - graus de liberdade;

R^2 - coeficiente de determinação.

Todas as regressões apresentadas neste trabalho foram analisadas baseadas no teste citado.

4.6 - Regressões Realizadas

As regressões foram realizadas de modo que ao final pudéssemos fornecer uma equação de previsão adequada à região e com parâmetros de fácil obtenção.

4.6.1 - Variáveis Utilizadas nas Regressões

Como um dos objetivos deste trabalho é futuramente os resultados aqui obtidos poderem ser extrapolados para outras escalas senão a de parcelas e ainda outras localidades, houve a preocupação de se utilizar variáveis de fácil medição e que refletissem bem o processo hidrológico.

As variáveis apresentadas a seguir foram testadas nas equações de regressão, visando-se obter a que melhor simulasse a erosão, o escoamento superficial e a infiltração em condições diferentes de declividade e de cobertura vegetal.

PREC - é a precipitação ocorrida em cada evento, obtida no campo através da leitura do pluviômetro da estação climatológica Fazenda Nova, também localizada na bacia experimental.

L_{Pi} - é a lâmina escoada por evento, obtém-se pela leitura do nível da água na caixa coletora existente em cada parcela *i*. Onde: *i* - número da parcela.

E_{Pi} - é a erosão provocada por cada cheia ocorrida na parcela *i*. Onde: *i* - número da parcela.

P - indica a chuva efetiva. Esta precipitação efetiva é determinada à partir das abstrações iniciais, ou perdas iniciais, que são definidas como a quantidade máxima de precipitação que pode ser desenvolvida sobre condições específicas sem produzir escoamento. A abstração inicial é uma importante estimativa para precipitações ocorrendo em condições antecedentes secos desde que isto venha a compensar a capacidade de infiltração inicial resultante do uso de uma taxa média. Dado pela expressão:

$$P = \text{Prec} - X \quad (\text{eq. 4.6})$$

onde: **X** é a quantidade de precipitação que não seria suficiente para gerar escoamento (abstração inicial). É variável de parcela para parcela e testado através de incremento em um valor inicialmente estimado para ele, sendo escolhido o que forneceu melhor coeficiente de determinação (tabela 4.1).

Tabela 4.1

Abstração Inicial Para Cada Parcela (X).

Parcelas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X	3	38	56	4	54	2	13	5	9

IH - o índice de precipitação antecedente reflete o grau de umidade ou a infiltração potencial da bacia. No uso desses índices é comumente assumido que o grau de umidade para a cheia anterior é intimamente relacionado com a umidade do solo, a qual está controlando o fator de escoamento. Torna-se necessário então determinar o modo de cálculo e obtenção de IH. Escolheu-se para tal, um índice do tipo Kohler (Chevallier, 1983 e Molinier, Audry, Desconnets e Leprun, 1988) da forma:

$$IH_n = (IH_{n-1} + P_{n-1}) K^T \quad (\text{eq. 4.7})$$

$$0 < K < 1$$

onde: T - tempo passado entre a chuva estudada P_n e a chuva anterior P_{n-1} ;

IH_n - índice de umidade antes da chuva P_n do dia n;

IH_{n-1} - índice de umidade antes a chuva P_{n-1} ;

K - coeficiente de ajuste que depende da permeabilidade do solo e da cinética de redistribuição de seus horizontes. A determinação do melhor valor da constante K, foi feita através de diversas regressões realizadas nas parcelas 1 e 4. Como não foram verificadas muitas distorções quando se utilizava valores diferentes de k e, alguns pesquisadores (Sanguinetti et al, 1981), já empregam $k=0,95$, este valor foi portanto adotado.

DE - indica a duração de cada evento de cheia, obtido através do linigrama.

IMED - é a intensidade média do evento de cheia, obtido do gráfico precipitação x tempo.

VPA(10) - De acordo com Silveira (1982) é a variação da precipitação antecedente, fator indicativo para teor de umidade do solo no início dos eventos, tem a mesma função de IH, foi testado para verificar qual dos dois seria mais adequado. Esse parâmetro é dado pela equação:

$$\text{VPA}(10) = \text{TP}_{(11-i)} \times i \quad (\text{eq. 4.8})$$

onde: TP - total precipitado (mm) no dia (11 - i) antecedente ao evento;

FCU(10) - fator de chuva e umidade do solo não corrigido (Silveira (1982)). Dado por:

$$\text{FCU}(10) = R^2 \times \text{VPA}(10) \quad (\text{eq. 4.9})$$

onde: R - fator de energia cinética da chuva da Eq. Universal de Perda dos Solos;

VPA (10) - variação da precipitação antecedente, fator indicativo para o teor de umidade do solo no início dos eventos pluviosos.

EI₃₀ - índice de erosividade, é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva de causar erosão.

onde: E - energia cinética da chuva.

I₃₀ - intensidade máxima da chuva em 30 minutos.

PHI - é uma taxa média de infiltração derivado de um gráfico tempo-intensidade de precipitação, de tal maneira que o volume de precipitação excedido desta taxa seria igual ao volume escoado (Chow, 1964).

Onde: i - número da parcela.

4.7 - Resultados

4.7.1 - Escoamento Superficial

No processo de escoamento as variáveis testadas foram PREC, DE, IMED, III e VPA(10). Abaixo temos a listagem das regressões executadas no processo do escoamento superficial e os comentários a respeito de cada uma dessas relações.

$$\text{a) } \text{LPi} = f(\text{IH}) \quad (\text{eq. 4.10})$$

Este modelo em função apenas da variável IH, mostrou-se pouco explicativo para o fenômeno do escoamento nas diversas parcelas, tendo obtido inclusive coeficientes de determinação inferiores a 0,1 em todas as parcelas.

$$\text{b) } \text{LPi} = f(\text{PREC}) \quad (\text{eq. 4.11})$$

A importância da variável PREC no escoamento das parcelas foi demonstrada neste modelo, chegando a explicar quase 90% do escoamento na parcela 4.

$$c) LP_i = f(\text{PREC}, \text{IH}) \quad (\text{eq. 4.12})$$

A combinação destas duas variáveis não apresentou melhoria em relação ao modelo anterior, visto que a contribuição de IH não mostrou ser significativa quando se trata de eventos conjuntamente.

$$d) LP_i = f(\text{PREC}, \text{DE}) \quad (\text{eq. 4.13})$$

O conjunto formado por dois fatores revelou valores bastante satisfatórios para o coeficiente de determinação, apesar da correlação entre variáveis não ser tão significativa.

$$e) LP_i = f(\text{PREC}, \text{IMED}) \quad (\text{eq. 4.14})$$

Esta relação foi a que demonstrou mais ligação entre as variáveis, porém o coef. de determinação, para a maioria das parcelas, foi melhor no modelo anterior.

$$f) LP_i = f(\text{PREC}, \text{VPA}(10)) \quad (\text{eq. 4.15})$$

A tentativa de se utilizar um outro índice que representasse a umidade antecedente do solo foi feita na expectativa de se ter melhores resultados do que com IH que já havia sido testado, porém como isso não aconteceu, o parâmetro IH irá representar essa umidade, já que esta é a variável adotada pelo diversos pesquisadores na região.

$$g) LP_i = f(\text{PREC}, \text{DE}, \text{IMED}) \quad (\text{eq. 4.16})$$

Este modelo foi o que conseguiu explicar melhor o escoamento superficial pois ele reuniu as variáveis mais influentes e apresentou, na maioria das parcelas, coeficientes de determinação acima de 0,7.

$$h) LP_i = f(\text{PREC}, \text{DE}, \text{IMED}, \text{IH}) \quad (\text{eq. 4.17})$$

De acordo com a tabela 8 (anexo 2.A), concluímos que o parâmetro IH contribui pouco para a explicação do fenômeno. Portanto, sugere-se, em caso que se tenha dificuldade no seu cálculo, a utilização do modelo anterior, já que este também apresentou bons resultados.

As verificações feitas nos resultados encontrados, baseadas nos parâmetros estatísticos, para o escoamento superficial em cada parcela mostraram que os modelos encontrados representam bem o processo físico, especialmente na parcela 4, como podemos observar na tabela 4.2.

Tabela 4.2
Modelos de Escoamento para as Parcelas da
Bacia Experimental de Sumé

Equação	R²	\bar{R}^2	F	Nº de dados
LP1=-2,195+0,399(PREC)-0,109(DE)+ 0,287(IMED)	0,76	0,76	174,96	168
LP2=-2,286+0,420(PREC)-0,451(DE) - 0,226(IMED)	0,58	0,57	73,88	167
LP3=-2,200+0,438(PREC)-0,464(DE) - 0,266(IMED)	0,64	0,63	174,96	167
LP4=-3,403+0,602(PREC)-0,340(DE) +0,142(IMED)	0,90	0,90	488,49	166
LP5=-0,847+0,224(PREC)-0,290(DE) - 0,187(IMED)	0,51	0,50	56,89	170
LP6=-4,865+0,571(PREC)-0,228(DE)+ 0,244(IMED)	0,80	0,80	198,97	152
LP7=-5,039+0,557(PREC)-0,405(DE)+ 0,186(IMED)	0,78	0,77	178,03	156
LP8=-2,071+0,619(PREC)-0,735(DE)+ 0,079(IMED)	0,76	0,75	64,23	65
LP9=-1,017+0,055(PREC)+0,101(DE)+0,017(IMED)	0,18	0,14	4,67	67

LP_i é a lâmina escoada, por evento, na parcela i.

R² é o coeficiente de determinação do modelo.

\bar{R}^2 é o coef. de determinação ajustado do modelo.

F é o valor de F (teste F), calculado para o modelo

Com o resultado das regressões executadas, pode-se perceber que no escoamento superficial a variável que mais contribui no processo é a precipitação, em seguida a duração do evento. O índice de umidade antecedente influencia muito quando o evento é isolado, para o caso do estudo, onde são considerados 193 eventos conjuntamente a contribuição dele é mínima, podendo-se inclusive simplificar a equação com a eliminação desta variável sem que isso acarrete numa diminuição significativa do coeficiente de determinação.

A intensidade média (variável IMED), apresentou sinais negativos nas parcelas 2, 3 e 5 significando que quanto maior IMED menor o escoamento nessas parcelas. Isso

ocorre porque as gotas de chuva não alcançam o solo devido à densa cobertura vegetal existente que causam a interceptação da chuva.

Para as parcelas 5 e 9 devido à densa cobertura vegetal, a incidência da precipitação no solo é mínima, a lâmina escoada possui valores muito pequenos.

Os coeficientes de IH tiveram a mesma ordem de grandeza para todas as parcelas. Sua contribuição tratando-se de dados conjuntos foi mínima alcançando o máximo de 3% nas parcelas 2, 6 e 7.

A parcela 8, apesar de dispor de poucos dados utilizáveis, pode refletir o processo físico do escoamento. As variáveis PREC e IMED, respectivamente são as que mais influenciam o processo. A variável DE, como era esperado, não contribui significativamente porque a água só vai escoar quando o solo ficar saturado. A tendência é que a água ocupe os espaços existentes no solo para depois contribuir para o escoamento.

Para a precipitação foram obtidos coeficientes bastante significativos exceto para as parcelas 5 e 9 por razões anteriormente citadas. Para as outras parcelas verificamos aproximações grandes nos coeficientes da 1, 2 e 3, como também na 6 e 7 sendo neste caso maior para a parcela 6, por se tratar de cultivo morro abaixo.

Para a variável DE (duração do evento) nós obtivemos para a parcela 9 o único valor positivo dentre todos os outros coeficientes desta variável nas demais parcelas. As parcelas 2 e 3 tiveram o coeficiente bastante próximos.

A matriz de correlação, para cada parcela, da melhor regressão encontrada estão apresentadas nas tabelas do anexo 2.

4.7.2 - Erosão

O estudo de erosão e produção de sedimentos tem grande estabilidade dentro de uma importante área dos recursos hidrológicos devido à significância econômica dos processos que envolve (Walling, 1988).

Tivemos para a erosão algumas variáveis já utilizadas no escoamento e que também contribuem na erosão como a variável PREC, IH, IMED, DE e outras que ainda não foram utilizadas que são E_{130} e $FCU(10)$. As matrizes de correlação para cada uma das relações e parcelas encontram-se nas tabelas do anexo 3.

$$\text{a) } E_{Pi} = f(EI_{30}) \quad (\text{eq. 4.18})$$

Este modelo mostrou que o processo de erosão está fortemente relacionado com a variável EI_{30} .

$$\text{b) } E_{Pi} = f(FCU(10)) \quad (\text{eq. 4.19})$$

Na expectativa de se encontrar um melhor índice que represente a erosividade, foi feita esta regressão com o índice utilizado por Silveira (1982). Como não foi significativamente maior a sua contribuição optou-se por continuar com EI_{30} que já vinha sendo empregado em outros trabalhos.

$$\text{c) } E_{Pi} = f(PREC) \quad (\text{eq. 4.20})$$

Como para EI_{30} , a variável $PREC$ mostrou que o seu papel é de fundamental importância para o processo da erosão.

$$\text{d) } E_{Pi} = f(EI_{30}, IH) \quad (\text{eq. 4.21})$$

A junção de IH com EI_{30} não revelou resultados muito melhores que os apresentados no item a 1.

$$\text{e) } E_{Pi} = f(PREC, EI_{30}) \quad (\text{eq. 4.22})$$

Apesar de cada um desses fatores ter mostrado que exercem uma boa influência no processo, a combinação deles não apresentou resultado considerado satisfatório na maioria das parcelas, porém a relação já é melhor que as anteriores.

$$\text{f) } E_{Pi} = f(PREC, IH, EI_{30}) \quad (\text{eq. 4.23})$$

A inclusão de IH no modelo anterior não aumentou muito o coeficiente de determinação, pois como já havia sido visto este índice não reflete aumento neste coeficiente.

$$\text{g) } E_{Pi} = f(PREC, EI_{30}, IMED) \quad (\text{eq. 4.24})$$

A substituição do IH por $IMED$ em algumas parcelas provocou um pequeno aumento do coeficiente de determinação, em outras porém esse valor foi diminuído como podemos comparar nas tabelas 6 e 7 (anexo 3.B).

$$\text{h) } E_{Pi} = f(PREC, EI_{30}, DE, IMED) \quad (\text{eq. 4.25})$$

Diante dos outros modelos testados esse foi o que trouxe melhores resultados, porém estes ainda não são considerados satisfatórios.

$$i) \log E_{Pi} = f(\log PREC, \log DE, \log EI_{30}, \log IMED) \quad (\text{eq. 4.26})$$

A regressão exponencial foi usada neste modelo sendo feita a linearização através do logaritmo objetivando com isso encontrar melhores valores para o coeficiente de determinação. Em algumas parcelas houve aumento significativo no coeficiente de determinação (5, 6, 8 e 9) em outras chegou a ocorrer decréscimo (1, 4 e 7).

$$j) \log E_{Pi} = f(\log PREC, \log IH, \log EI_{30}, \log IMED) \quad (\text{eq. 4.27})$$

A substituição de DE por IH (utilizando a forma logaritmica) neste modelo apresentou a melhor combinação obtida até então para a obtenção de um modelo matemático que reflita o processo da erosão. Apenas nas parcelas 5 e 8 é que houve uma pequena redução não chegando a ser considerável.

$$l) \log E_{Pi} = f(\log PREC, \log DE, \log EI_{30}, \log IMED, \log IH) \quad (\text{eq. 4.28})$$

O processo de erosão necessita de muitas variáveis para que possa ser explicada. A inclusão da variável DE no modelo anterior fez com que melhores valores do coeficiente de determinação fossem obtidos nas diversas parcelas, exceto para a de número 7 não sendo porém uma diferença significativa.

Para a erosão os testes dos modelos não revelaram resultados tão satisfatórios quanto os do escoamento, porém como se trata de erosão, são resultados consideráveis devido às dificuldades encontradas especialmente na coleta de dados.

Em geral, as variáveis que mais contribuíram para erosão foram sucessivamente EI_{30} , PREC, IH e IMED, exceto para a parcela 9 que com um comportamento atípico, teve como variável mais influente PREC. A tabela 4.3 apresenta as expressões resultantes da melhor relação de regressão obtida para a erosão.

Tabela 4.3
Modelos Logarítmicos de Erosão para as parcelas
da Bacia Experimental de Sumé

Equação	R^2	\bar{R}^2	F	Nº de dados
EP1= 1,329-1,135(PREC)+0,630(IH)+ +1,621(EI ₃₀)+0,073(IMED)	0,58	0,59	51,83	158
EP2= -1,758+0,320(PREC)+0,338(HI)+ +0,600(EI ₃₀)+0,640(IMED)	0,29	0,26	9,58	100
EP3= 1,832 -1,071 (PREC)-0,388(IH)+ +1,185(EI ₃₀) -0,254(IMED)	0,17	0,13	4,09	86
EP4= 1,836-1,056 (PREC) +0,433(IH)+ +1,741(EI ₃₀) -0,175(IMED)	0,55	0,54	44,42	150
EP5= 2,375+0,579(PREC)+0,110 (IH)+ +0,769(EI ₃₀)+0,340(IMED)	0,49	0,46	14,42	65
EP6= 1,414 -0,995(PREC)+0,590 (IH)+ +1,548(EI ₃₀)+ 0,303(IMED)	0,52	0,50	37,95	146
EP7= 1,149- 0,114 (PREC)+0,461 (IH)+ +1,266(EI ₃₀)+ 0,793(IMED)	0,62	0,61	54,96	138
EP8= 2,316-2,302 (PREC)+0,653 (IH)+ +2,364(EI ₃₀) -0,444(IMED)	0,58	0,55	15,11	48
EP9= 7,309-4,557 (PREC)+1,096 (IH) - +1,728(EI ₃₀)+1,932(IMED)	0,52	0,42	5,31	25

E_{Pi} é a erosão por evento na parcela i.

R^2 é o coeficiente de determinação do modelo.

\bar{R}^2 é o coef. de determinação ajustado do modelo.

F é o valor de F (teste F), calculado para o modelo.

Salientamos, que em todos os modelos, verificou-se uma forte relação existente entre as variáveis PREC e EI₃₀, apesar disso nenhuma das duas variáveis foi retirada pois, os valores encontrados para o coeficiente de determinação nas relações de erosão são muito baixos e a permanência destas variáveis tornou-se importante visto que contribui para o acréscimo deste coeficiente.

No anexo 2 estão apresentadas as matrizes de correlações para a regressão logarítmica que melhor simulou o processo da erosão.

4.7.3 - Infiltração

A determinação da infiltração em cada parcela, através da determinação do índice phi (taxa média de infiltração do gráfico tempo-intensidade de precipitação), permite a obtenção da lâmina escoada por via indireta.,

A listagem das relações testadas encontra-se a seguir:

- a) $PHI_i = f(IH)$ (eq. 4.29)
- b) $PHI_i = f(PREC)$ (eq. 4.30)
- c) $PHI_i = f(p)$ (eq. 4.31)
- d) $PHI_i = f(EI_{30})$ (eq. 4.32)
- e) $PHI_i = f(IH, EI_{30})$ (eq. 4.33)
- f) $PHI_i = f(PREC, IH, EI_{30})$ (eq. 4.34)
- g) $PHI_i = f(PREC, IH, FCU(10))$ (eq. 4.35)
- h) $PHI_i = f(IH, p, EI_{30})$ (eq. 4.36)
- i) $\log PHI_i = f(\log IH, \log PREC, \log EI_{30})$ (eq. 4.37)
- j) $\log PHI_i = f(\log PREC, \log EI_{30}, \log IMED)$ (eq. 4.38)
- l) $\log PHI_i = f(\log IH, \log PREC, \log EI_{30}, \log DE)$ (eq. 4.39)
- m) $\log PHI_i = f(\log IH, \log PREC, \log EI_{30}, \log IMED)$ (eq. 4.40)
- n) $\log PHI_i = f(\log IH, \log PREC, \log EI_{30}, \log DE, \log IMED)$ (eq. 4.41)

De um modo geral as regressões executadas para a obtenção da taxa de infiltração através do índice phi, não revelaram nenhuma relação significativa do ponto de vista estatístico.

As relações testadas para a obtenção de uma expressão que simulasse o processo de infiltração (através do índice phi), não surtiram efeitos significativos, sendo portanto consideradas insatisfatórias para esse fim, baseando-se nos parâmetros estatísticos usados para verificação.

O anexo 3.C apresenta tabelas resumo das matrizes de correlações de todas as relações testadas para cada uma das parcelas.

5 - WESP

5.1 - Considerações Gerais

O modelo WESP, foi desenvolvido por Lopes (1987) para ser utilizado em pesquisa de erosão em pequenas bacias, com a finalidade de dar condições de entender e simular o sistema de erosão/decomposição e ainda para servir de instrumento de comparação para avaliação de modelos simplificados desenvolvidos para aplicação prática. O WESP usa conceitos fundamentais que teoricamente regem os processos de escoamento e erosão hídrica. O modelo foi testado em microbacias experimentais operadas pelo U. S. Department of Agriculture, em Tucson, Arizona, EUA e os resultados obtidos foram considerados satisfatórios.

Lopes (1987), aplicou o modelo WESP sob chuva simulada em três parcelas (vegetação natural, vegetação removida e vegetação totalmente removida com superfície nua) e ainda em duas pequenas bacias (2.344,7 m² e 34.792,2 m²) cobertas com vegetação natural.

5.2 - Concepção e Formação do Modelo

Para simplificar, o modelo representa a bacia através de planos de escoamento e de canais. "Os planos são delineados baseados na edafologia, vegetação e topografia; seus contornos são linhas de fluxo ou curvas de nível. Os canais são considerados prismáticos (trapezoidais, triangulares ou retangulares) possuem propriedades hidráulicas uniformes em cada trecho e consideram entrada de água por escoamento lateral das superfícies ou como entrada pontual de outros canais. Cada elemento é caracterizado por um conjunto de parâmetros e é identificado por um número de acordo com sua sequência no cálculo computacional" (Galvão, 1990).

O WESP, representa a bacia através de uma geometria simplificada, consistindo de uma sequência de elementos discretos, em forma de cascata, representando planos que descarregam em canais (Lopes e Lane, 1987).

Neste trabalho o modelo WESP será aplicado em uma das parcelas experimentais existentes na Bacia Experimental de Sumé (parcela 1), cujas características

físicas e climáticas já foram anteriormente descritas. Sendo assim, o modelo será aplicado a um plano, baseando-se na divisão da bacia em elementos (planos e canais) feita pelo modelo.

Os processos de infiltração, hidráulica do escoamento superficial e a mecânica dos processos de erosão e deposição são a base do modelo sendo considerados inclusive como os três componentes principais. A forma de obtenção desses componentes para um plano são apresentadas a seguir.

5.2.1 - Infiltração

A chuva permanente, de acordo com Galvão (1990), é caracterizada por ser composta por duas fases; a primeira acontece quando ainda não houve saturação do perfil e a infiltração ocorre na taxa da intensidade de precipitação, se esta for menor que a capacidade de infiltração. Na segunda, com o perfil já saturado, passa a ocorrer "empocamento" e a taxa de infiltração é igual à capacidade de infiltração, independente da distribuição da precipitação.

De acordo com Mein e Larson (1973), durante uma chuva permanente a infiltração é modelada através da equação de Green e Ampt (1911) apresentada a seguir:

$$f(t) = K_s (1 + N_s / F(t)) \quad (\text{eq. 5.1})$$

onde: $f(t)$ é a taxa de infiltração (m/s),

K_s é a condutividade hidráulica efetiva do solo (m/s),

$F(t)$ é a profundidade da frente de molhamento (m), t é o tempo (s) e

N_s é o potencial efetivo ou potencial de capilaridade, associado à frente de molhamento (m).

"A equação de Green-Ampt assume que existe uma frente de molhamento distinta e precisamente definível; que a sucção ou o potencial nesta frente permanece constante independente de tempo ou posição, que o perfil de solo é homogêneo; e que a distribuição da umidade antecedente no solo é uniforme em todo o perfil" (Galvão, 1990).

A chuva não permanente caracteriza-se pela ocorrência das duas fases existentes na chuva permanente diversas vezes durante um mesmo evento. Para essa

situação, Chu (1978), modificou a equação de Green-Ampt. Esta modificação foi utilizada no WESP:

$$t_p = t_{n-1} + (K_s \cdot N_s / (i - K_s) - P(t_{n-1} + R(t_{n-1}))) / i \quad (\text{eq. 5.2})$$

onde: t_p é o tempo de empoçamento,

i é a intensidade de precipitação,

P é a chuva acumulada (mm),

R é o escoamento acumulado (mm), e

t_{n-1} é o tempo no início do intervalo considerado (h). As outras variáveis já foram escritas anteriormente.

5.2.2 - Escoamento Superficial

Lopes (1987), na concepção do modelo, assumiu que a precipitação é dividida em infiltração e excesso de precipitação; a propagação do excesso de precipitação é feita como se a superfície fosse impermeável e a infiltração considerada uniformemente distribuída sobre a superfície. O fluxo que entra à montante do plano é considerado uma condição de fronteira.

O escoamento superficial, resulta da propagação, ao longo do plano da bacia, do excesso de precipitação (considerado unidimensional, não permanente e espacialmente variado) utilizando na sua determinação a simplificação pelas equações da onda cinemática.

Para o fluxo superficial sobre planos, as equações da continuidade e quantidade de movimento utilizadas na modelagem, baseadas especialmente nos trabalhos de Woolhiser e Liggett (1967), Smith e Woolhiser (1971) e Rovey et al (1977), são:

$$\partial h / \partial t + \partial (u \cdot h) / \partial x = r \quad (\text{eq. 5.3})$$

$$\partial u / \partial t + u \cdot \partial u / \partial x + g \cdot \partial h / \partial x = g \cdot (s_0 - S_f) - r \cdot u / h \quad (\text{eq. 5.4})$$

onde: t é o tempo (s),

x é a distância na direção do fluxo (m),

$h(x,t)$ é a velocidade média do fluxo (m/s),

$u(x,t)$ é a taxa de entrada de fluxo lateral por unidade de área (m/s),

g é a aceleração da gravidade (m/s^2),

S_0 é a declividade do plano, e

S_f é a declividade da linha de energia.

Algumas considerações foram feitas por Lopes (1987) à equação da quantidade de movimento até que se chegasse à forma apresentada anteriormente (Góes, 1993). Foram elas:

- a) a pressão adicional causada pela precipitação sobre o fluxo é desprezível;
- b) componente da velocidade na direção x é nula;
- c) o seno do ângulo formado pelo plano e a horizontal é aproximadamente igual a sua declividade;
- d) o coeficiente de distribuição da velocidade é igual a um; e
- e) o fluxo superficial é adimensional.

Na equação da quantidade de movimento, os termos da gravidade e atrito são considerados preponderantes em relação aos outros, noutras palavras, a aproximação da onda cinemática considera basicamente que a declividade da linha de energia é igual à do plano (Lopes, 1987).

Sendo a velocidade nos planos calculada segundo Lopes (1987), através da expressão $u = h^{n-1}$, a equação da continuidade assume a seguinte forma:

$$\partial h / \partial t + \alpha \cdot m \cdot h^{m-1} \cdot \partial h / \partial x = r \quad (\text{eq. 5.5})$$

onde: α é um parâmetro relacionado à rugosidade superficial;
 m é um parâmetro relacionado à geometria.

As outras variáveis são as mesmas já descritas.

Para os planos as condições iniciais e de fronteira são:

$$h(0,t) = 0, \text{ para } t \geq 0, \text{ e} \quad (\text{eq. 5.6})$$

$$h(x,0) = 0, \text{ para } x \geq 0. \quad (\text{eq. 5.7})$$

Um esquema de diferenças finitas não linear de segunda ordem, proposto inicialmente por Rovey et al (1977) é utilizado no modelo para a resolução das equações. Segundo Lopes (1987), para a linearização das equações utilizou-se a série de Taylor baseada num esquema implícito de diferenças finitas a quatro pontos. O seguinte critério de estabilidade foi empregado:

$$\Delta t < \Delta x / (\alpha \cdot m \cdot h^{m-1}), \quad (\text{eq. 5.8})$$

onde: Δt e Δx são os incrementos no tempo e no espaço, respectivamente, utilizados no esquema. As outras variáveis já foram descritas antes.

5.2.3 - Erosão - Deposição

Este componente calcula as taxas de deposição e desprendimento das partículas devido ao impacto das gotas de chuva e devido ao arraste.

O sistema é representado através de um volume de controle de fluxo sobre o plano, alimentado pela erosão e transporte e considerando as perdas pela deposição. A propagação é feita através da equação da continuidade de transporte de sedimentos apresentada abaixo:

$$\partial(c.h)/\partial t + \partial(c.q)/\partial x = \phi \quad (\text{eq. 5.9})$$

onde: $q(x,t)$ é a vazão do fluxo (m^3/s);

$c(x,t)$ é a concentração de sedimentos (kg/m^3);

$\phi(x,t)$ é a taxa de sedimentos saindo para o fluxo ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$).

As outras variáveis foram anteriormente descritas.

Os termos $\partial(c.q)/\partial x$ e $\partial(c.h)/\partial t$ representam a variação da carga de sedimento com a distância e a taxa de armazenamento de sedimento com a profundidade do fluxo, respectivamente.

A taxa de sedimentos indo para o fluxo é dada pela expressão abaixo, onde todos os termos variam no tempo e no espaço:

$$\phi = e_r + e_I - d \quad (\text{eq. 5.10})$$

sendo: e_r a erosão pelo arraste;

e_I a erosão pelo impacto das gotas de chuva;

d a deposição.

A erosão pelo arraste é obtida através da expressão:

$$e_r = K_r \tau^{1.5} \quad (\text{eq. 5.11})$$

A erosão pelo impacto das gotas de chuva é obtida por:

$$e_I = K_I i.r \quad (\text{eq. 5.12})$$

e a deposição

$$d = \epsilon_p \cdot V_s \cdot C \quad (\text{eq. 5.13})$$

onde: ϵ_p é um componente de deposição que depende das propriedades do solo e do fluido (adimensional);

V_s é a velocidade de queda da partícula (m/s);

$C(x,t)$ é a concentração de sedimentos em transporte (kg/m^3).

Através da expressão de Rubey (Lopes, 1987), calcula-se a velocidade de queda

$$V_s = F_o \cdot \left((\gamma_s - \gamma) / \gamma \cdot g \cdot ds \right)^{1/2} \quad (\text{eq. 5.14})$$

$$F_o = \left[\frac{2}{3} + \left(\frac{36 \nu^2}{g ds^3} \cdot (\gamma_s / \gamma - 1) \right) \right]^{1/2} - \left[\frac{2}{3} + \left(\frac{36 \nu^2}{g ds^3} \cdot (\gamma_s / \gamma - 1) \right) \right]^{1/2} \quad (\text{eq. 5.15})$$

onde: γ_s é o peso específico do sedimento (N/m^3);

γ é o peso específico da água (N/m^3);

ν é a viscosidade cinemática da água (m^2/s);

ds é o tamanho característico do sedimento (m); e

g é a aceleração da gravidade.

As condições inicial e de fronteira são dadas por:

$$C(0,t) = K_I \cdot i(t) \cdot r(t) / (\epsilon_p \cdot V_s + r(t)), \text{ para } t \geq t_p, \quad (\text{eq. 5.16})$$

$$C(x,t_p) = K_I \cdot i(t_p) \cdot r(t_p) / (\epsilon_p \cdot V_s + r(t_p)), \text{ para } x \geq 0 \quad (\text{eq. 5.17})$$

onde: t_p é o tempo de empoçamento (s).

5.2.4 - Dados e Parâmetros de entrada do WESP

Segundo Galvão (1990), os dados e os parâmetros de entrada acessam através de um gerador de arquivos de entrada interativo e que também realiza cálculos secundários. Os dados requeridos são os seguintes:

a) Características da bacia:

- I. Geometria: área superficial, elevações e rugosidade superficial n_p .
- II. Rede de drenagem: declividades, seções transversais de escoamento e coeficiente de rugosidade hidráulica n_c .
- III. Solos: condutividade hidráulica saturada K_s , e parâmetro da equação de infiltração N_s .

b) Parâmetros de erosão/deposição:

- I. Erodibilidade do solo: por impacto da chuva K_I , e por arrastamento pelo fluxo K_T .
- II. Características dos sedimentos: tamanho característico d_s , e peso específico γ_s .
- III. Parâmetros para tensão crítica: de arrastamento δ , e de deposição ϵ_p e ϵ_c .

c) Características da precipitação:

- I. Histograma.
- II. Distribuição espacial na bacia.

"Alguns destes parâmetros são obtidos de mapas topográficos, outros medidos em campo, ou estimados a partir de indicações na literatura, e outros estimados experimentalmente ou por otimização quando há disponibilidade de dados de produção de água e sedimentos" (Galvão, 1990).

5.2.4.1 - Parâmetros Estimados: A maioria dos parâmetros foi estimada. A identificação deste parâmetros e a forma de obtenção de cada um deles encontra-se relacionada a seguir.

a) Rugosidade superficial (n_p)

Adotado o valor de 0,02 com base na literatura, já que a obtenção dele se dá através do hidrograma e em Sumé não há registro de hidrograma. Para tal, considerou-se o

tipo de solo de Sumé e sua composição granulométrica (Woolhiser, 1975; Engman, 1983 e 1986 e Liong et al, 1989).

b) Condutividade hidráulica saturada (K_s)

Em caso de chuvas naturais é recomendado o uso de um valor entre 2,5 e 5,0 mm/h. Após a realização de diversas simulações em diferentes condições, constatou-se que os resultados não evidenciavam nenhuma tendência, à partir daí, adotou-se o valor de 5,0 mm/h (Galvão, 1990).

c) Tamanho característico dos sedimentos (d_s)

Segundo Simons e Senturk (1977), a adoção deste valor é arbitrária, mas recomendam o diâmetro mediano como a melhor aproximação para aplicação nas expressões de início de movimento. O diâmetro mediano, d_{50} é aquele para o qual 50% da amostra tem peso menor. Para o caso da parcela 1 este valor é 0,43.

d) Peso específico da água (γ)

Adotado como 9779 N/m^2 a 25°C que é a temperatura média aproximada nos eventos de Sumé, conforme Streeter e Wylie (1982).

e) Peso específico dos sedimentos (γ_s)

Adotado como 2,650 vezes o peso específico da água, obtendo-se portando o valor de $25.914,35 \text{ N/m}^3$.

f) Aceleração da gravidade (g)

Assumido o valor de $9,81 \text{ m/s}^2$.

g) Coeficiente para tensão de cisalhamento crítica (δ)

Adotado o valor de 0,047, baseado na literatura (Lopes, 1987).

h) Parâmetro de deposição para os planos (ϵ_p)

Assumido o valor de 0,5 de acordo com Davis (1978).

i) Viscosidade cinemática da água (ν)

Assumido como sendo $0,894 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, para uma temperatura média de 25°C (Streeter e Wylie, 1982).

5.2.4.2 - Parâmetros Otimizados: Apenas três parâmetros foram otimizados através do método das tentativas, adotando-se aquele que fornecia os valores calculados para o escoamento e para a erosão mais próximos dos valores observados, foram eles:

N_s - potencial efetivo da infiltração (relacionado com a frente de molhamento) (m);

K_I - mede a quantidade de solo solto pelo impacto da chuva (Kg.s/m^4);

K_T - fator de erodibilidade do solo pelo fluxo superficial ($\text{Kg.m/N}^{1,5}.\text{s}$).

5.3 - Aplicação do Modelo

Para a aplicação do modelo WESP, escolheu-se o período compreendido entre os anos de 1987 e 1988, pois nesse período a vegetação manteve-se controlada e o solo permanentemente nu. Houve ainda a preocupação de selecionar apenas eventos que não apresentassem problemas de medição. À partir de então, foi feita a otimização dos parâmetros.

Para cada evento, otimizou-se inicialmente o parâmetro N_s (potencial de capilaridade) que está relacionado à lâmina total escoada no evento. À partir daí foram feitas tentativas para encontrar o melhor valor para K_I , porém percebeu-se que apesar de se fazer modificações consideráveis no parâmetro não implicava em mudanças significativas do resultado, levando portanto a deixá-lo fixo em $5 \times 10^8 \text{ Kg.s/m}^4$ para todos os eventos. K_T (fator de erodibilidade do solo pelo fluxo superficial) foi calibrado em cada evento pelo ajuste à produção total de sedimentos (tabela 5.1).

O modelo WESP, nas Parcelas Experimentais de Sumé, foi aplicado até então em apenas duas delas. Galvão (1990), estimou os parâmetros para a parcela 4, para a parcela 1, os resultados estão apresentados na tabela 5.1.

Tabela 5.1
Estimativa dos parâmetros de infiltração e
erosão para a parcela 1.

CHEIA	LP1 (mm)	Ns (mm)	LP1 calculado (mm)	EPI (kg/m)	Kr kg.m/1,5 (N1,5.s)	EPI calculado (kg/m)
144	2,588	9,40	2,5840	2,36780	1,160	2,3614
148	0,140	25,90	0,1418	0,05930	13,000	0,0593
155	4,500	19,60	4,5073	10,82494	4,055	10,8297
156	0,215	49,00	0,2158	0,52803	37,000	0,5275
157	0,020	3,30	0,0239	0,01930	310,000	0,0194
163	44,829	42,70	44,8264	69,04877	0,528	69,0457
164	18,019	30,18	18,0182	7,35399	*,***	-----
165	2,158	5,83	2,1534	8,91550	12,170	8,9196
167	7,719	*,**	-----	6,08594	*,***	-----
171	0,150	4,80	0,1555	0,07800	14,000	0,0779
172	7,092	2,18	7,0931	27,23236	3,438	27,2342
173	21,841	8,30	21,8407	36,38440	0,313	36,3807
174	0,346	22,20	0,3417	0,72050	19,300	0,7272
177	13,129	7,07	13,1244	23,74834	0,278	23,7401
178	8,820	25,90	8,8266	44,04604	2,816	44,0449
187	8,042	5,30	8,0390	16,24151	1,431	16,2428
190	1,414	1,02	1,4142	0,67502	2,530	0,6760
191	0,983	*,**	-----	0,29852	*,***	-----

, - não calibrou

LP1 é a lâmina real observada na parcela 1.

EPI é a erosão observada na parcela 1.

LP1(calc.) é a lâmina calculada com parâmetros calibrados.

EPI(calc.) é a erosão calculada com parâmetros calibrados.

Para o caso da parcela 1, foram feitas associações das cheias utilizadas com o seu índice de umidade, dividindo-as em três classes:

Classe 1 - IH variando entre 120 e 135;

Classe 2 - IH variando entre 65 e 85;

Classe 3 - IH variando entre 10 e 30.

Em cada classe foram eliminados os valores de N_S com comportamentos considerados discrepantes em relação aos outros da mesma classe. Feito isso, calculou-se a média aritmética dos valores restantes, obtendo-se finalmente valores de N_S correspondentes. Para as classes 2 e 3, foram calculados dois valores de N_S .

Com a fixação de N_S , além de obter novas lâminas escoadas, uma mudança em K_T é consequentemente efetuada proporcionando novas cargas erodidas (tabela 5.2). Uma nova calibração para K_T se faz então necessária. A tabela 5.3 apresenta a quantidade de sedimento produzido e a lâmina escoada em cada evento após a realização destas modificações e otimizações.

Tabela 5.2
Modificações causadas em Kr como consequência da adoção
do valor médio de Ns, resultando em novos
valores para EP1(calc).

CHEIA	LP1 (mm)	Ns (calibr) (mm)	Ns (calc) (m)	LP1 (calc) (mm)	EP1 (kg/m)	Kr kg.m/1,5 (N . s)	EP1 (calc) (kg/m)
CLASSE 1							
167	7,719	*,*	-----	-----	-----	*,*	-----
171	0,150	4,80	5,5875	0,0781	0,07800	14,000	0,0150
172	7,092	2,18	5,5875	5,5203	27,23236	3,438	20,9957
173	21,841	8,30	5,5875	23,0184	36,38440	0,313	38,9160
174	0,346	22,20	5,5875	13,6222	23,74834	0,278	25,0423
177	13,129	7,07	5,5875	13,6222	23,74834	0,278	25,0423
CLASSE 2							
156	0,215	49,00	28,0400	1,1212	0,52803	37,000	24,0765
164	18,019	30,18	28,0400	18,3650	7,35399	*,*	16,7809
178	8,820	25,90	28,0400	8,4922	44,04604	2,816	41,8510
165	2,158	5,83	5,5650	2,2323	8,91550	12,170	9,3902
187	8,042	5,30	5,5650	7,9609	16,24151	1,431	15,9197
190	1,414	1,02	5,5650	0,2762	0,67502	2,530	0,0488
CLASSE 3							
148	0,140	25,90	22,75	0,2213	0,05930	13,000	0,1745
155	4,500	19,60	22,75	3,8671	10,82494	4,055	8,5452
163	42,700	44,83	22,75	50,7363	69,04877	0,528	84,5105
144	2,588	9,40	6,35	3,5283	2,36780	1,160	3,6824
157	0,020	3,30	6,35	0,0000	0,01930	310,000	0,0000

, - não calibrou

LP1 é a lâmina real observada na parcela 1.

EP1 é a erosão observada na parcela 1.

LP1(calc.) é a lâmina calculada com parâmetros calibrados.

EP1(calc.) é a erosão calculada com parâmetros calibrados.

Tabela 5.3
Comparação da lâmina observada e a lâmina calculada e a estimativa de Kr
para cada evento, utilizando valores médios de Ns,
resultando em novos valores para EP1(calc).

CHEIA	LP1 (mm)	Ns (calibr) (mm)	Ns (calc) (m)	LP1 (calc) (mm)	EP1 (kg/m)	Kr (calibrar) kg.m/1,5 (N . s)	EP1 (calc) (kg/m)
CLASSE 1							
167	7,719	**	-----	-----	-----	**	-----
171	0,150	4,80	5,5875	0,0781	0,07800	73,000	0,0782
172	7,092	2,18	5,5875	5,5203	27,23236	4,500	27,2772
173	21,841	8,30	5,5875	23,0184	36,38440	0,273	36,3455
174	0,346	22,20	5,5875	13,6222	23,74834	0,520	0,7271
177	13,129	7,07	5,5875	13,6222	23,74834	0,245	23,7370
CLASSE 2							
156	0,215	49,00	28,0400	1,1212	0,52803	0,528	0,5333
164	18,019	30,18	28,0400	18,3650	7,35399	**	-----
178	8,820	25,90	28,0400	8,4922	44,04604	2,980	44,0935
165	2,158	5,83	5,5650	2,2323	8,91550	11,600	8,9519
187	8,042	5,30	5,5650	7,9609	16,24151	1,460	16,2126
190	1,414	1,02	5,5650	0,2762	0,67502	31,500	0,6033
CLASSE 3							
148	0,140	25,90	22,75	0,2213	0,05930	4,000	0,0540
155	4,500	19,60	22,75	3,8671	10,82494	5,150	10,8085
163	42,700	44,83	22,75	50,7363	69,04877	0,390	69,8085
144	2,588	9,40	6,35	3,5283	2,36780	0,680	2,3559
157	0,020	3,30	6,35	0,0000	0,01930	-----	0,0000

** - não calibrou

LP1 é a lâmina real observada na parcela 1.

EP1 é a erosão observada na parcela 1.

LP1(calc.) é a lâmina calculada com parâmetros calibrados.

EP1(calc.) é a erosão calculada com parâmetros calibrados.

Com a finalidade de encontrar valores para Kr relacionados com fatores que pudessem ser obtidos em campo e representar as cheias conforme as suas características (de intensidade, duração, etc.), classes de Kr foram separadas de acordo com a variável IMED (intensidade média) de cada cheia, como apresentamos a seguir:

Classe 1 - $IMED < 10$;

Classe 2 - $10 < IMED < 30$

Dois dos eventos de cheia considerados, os de número 156 e 157, tiveram valores de Kr otimizados bem mais altos que os das demais, portanto ao se calcular o valor médio de Kr para cada classe, esses eventos não foram considerados. A eles foram atribuídos valores de Kr correspondentes às classes às quais pertencem.

As tabelas 5.4 e 5.5 apresentam simulações feitas com a adoção de valores médios para Kr e valores de Ns otimizados e médios respectivamente.

Tabela 5.4
Comparação dos valores observados e calculados da erosão
devido à utilização de valores médios de Kr.

CHEIA	Kr (calibr) Kg.m/1,5 (N .s)	Kr (medio) Kg.m/1,5 (N .s)	EPI (real) (kg/m)	EPI (calc) (kg/m)
CLASSE 1				
144	1,160	1,0413	2,36780	2,2416
157	310,000	1,0413	0,01930	0,0000
178	2,816	1,0413	44,04604	18,8789
187	1,431	1,0413	16,24151	12,4584
173	0,313	1,0413	36,38440	21,8295
163	0,528	1,0413	69,04877	118,2902
CLASSE 2				
148	13,00	14,6175	0,05930	0,0629
156	37,00	14,6175	0,52803	0,2650
165	12,17	14,6175	8,91550	11,0300
171	14,00	14,6175	0,07800	0,0815
174	19,30	14,6175	0,72050	0,6217
190	2,530	3,2643	0,67502	0,8644
155	4,055	3,2643	10,82494	8,9856
172	3,438	3,2643	27,23236	25,9909
177	0,278	3,2643	23,74834	141,9388

LP1 é a lâmina real observada na parcela 1.

EPI é a erosão observada na parcela 1.

LP1(calc.) é a lâmina calculada com parâmetros calibrados.

EPI(calc.) é a erosão calculada com parâmetros calibrados.

Tabela 5.5

Comparação dos valores reais observados e os calculados da erosão devido
à utilização de valores médios para os parâmetros Ns e Kr.

CHEIA	Kr (calibr) Kg.m/1,5 (N . s)	Kr (medio) Kg.m/1,5 (N . s)	Ns (calibr) (mm)	Ns (médio) (mm)	EPI (real) (kg/m)	EPI (calc) (kg/m)
CLASSE 1						
144	1,160	1,0413	9,40	6,3500	2,36780	3,4562
157	310,000	1,0413	3,30	6,3500	0,01930	0,0000
178	2,816	1,0413	25,90	28,0400	44,04604	17,9437
187	1,431	1,0413	5,30	5,5650	16,24151	7,9412
173	0,313	1,0413	8,30	5,5875	36,38440	86,9144
163	0,528	1,0413	72,70	22,7500	69,04877	144,6591
CLASSE 2						
148	13,00	14,6175	25,90	22,7500	0,05930	0,1904
156	37,00	14,6175	49,00	28,0400	0,52803	10,4650
165	12,17	14,6175	5,83	5,5650	8,91550	11,6114
171	14,00	14,6175	4,80	5,5775	0,07800	0,0156
174	19,30	14,6175	22,20	5,5875	0,72050	18,1596
190	2,530	3,2643	1,02	5,5650	0,67502	0,0665
155	4,055	3,2643	19,60	22,7500	10,82494	7,0939
172	3,438	3,2643	2,18	5,5875	27,23236	20,0364
177	0,278	3,2643	7,07	5,5875	23,74834	149,7467

LP1 é a lâmina real observada na parcela 1.

EPI é a erosão observada na parcela 1.

LP1(calc.) é a lâmina calculada com parâmetros calibrados.

EPI(calc.) é a erosão calculada com parâmetros calibrados.

5.3 - RESULTADOS

Dos parâmetros estimados, K_1 foi o que se mostrou menos sensível, passando a ser fixo em todos os eventos com o valor igual a $5 \times 10^8 \text{ kg.s/m}^4$.

O Parâmetro N_s da equação de Green-Ampt foi otimizado evento a evento e ao contrário do que foi observado por Galvão (1990) para a parcela 4, valores médios representativos baseados no parâmetro I_H foram encontrados como mostra a tabela 5.2. Observa-se ainda que os valores estimados para o escoamento à partir do valor médio de N_s para cada classe não divergem muito dos que foram medidos em campo.

Com o valor de N_s fixo para cada classe, o parâmetro K_r que também havia sido otimizado para cada evento, sofreu modificações passando a ser calibrado em função dos novos valores de N_s . A carga erodida para cada evento (EP_{1calc}) obtida após a calibragem de K_r , não distanciou muito da que foi medida em campo.

O reflexo causado na erosão devido a utilização de valores médios para K_r não foi significativo na maioria dos eventos como mostra a tabela 5.4. No entanto, os resultados obtidos para a erosão com a adoção de valores médios para N_s e K_r revelaram substancial divergência.

6 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 - Considerações Gerais

As nove parcelas experimentais estudadas foram instaladas com o propósito de permitir uma melhor percepção da influência causada pela declividade e pela cobertura vegetal nos processos de erosão e escoamento superficial.

Deste modo, classificaremos as parcelas nos seguintes pares, com a finalidade de facilitar as comparações:

- 1º Par - (Parcelas 1 e 4), ambas desmatadas, mas com declividades diferentes, permitindo assim verificar a influência da declividade;
- 2º Par - (Parcelas 2 e 3), também servem para verificar o efeito da declividade, já que ambas possuem cobertura morta e declividade diferentes.
- 3º Par - (Parcelas 5 e 9), podemos observar, nestas parcelas, os efeitos causados pela declividade e pela caatinga nativa.
- 4º Par - (Parcelas 6 e 7), neste caso, ao contrário dos anteriores além de possuírem mesma cobertura vegetal têm mesma declividade; no entanto, a forma do cultivo das culturas diferem sendo uma morro abaixo e a outra em sulcos nivelados.

A parcela 8 é uma parcela padrão desmatada e manejada de acordo com as normas de Wischmeier (1960a).

6.2 - Regressão Múltipla

Após a execução de diversas regressões para cada um dos processos (erosão, escoamento e infiltração) foi feita a verificação com base nas estatísticas (R^2 , R^2 e F) para encontrar dentre as relações a que melhor simule cada processo e quais as variáveis que mais as influenciam.

6.2.1 - Escoamento Superficial

Para o conjunto de parcelas, o modelo que melhor simulou o escoamento superficial é o que relaciona as variáveis PREC, DE, IMED e IH. No entanto, observou-se que a variável IH influencia muito quando o evento é isolado, para o caso do estudo, onde são considerados 193 eventos conjuntamente a contribuição dela é mínima, podendo-se inclusive simplificar a equação com a diminuição desta variável sem que isso acarrete numa redução significativa do coeficiente de determinação.

A priori, sabemos que as parcelas com mais susceptibilidade ao escoamento, devido as suas características e levando em consideração o agrupamento feito por pares, são as parcelas 4 (1º par), a 3 (2º par), a 5 (3º par) e a 6 (4º par).

A expectativa que se tem do comportamento das variáveis nos pares de parcelas diferentes apenas na declividade é que exerçam maior contribuição nas parcelas com maior inclinação, já que elas têm mais tendência ao escoamento que as outras.

Confrontando os modelos resultantes dos pares de parcelas cuja diferença encontra-se apenas na declividade constatou-se que :

- a variável PREC possui um comportamento sistemático em cada par de parcelas, ou seja, tem mais influência nas parcelas com maior declividade, isso porque a resposta do escoamento quando ocorre a precipitação é direta devido a existência de uma fina camada de solo existente na região que satura-se instantaneamente, dificultando assim a infiltração. Podemos dizer ainda que um mesmo valor da variável irá gerar mais escoamento nas parcelas com maior declividade.
- a variável duração do evento (variável DE), também teve o mesmo comportamento que a PREC, ou seja, influenciou mais àquelas parcelas com maior declividade, constatando-se novamente que um mesmo valor para essa variável vai provocar menos escoamento nas parcelas com maior declividade, o que nos faz perceber a grande importância dessa variável para geração do escoamento nas parcelas com menor declividade, já que o sinal dessa variável é negativo na maioria das parcelas (exceto na parcela 9).
- a variável IMED (intensidade média) também mostrou sua grande importância na geração do escoamento nas parcelas de menor declividade, pois a maior contribuição dela ocorreu nas parcelas com menos probabilidade de escoamento, necessitando de uma maior influência desta variável para que ele venha a acontecer, ao contrário do que acontece nas de maior declividade.

- os coeficientes de IH tiveram a mesma ordem de grandeza para todas as parcelas. Sua contribuição tratando-se de dados conjuntos foi mínima alcançando o máximo de 3% nas parcelas 2, 6 e 7.

No confronto das parcelas com mesma declividade, cultura e diferentes na forma de cultivo (4o. Par), encontrou-se:

- para as variáveis PREC, IH e IMED, tiveram a mesma conduta do caso anterior (parcelas com diferença apenas na declividade).
- a contribuição maior da variável DE foi para a parcela 7 mostrando que a sua influência para o escoamento nesta parcela causa uma diminuição maior no escoamento produzido que para a parcela 6. Verificamos portanto a importância dessa variável para o escoamento nesta parcela.

A parcela 8 recebeu grande influência dos parâmetros PREC e DE. A variável IMED foi muito baixa.

6.2.2 - Erosão

Para a erosão o melhor modelo encontrado é o que relaciona as variáveis EI₃₀, PREC, IMED e IH, sequenciados aqui conforme o grau de relacionamento (maior para o menor) com a variável dependente.

Há expectativa, de acordo com as características de cada parcela, que em algumas delas a produção de sedimentos seja maior que nas outras. De acordo com a classificação feita por pares de parcelas, esperasse que para o primeiro par a parcela 4 produza mais sedimentos que a 1 devido a sua maior declividade, pelo mesmo motivo teremos a 3 no segundo par e a 5 no terceiro. No quarto par, que tem como diferença a forma de cultivo, a parcela 6 é a que produz mais sedimentos, constatação já feita através das amostras coletadas.

Os resultados do comportamento das variáveis nos modelos são apresentados a seguir;

- os parâmetros PREC e IH, comportaram-se identicamente em cada par de parcelas. Ambos tiveram maiores valores nas parcelas 1, 3, 6 e 9. Apesar do comportamento idêntico dessas variáveis não foi possível relacioná-lo com nenhum aspecto físico dessas parcelas (declividade ou cobertura vegetal).

- a variável EI₃₀ teve o mesmo comportamento que as anteriores, exceto no primeiro par que ao invés de revelar um maior valor para a parcela 1 encontrou-se para a parcela 4. Como para as variáveis anteriores, não houve relação perceptível com a declividade ou com a cobertura vegetal.
- a intensidade média (variável IMED), teve uma conduta totalmente distorcida comparando-se com as demais variáveis. Teve maiores valores nas parcelas 4, 2, 7 e 9 do primeiro, segundo, terceiro e quarto pares respectivamente, sem com isso demonstrar relações com os parâmetros aqui discutidos.

6.2.3 - Infiltração

Os solos de Sumé, conforme Molinier et al. (1989) e Montenegro et al. (1991), apresentam particularidades que interferem diretamente no processo da infiltração. Uma delas é a camada fina (crosta superficial) típica da região do Cariri oriunda da degradação estrutural da camada superficial, esta crosta satura-se instantaneamente passando então a atuar como uma resistência à infiltração. Outra particularidade é que os solos são rasos e estratificados com embasamento de rochas cristalinas apresentando baixo potencial em recursos hídricos subterrâneos.

A identificação do fluxo dentro do solo da região (Molinier et al. 1989) revela a existência de duas grandes classes contrastantes dividindo os horizontes; uma porosa, pouco permeável, com fraca capacidade de armazenamento sendo condutora do sistema e outra compacta, pouco permeável mas com capacidade de reter grandes quantidades de água quando molhadas. Em consequência disto, ocorrem fluxos internos distintos como infiltração superficial; infiltração direta e rápida até a base do solo (constituem zonas de infiltração preferencial sobretudo quando são cobertas de vegetação); infiltrações lentas (provocando inclusive drenagem lateral quando a camada superficial satura). Foi constatada ainda a existência de perdas, às vezes de mais da metade da chuva.

Em consequência disso, é difícil prever o comportamento esperado da infiltração nas mais diversas situações existentes em cada parcela; sabe-se contudo que com um solo seco a influência da vegetação sobre a infiltração é preponderante e que com os solos muito úmidos essa influência diminui.

Nas relações de regressão executadas (índice phi), apesar de terem sido efetuadas diversas tentativas, não conseguimos obter nenhuma relação que pudesse refletir o processo de infiltração local, pois os valores dos parâmetros estatísticos obtidos não foram significantes.

6.3 - WESP

As simulações feitas com o modelo WESP têm como objetivo encontrar a partir das otimizações feitas (por evento) para cada um dos parâmetros (K_p , K_f , N_s), valores correspondentes para cada um desses parâmetros que sejam representativos de um conjunto de eventos.

Dos parâmetros otimizados, K_p foi o que se mostrou menos sensível, passando a ser fixo em todos os eventos com valor igual a $5 \times 10^8 \text{ kg} \cdot \text{s} / \text{m}^4$.

A tabela 5.1 apresenta os parâmetros N_s e K_f calibrados evento a evento para parcela 1.

Com os valores de N_s para cada evento foi observado que havia possibilidade de dividi-los em classes às quais seriam associadas ao índice de umidade. Cada evento pertencia a uma classe e tinha um valor de N_s correspondente a ele. Foi calculado então valores médios de N_s representativos de cada classe, sendo que, em algumas classes foram calculados duas médias.

As simulações feitas com as médias de N_s para cada classe resultou em valores do escoamento superficial e da erosão próximos aos valores reais medidos no campo para cada evento, como mostra a tabela 5.2.

Como já havia sido verificada a variação causada nos valores reais do escoamento e da erosão causada pela modificação no parâmetro N_s (que interfere nos dois processos) novas observações foram efetuadas partindo agora de mudanças em K_f (parâmetro que está relacionado apenas com a erosão).

A tabela 5.4 apresenta os resultados encontrados da erosão tendo sido utilizado para N_s o valor otimizado em cada evento e para K_f valores médios obtidos a partir da separação dos eventos em classes elaboradas de acordo com a intensidade média (variável IMED) de cada evento. Para essa situação, percebemos que na maioria dos

eventos, os valores calculados para a erosão são bem próximos dos valores reais chegando em alguns casos a ter menos de 10% de diferença. Na maioria dos eventos essa diferença foi inferior a 30%.

Outra situação testada foi a utilização dos valores médios de N_s (por classe) cuja utilização repercute tanto no escoamento quanto na erosão; e a utilização do valor médio de K_T (por classe) cujo uso causa interferência na erosão.

Para a lâmina escoada, como já vimos, essa mudança não altera muito o resultado. No caso da erosão, como são dois valores médios estimados (N_s e K_T) para obtenção da erosão calculada, os resultados não foram satisfatórios, ficando a diferença entre a erosão real por evento e a erosão calculada maior que 50% na maioria dos eventos (tabela 5.5).

7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 - Considerações Gerais

Neste trabalho foram utilizados dois modelos determinísticos, considerados aplicáveis à região, para a determinação do escoamento superficial e da erosão em parcelas experimentais, o primeiro empírico (regressão múltipla) e o segundo fundamental (WESP). As considerações finais do estudo são agora descritas.

7.2 - Conclusões

Os modelos utilizados mostraram-se bastante coerentes com a realidade da região e os resultados obtidos com eles são bastante promissores, no sentido de poder extrapolar os resultados obtidos aqui nesse trabalho para escalas maiores, bem como para regiões hidrologicamente semelhantes, levando em consideração outras variáveis influentes nos processos de erosão e do escoamento que não foram abordadas aqui, como o solo, o relevo e outras.

Os modelos de previsão do escoamento e da erosão obtidos pelas relações de regressão múltipla, mostraram-se sensíveis às variáveis, visto que puderam refletir o comportamento dos fenômenos à partir delas, especialmente para o escoamento.

A precipitação, correspondendo às expectativas, foi a variável mais influente no processo do escoamento superficial e contribuiu significativamente para a erosão, porém neste processo foi o fator erodibilidade da chuva que mais influenciou.

As parcelas com densa cobertura vegetal foram mais protegidas da erosão que as demais, isso porque as gotas de chuva não alcançam o solo diretamente tornando difícil a erodibilidade causada pelo impacto dos pingos. No processo do escoamento, a vegetação além de interceptar a precipitação favorecendo a evaporação, devido à retenção da água na folhagem, favorece a evapotranspiração e proporciona caminhos preferenciais para a infiltração através de suas raízes levando conseqüentemente a volumes baixos de escoamento.

A grande influência da declividade e da cobertura vegetal no escoamento superficial ficou evidenciada. Na erosão essa influência não foi perceptível, pois as variáveis que influenciam o processo da erosão ainda não estão bem definidas, ou seja, as que foram aqui utilizadas não refletiram o fenômeno satisfatoriamente, tendo-se tomado como base para essa conclusão os testes realizados no modelo.

A aplicação do modelo WESP a uma das parcelas, forneceu resultados coerentes para a maioria dos eventos testados, com amplas possibilidades de aplicações. Os valores encontrados por ele para a lâmina escoada e erosão são relativamente próximos daqueles medidos em campo.

7.3 - Recomendações

Algumas recomendações são feitas visando meios de aprimorar este trabalho:

- A aplicação dos modelos de regressão obtidos neste trabalho em outras parcelas experimentais, localizadas em áreas com características físico-climáticas semelhantes as que foram aqui consideradas.
- Extrapolar os modelos de regressão para escalas maiores, como microbacias por exemplo, introduzindo outras variáveis relacionadas com solo e topografia.
- Aplicação do modelo WESP à parcelas experimentais, considerando um maior número de eventos, afim de verificar as relações aqui obtidas nos parâmetros de erosão e escoamento superficial.

8 - REFERÊNCIAS

- Albuquerque, J. P. T. de..1970. Inventário hidrogeológico do Nordeste; folha 15 - Jaguaribe - SE. Recife, SUDENE, 187p. Série Brasil.SUDENE.Hidrogeologia, 32.
- Amaral, M. F. & Hermann, R. M..1985. Análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo SSARR. Anais do VI Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos. Vol. 3, São Paulo.
- Beasley, D. B..1977. ANSWERS: A mathematical model for simulating the effects of land use and management on water quality. Ph.D. Thesis, Purdue University, West Lafayette. 266 p. Apud Foster, 1982.
- Bertoni, J. & Lombardi Neto, F..1985. Conservação do solo. Jacicaba, Livroceres. 368p.
- Blackburn, W.H..1975. Factors influencing infiltration and sediment production of semiarid rangelands in Nevada. Water Resources Research _____:929-937.
- Branson, F. A.; Gifford, G. F.; Renard, K. G. & Hadley, R. F. 1981. Rangeland Hydrology. 2nd edition, Dubuque, Kendal/Hunt Publishing Company. 40 p.
- Brasil. SUDENE. 1982. Projeto Bacia Experimental. Recife. SUDENE- DRN. 19p.
- Cadier, E. & Freitas, B.J..1982. Bacia Representativa de Sumé: primeira estimativa dos recursos de água. Recife, SUDENE. 195p.
- Cadier, E.; Freitas, B.J. de & Leprun, J.C.. 1983a. Bacia Experimental de Sumé; instalação e primeiros resultados. Recife, SUDENE. 87p.
- Cadier, E.; Freitas, B.J. de & Leprun, J.C..1983b. Bacia Experimental de Sumé, PB; instalações e primeiros resultados. Revista Brasileira de Engenharia, Vol. 1, p.69-90.

- Cadier, E.; Lanna, A. E.; Menezes, M. & Campello, M. S..1987. Avaliação dos estudos referentes aos recursos hídricos das pequenas bacias do Nordeste Brasileiro. Anais do VII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Salvador, ABRH. Vol. 2, p. 225-239.
- Campello, S.; Sanguinetti, P. A.; Vieira, H. J. P.; Cadier, E..1983. Planificação, instalação e operação de uma rede de pequenas bacias representativas em fase de rotina: A experiência da SUDENE. Revista Brasileira de Engenharia, Vol. 1, P.25-37.
- Canali, G. E..1981. Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais; efeitos das características das chuvas, da declividade das vertentes e do uso do solo. Porto Alegre. p. Dissertação de Mestrado.
- Chang , M.; Roth II, F.A. & Hunt Jr., E.V.. 1982. Sediment Production under various forest-site conditions. In: Walling, D.E..Recent developments in the explanation and prediction of erosion and sediment yield. IAHS, 137:
- Chevalier, P..1983. L'indice des précipitations antérieures; Evaluation de l'humectation des sols des bassins versants représentatifs. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., Vol. XX. N° 3 et 4.
- Chow, V. T..1964. Handbook of applied hydrology. McGraw-Hill Book Co., New York. 1418p.
- Costa Neto, P. L. de O..1977. Estatística, Edgard Blucher, São Paulo.
- Chu, S. T..1978. Infiltration during an unsteady rain. Water Resources Research, 14(3):461-466.
- Clarke, R. T..1973. Mathematical models in hydrology. Rome, FAO, 282 p.
- Davis, S. S..1978. Deposition of nonuniform sediment by overland flow on concave slopes. West Lafayette, Purdue University. 137 p. M.Sc. Thesis.
- Draper, N. R. & Smith, H..1966. Applied regression analysis. John Wiley, New York.

- Driver, N.E. & Troutman, B.M. 1989. Regression models for estimating urban storm-runoff quality and quantity in the United States. *J Hydrol.*, 109:221-236.
- Dunne, T. 1983. Relation of field studies and modeling in the prediction of storm runoff, *J. of Hydrology*, 65: 25-48.
- Ellison, W. D. 1947. Soil erosion studies. *Agricultural Engineering*, Vol. 28. Apud Foster, 1982.
- Engman, E. T. 1983. Roughness coefficients for routing surface runoff. In: Shen, H. W. *Frontiers in hydraulic Engineering*, Cambridge, Mass., ASCE/MIT, p. 560-565. Apud Galvão, 1990.
- Engman, E. T. 1986. Roughness coefficients for routing surface runoff. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 112(1):39-53. Apud Galvão, 1990.
- Fogel, M. M. & Duckstein, L. 1970. Prediction of convective storm runoff in semiarid regions. In: *Proc. Symp. on the Results of Research on Representative an Experimental Basins*. Int. Ass. Sci. Hydrol. Pub. 96, p. 465-478. Apud Branson et alii, 1981.
- Foster, G. R. 1982. Modeling the erosion process. In: Haan, C. T.; Johnson, H. P. & Brakensiek, D. L., Ed. *Hydrologic modeling of small watersheds*, St. Joseph, Amer. Soc. Agricultural Engineers. p.297-380.
- Fotius, G. 1983. Bacia experimental de Sumé; estratificação e composição da vegetação. In: Cadier, E.; Freitas, B. J. de; & Leprun, J. C.. *Bacia Experimental de Sumé; instalação e primeiros resultados*. Recife, SUDENE. p.46-53.
- Galvão, C. de O. 1990. Modelagem do escoamento superficial e da erosão do solo em microbacias. Campina Grande. 184p. Dissertação de Mestrado.

- Gomes, H. P.; Srinivasan, V.S.; Cadier, E. & Galvão, C. de O.. 1987. Um estudo experimental do escoamento superficial e erosão na região semi-árida paraibana. In: Anais VII Simpósio brasileiro de hidrologia e recursos hídricos. Salvador, ABRH. Vol.3, p.322-337.
- Green, W. H. & Ampt, G. A..1911. Studies on soil physics, I. The flow of air and water through soils. Journal Agr. Sci., 4(1):1- 24. Apud Galvão, 1990.
- Gurnell, A.M. & Gregory, K.J..1987. Vegetation characteristics and the prediction of runoff: analysis of an experiment in the new forest. Hampshire, Hydrological Processes. Vol. 1, p.125- 142.
- Haan, C. T.; Johnson, H. P. & Brakensiek, D. L., Ed. 1982. Hydrologic modeling of small watersheds, St. Joseph, Amer. Soc. Agricultural Engineers, 533 p.
- Hargreaves, G. H..1974. Climatic zoning for agricultural production in Northeast Brasil. S. L., Utah State University.
- Heras, R..1976. La erosion, la sedimentacion y tecnicas especificas en hidrologia. In: Manual de Hidrologia. Vol. 6, p.34-35.
- Klemes, V..1983. Conceptualization and scale in hydrology. In: I. Rodriguez-Iturbe and V.K. Gupta (Guest-Editors), Scale Problems in Hydrology. J. Hydrology., 65:1-23.
- Lal, R..1982. Effects of slope length and terracing on runoff and erosion on a tropical soil. In: Walling, D.E..Recent developments in the explanation and prediction of erosion and sediment yield. IAHS, 137:
- Lanna, A. E..1983.Províncias hidrológicas e bacias representativas. In: Anais V Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, Blumenau, ABRH, Vol. 1, p. 3-24.
- Lanna, A. E. & Schwarzbach, M..1989. Modhac - modelo hidrológico auto calibrável. Porto Alegre, IPH/UFRS.

- Leprun, J.C..1981. A erosão, a conservação e manejo do solo no Nordeste Brasileiro; balanço, diagnóstico e novas linhas de pesquisa. Recife, SUDENE/ORSTOM. 107p.
- Leprun, J.C..1983. Relatório de fim de convênio de manejo e conservação de solo no Nordeste Brasileiro (1982-1983). Recife, SUDENE/ORSTOM. 290p. Apud Cadier et alii, 1983a.
- Liong, S. Y.; Selvalingam, S. & Brady, D. K..1989. Roughness values for overland flow in subcatchments. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 115(2):203-214. Apud Galvão, 1990.
- Lopes, J. E. G.; Braga Jr., B. P. F. & Canejo, J. G. L..1981. SMAP, a simplified hydrologic model. *International Symposium on Rainfall - Runoff Modeling*. Mississippi State University.
- Lopes, V. L..1987. A numerical model of watershed erosion and sediment yield. Tucson. 148p. Ph. D. Dissertation, University of Arizona.
- Lopes, V. L. & Lane, L. J..1987. Um modelo computacional de simulação hidrológica para o trópico semi-árido. *Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos*. 4(1):95-118.
- Marwell Filho, P. & Lanna, A. E..1986. Mothsar: um modelo hidrológico para o trópico semi árido. *Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos*. 4(1):95-118.
- Mein, R. G. & Larson, C. L..1973. Modeling infiltration during a steady rain. *Water Resources Research*, 9(2):384-394.
- Meyer, L. D. & Wischmeier, W. H..1969. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. *Transactions of the ASAE*, 12(6):754-762. Apud Foster, 1982.
- Molinier, M.; Galvão, C. de O.; & Gomes, H. P..1987. Determinação do escoamento de uma bacia hidrográfica através das técnicas de simulação de chuva. In: *Anais VII*

- Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, Salvador, ABRH, Vol. 2, p.530-544.
- Molinier, M.; Audry, P.; Desconnets, J.C. & Leprun, J.C..1988. Projeto: "Dinâmica da água e das matérias em um ecossistema representativo do Nordeste brasileiro. Condições de extrapolação espacial na escola regional." Relatório de andamento dos trabalhos.. Recife, ATP-PIREN, ORSTOM. 15 p.
- Molinier, M.; Audry, P. & Leprun, J.C..1989. Modelagem do escoamento e da infiltração de um solo bruno do Nordeste semi- árido. In: Anais VIII. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu, ABRH. Vol.1, p.432-443.
- Montenegro, J. P. B. & Silans, A. M. B. P. de..1991. IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - Rio de Janeiro - Anais Vol. 1. p.233-243.
- Mtakwa, P. W.; Lal, R. & Sharma, R. B..1987. An evaluation of the Universal Soil Loss Equation and field techniques for assessing soil erosion a tropical alfisol in Western Nigeria. *Hidrological Processes*, Vol. 1, p.199-209.
- Musgrave, G. W..1947. The quantitative evaluation of factors in water erosion, a first approximation. *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 2.
- Negev, M..1967. A sediment model on a digital computer. Technical Report 76. Department of Civil Engineering. Stanford University. Stanford, 109 p. Apud Foster, 1982.
- Noether, G. E..1983. Introdução à estatística: uma abordagem não paramétrica - 2a. ed. - Rio de Janeiro: Guanabara Dois.
- Nouvelot, J.F..1974. Planificação da implantação de bacias representativas; aplicação à área da SUDENE. Recife, SUDENE/ ORSTOM. 91p.
- Osborn, H. B. & Lane, L. J..1969. Precipitation-runoff relationships for very small semiarid rangeland watersheds. *Water Resources Res.* 5:419-425.

- Onstad, C. A. & Foster, G. R..1975. Erosion modeling on a watershed. TRANSACTIONS of the ASAE 18(2):288-292. Apud Haan et alii, 1982.
- Pilgrim, D.H..1983. Some problems in transferring hydrological relations ships between small and large drainage basins and between regions. In: I. Rodriguez. Iturbe and V.K. Gupta (Guest-Editors), Scale Problems in Hydrology. J. Hydrol., 65: 49-72.
- Pinczés, Z..1982. Variations in runoff and erosion under various methods of protection. In: Walling, D.E.. Recent developments in the explanation and prediction of erosion and sediment yield. IAHS, 137:
- Rovey, E. W.; Woolhiser, D. A. & Smith, R. E..1977. A distributed kinematic model of upland watersheds. Fort Collins, Colorado State University, 52 p. Hydrologic Papers 93. Apud Galvão, 1990.
- Schreiber, H. A. & Kincaid, D. R..1967. Regression models for predicting onsite runoff from short-duration convective storms. Water Resources Res. 3:389-395. Apud Branson et alii, 1981.
- Semmelman, F.R.; Silveira, R.L.; Dámico, J.J.; Silveira, G.L. da & Bordas, M.P..1985. Contribuição para o conhecimento da influência do uso do solo sobre os regimes hidrológico e sedimentológico. In: Anais VI Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, São Paulo, ABRH. Vol.3, 202-211.
- Sanguinetti, P. A. & Cadier, E..1981. Avaliação dos recursos hídricos para pequenos aproveitamentos em zonas semi-áridas. In: Anais do IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, Fortaleza, ABRH, Vol. 2, p.83-103.
- Sharma, M. L.; Gander, G.A. & Hunt, G.C..1980. Spatial variability of infiltration in a watershed. Journal of Hydrology, 45; 101-122.

- Sharma, P. N.; Alonso Neto, F. B.; Porto, E. R. & Silva, A. de S..1984. Runoff inducement for agriculture in very arid zones of the Northeast of Brazil. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 19(8):1011-1012.
- Siqueira, L..1964. Aspectos hidrogeológicos do Cariri paraibano. *SUDENE.Boletim de Recursos Naturais*, Recife, 2(1/4):11-44.
- Silveira, G. L. da. 1982. Erosão do solo na encosta do planalto no Estado do R. G. do Sul; representatividade dos parâmetros de chuva e influência da área cultivada, da declividade e do uso do solo na produção de sedimentos. Porto Alegre. 151p. Dissertação de Mestrado.
- Simons , D. B. & Senturk, F..1977. Sediment transport technology. Fort Collins, Water Resources Publications, 807 p. Apud Galvão, 1990.
- Smith, R. E. & Woolhiser, D. A..1971. Overland flow on an infiltrating surface. *Water Resources Res.*, 7(4):899-913.
- Srinivasan, V.S.; Gomes, H.P.; Leprun, J.C. & Silva, I.G..1988. Erosion studies in Sumé, a semi-arid region in the northeast of Brazil. In: *Sediment Budgets (Proceedings of the Porto Alegre Symposium)*, Porto Alegre, IAHS. p.307-314. IAHS Publ. no. 174.
- Streeter, V. L. & Wylie, E. B..1982. *Mecânica dos fluidos*. 7 ed. São Paulo, McGraw-Hill, 585p.
- Thebe, B. & Pontanier, R..1989. Etude du ruissellement au nord Cameroun. Transfert de la parcelle au bassin versant. *Hydrology. Continent*. 4(1):57-69.
- Tucci, C. E. M..1987. Modelos determinísticos. In: *Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Modelos para gerenciamento de recursos hídricos*, Nobel, ABRH, p. 211-324.
- Viana, F. L., 1986. Comportamento hidrológico das pequenas bacias do Nordeste. Fortaleza, UFC, 166 p. Dissertação de Mestrado.

- Walling, D. E. 1988. Erosion and sediment yield research - Some recent perspectives. *Journal of Hydrology*, 100:113-141.
- Williams, J. R. 1975. Sediment-yield prediction with Universal Equation using runoff energy factor. In: Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. ARS-S-40, USDA - Agricultural Research Service. Apud Foster, 1982.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. 1960a. A universal soil loss estimating equation to guide conservation form plannig. 7th International Congress of Soil Science, Madison. Vol. 1, p.418- 425. Apud Leprun (1981).
- Wischmeier, W. H. & Smith, D. D.. 1960b. "Cropping management factor evaluations for a universal soil loss equation". *Soil Science Society of America Proccedings*, Medison, 24(4):322-6. Apud Gomes et alii. (1987).
- Wischmeier, W. H. 1976. Use and nisuse of the Universal Soil - Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation* 31(1):5- 9. Apud Foster (1982).
- Woolhiser, D. A. 1975. Simulation of unsteady overland flow. In: Mahmood, K. & Yevjevich, V. Unsteady flow in open channels, Fort Collins, Water Resources Publications, chapter 12. Apud Galvão, 1990.
- Woolhiser, D. A. & Liggett, J. A. 1967. Unsteady, one- dimensional flow over a plane - the rising hydrograph. *Water Resources Res.*, 3(3):753-771.

ANEXO 1

ROTEIRO PARA COLETA DE DADOS

Roteiro para Coleta de Amostra nas Parcelas de Wischmeier

1. O balde não transbordou:
 - Anotar o volume do balde;
 - Mexer vigorosamente até homogeneizar;
 - Coletar 2 amostras de 800 cm^3 . - Amostras 1 e 2.

2. O balde transbordou:
 - Anotar cota do tanque nº 1;
 - Se a água no fundo do tanque passa de 10cm., fazer uma sifonagem da água limpa, coletando uma amostra de 5 litros em 3 estágios ao longo da sifonagem - Amostra 3;
 - Tirar o balde do tanque;
 - Sifonar ou derramar a água limpa do balde jogando-a dentro do tanque;
 - Anotar o volume do balde;
 - Mexer o material do balde vigorosamente até homogeneizar;
 - Coletar 2 amostras de 800 cm^3 . - Amostras 1 e 2;
 - Anotar a cota do tanque (após a sifonagem);
 - Mexer vigorosamente o material restante no fundo do tanque;
 - Ao mesmo tempo encher 2 depósitos de 800 cm^3 . Amostras 4 e 5.

3. O partidor Transbordou:
 - Anotar a cota do tanque no. 2;
 - Mexer vigorosamente o material do fundo do tanque;
 - Ao mesmo tempo encher 2 depósitos de 800 cm^3 . Amostras 6 e 7.

4. Limpar todos os tanques, baldes e aparelhos para uma nova medição.

ANEXO 2

MATRIZES DE CORRELAÇÕES

DO MODELO FINAL

ANEXO 2.A

MATRIZES DE CORRELAÇÕES

DO MODELO FINAL

ESCOAMENTO

Tabela 1
Matriz de Correlação para o Escoamento da Parcela 1

	LP1	PREC	DE	IMED
LP1	1			
PREC	0.8559	1		
DE	0.2045	0.3694	1	
IMED	0.4331	0.3216	- 0.3316	1

Tabela 2
Matriz de Correlação para o Escoamento da Parcela 2

	LP2	PREC	DE	IMED
LP2	1			
PREC	0.7405	1		
DE	0.1486	0.3732	1	
IMED	0.2331	0.3296	- 0.3205	1

Tabela 3
Matriz de Correlação para o Escoamento da Parcela 3

	LP3	PREC	DE	IMED
LP3	1			
PREC	0.7772	1		
DE	0.1548	0.3903	1	
IMED	0.2034	0.2999	- 0.3194	1

Tabela 4
Matriz de Correlação para o Escoamento da Parcela 4

	LP4	PREC	DE	IMED
LP4	1			
PREC	0.9371	1		
DE	0.2240	0.3792	1	
IMED	0.4056	0.3192	- 0.3232	1

Tabela 5
Matriz de Correlação para o Escoamento da Parcela 5

	LP5	PREC	DE	IMED
LP5	1			
PREC	0.6831	1		
DE	0.1270	0.3773	1	
IMED	0.1736	0.3254	-0.3220	1

Tabela 6
Matriz de Correlação para o Escoamento da Parcela 6

	LP6	PREC	DE	IMED
LP6	1			
PREC	0.8816	1		
DE	0.2415	0.4101	1	
IMED	0.3841	0.2829	-0.3550	1

Tabela 7
Matriz de Correlação para o Escoamento da Parcela 7

	LP7	PREC	DE	IMED
LP7	1			
PREC	0.8605	1		
DE	0.1587	0.3824	1	
IMED	0.4257	0.3234	-0.3655	1

Tabela 8
Matriz de Correlação para o Escoamento da Parcela 8

	LP8	PREC	DE	IMED
LP8	1			
PREC	0.7979	1		
DE	0.0038	0.4042	1	
IMED	0.4749	0.2952	-0.4341	1

Tabela 9
Matriz de Correlação para o Escoamento da Parcela 9

	LP9	PREC	DE	IMED
LP9	1			
PREC	0.4038	1		
DE	0.3027	0.4538	1	
IMED	0.0516	0.2702	-0.4104	1

ANEXO 2.B

MATRIZES DE CORRELAÇÃO LOGARITMICAS

EROSÃO

Tabela 1
Matriz de Correlação Logarítmica para Erosão da Parcela 1

	EP1	PREC	IH	EI ₃₀	IMED
EP1	1				
PREC	0.5910	1			
IH	0.2141	- 0.0455	1		
EI ₃₀	0.6976	0.9254	- 0.0598	1	
IMED	0.4882	0.3858	- 0.0264	0.5896	1

Tabela 2
Matriz de Correlação Logarítmica para Erosão da Parcela 2

	EP2	PREC	IH	EI ₃₀	IMED
EP2	1				
PREC	0.4651	1			
IH	0.1206	- 0.0396	1		
EI ₃₀	0.5056	0.9336	- 0.0420	1	
IMED	0.3130	0.2640	- 0.0358	0.4407	1

Tabela 3
Matriz de Correlação Logarítmica para Erosão da Parcela 3

	EP3	PREC	IH	EI ₃₀	IMED
EP3	1				
PREC	0.3201	1			
IH	- 0.1773	- 0.0709	1		
EI ₃₀	0.3728	0.9408	- 0.0988	1	
IMED	0.2014	0.4177	- 0.0875	0.5614	1

Tabela 4
Matriz de Correlação Logarítmica para Erosão da Parcela 4

	EP4	PREC	IH	EI ₃₀	IMED
EP4	1				
PREC	0.6219	1			
IH	0.1191	-0.0856	1		
EI ₃₀	0.7131	0.9270	-0.0792	1	
IMED	0.4483	0.3947	-0.0052	0.5949	1

Tabela 5
Matriz de Correlação Logarítmica para Erosão da Parcela 5

	EP5	PREC	IH	EI ₃₀	IMED
EP5	1				
PREC	0.6630	1			
IH	-0.0022	-0.0407	1		
EI ₃₀	0.6927	0.9293	-0.0719	1	
IMED	0.4581	0.4769	-0.0814	0.5938	1

Tabela 6
Matriz de Correlação Logarítmica para Erosão da Parcela 6

	EP6	PREC	IH	EI ₃₀	IMED
EP6	1				
PREC	0.5456	1			
IH	0.1971	-0.0450	1		
EI ₃₀	0.6604	0.9191	-0.0518	1	
IMED	0.4727	0.2885	0.0371	0.5140	1

Tabela 7
Matriz de Correlação Logarítmica para Erosão da Parcela 7

	EP7	PREC	IH	EI ₃₀	IMED
EP7	1				
PREC	0.6332	1			
IH	0.1056	-0.1060	1		
EI ₃₀	0.7442	0.9120	-0.1057	1	
IMED	0.5609	0.2950	0.0117	0.5242	1

Tabela 8
Matriz de Correlação Logarítmica para Erosão da Parcela 8

	EP8	PREC	IH	EI ₃₀	IMED
EP8	1				
PREC	0.4748	1			
IH	0.2413	-0.1676	1		
EI ₃₀	0.6558	0.9023	-0.1045	1	
IMED	0.4342	0.2961	0.0676	0.5483	1

Tabela 9
Matriz de Correlação Logarítmica para Erosão da Parcela 9

	EP9	PREC	IH	EI ₃₀	IMED
EP9	1				
PREC	0.3680	1			
IH	0.5006	-0.0943	1		
EI ₃₀	0.3772	0.8733	-0.0187	1	
IMED	0.2352	0.0999	-0.0222	0.4809	1

ANEXO 3

**MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS
REGRESSÕES EXECUTADAS**

ANEXO 3.A

MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS

REGRESSÕES EXECUTADAS

ESCOAMENTO

01) LP = f (IH)

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO IH	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
LP1	0.064	0.01
LP2	0.229	0.05
LP3	0.151	0.02
LP4	0.077	0.01
LP5	0.159	0.03
LP6	0.139	0.02
LP7	0.143	0.02
LP8	0.019	0.00
LP9	0.274	0.08

02) LP = f (PREC)

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO PREC	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
LP1	0.851	0.72
LP2	0.717	0.51
LP3	0.758	0.57
LP4	0.938	0.88
LP5	0.660	0.44
LP6	0.879	0.77
LP7	0.852	0.73
LP8	0.774	0.60
LP9	0.374	0.14

03) LP = f (PREC, IH)

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO		COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	IH	PREC	
LP1	0.064	0.851	0.73
LP2	0.229	0.717	0.58
LP3	0.151	0.758	0.60
LP4	0.077	0.938	0.89
LP5	0.159	0.660	0.47
LP6	0.139	0.879	0.80
LP7	0.144	0.852	0.76
LP8	0.019	0.774	0.62
LP9	0.274	0.374	0.26

04) LP = f (PREC, DE)

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO		COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	IH	PREC	
LP1	0.852	0.241	0.73
LP2	0.737	0.180	0.57
LP3	0.777	0.188	0.62
LP4	0.938	0.244	0.90
LP5	0.677	0.125	0.48
LP6	0.883	0.265	0.79
LP7	0.860	0.187	0.77
LP8	0.798	0.004	0.76
LP9	0.404	0.303	0.18

05) LP = f (PREC, Imed)

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO		COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	IH	PREC	
LP1	0.860	0.433	0.77
LP2	0.727	0.219	0.53
LP3	0.765	0.188	0.59
LP4	0.937	0.408	0.89
LP5	0.671	0.164	0.45
LP6	0.882	0.392	0.80
LP7	0.856	0.423	0.75
LP8	0.773	0.466	0.64
LP9	0.378	0.043	0.15

06) LP = f (PREC, VPA₍₁₀₎)

PARCELA	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
LP1	0.74
LP2	0.57
LP3	0.60
LP4	0.89
LP5	0.45
LP6	0.79
LP7	0.75
LP8	0.64
LP9	0.24

07) $LP = f(\text{PREC}, \text{DE}, \text{Imed})$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO			COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	PREC	DE	Imed	
LP1	0.856	0.205	0.433	0.76
LP2	0.741	0.149	0.233	0.58
LP3	0.777	0.175	0.204	0.64
LP4	0.937	0.224	0.406	0.90
LP5	0.683	0.127	0.174	0.51
LP6	0.882	0.242	0.384	0.80
LP7	0.861	0.159	0.426	0.78
LP8	0.800	0.004	0.475	0.76
LP9	0.404	0.303	0.052	0.18

08) $LP = f(\text{PREC}, \text{DE}, \text{Imed}, \text{IH})$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO				COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	IH	PREC	DE	Imed	
LP1	0.089	0.856	0.205	0.433	0.76
LP2	0.219	0.741	0.149	0.233	0.58
LP3	0.146	0.777	0.175	0.204	0.64
LP4	0.106	0.937	0.224	0.406	0.90
LP5	0.172	0.683	0.127	0.174	0.51
LP6	0.171	0.882	0.242	0.384	0.80
LP7	0.161	0.861	0.159	0.426	0.78
LP8	0.027	0.800	0.004	0.475	0.76
LP9	0.265	0.404	0.303	0.052	0.30

ANEXO 3.B

**MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS
REGRESSÕES EXECUTADAS**

EROSÃO

01) EP = f (EI₃₀)

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO EI ₃₀	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
EP1	0.757	0.57
EP2	0.316	0.10
EP3	0.340	0.12
EP4	0.712	0.51
EP5	0.559	0.31
EP6	0.527	0.28
EP7	0.803	0.64
EP8	0.510	0.26
EP9	0.310	0.10

02) EP = f (PREC)

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO PREC	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
EP1	0.731	0.53
EP2	0.408	0.17
EP3	0.251	0.06
EP4	0.732	0.54
EP5	0.543	0.30
EP6	0.469	0.22
EP7	0.758	0.57
EP8	0.545	0.30
EP9	0.367	0.13

03) EP = f (EI₃₀ , IH)

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO		COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	EI ₃₀	PREC	
EP1	0.757	0.076	0.58
EP2	0.316	0.054	0.10
EP3	0.340	- 0.003	0.12
EP4	0.712	0.029	0.51
EP5	0.559	0.172	0.35
EP6	0.527	0.004	0.28
EP7	0.803	- 0.002	0.64
EP8	0.510	0.015	0.27
EP9	0.310	0.222	0.17

04) EP = f (PREC, EI₃₀)

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO		COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	PREC	EI ₃₀	
EP1	0.725	0.757	0.58
EP2	0.416	0.316	0.19
EP3	0.261	0.340	0.12
EP4	0.735	0.712	0.55
EP5	0.557	0.559	0.33
EP6	0.467	0.528	0.28
EP7	0.764	0.803	0.65
EP8	0.556	0.510	0.31
EP9	0.387	0.310	0.15

05) $EP = f(\text{PREC}, \text{IH}, \text{EI}_{30})$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO			COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	PREC	EI ₃₀	IH	
EP1	0.725	0.757	0.076	0.59
EP2	0.416	0.316	0.054	0.20
EP3	0.261	0.340	-0.003	0.12
EP4	0.735	0.712	0.029	0.56
EP5	0.557	0.559	0.172	0.36
EP6	0.467	0.527	0.004	0.28
EP7	0.764	0.803	-0.002	0.66
EP8	0.556	0.510	0.015	0.32
EP9	0.387	0.309	0.222	0.23

06) $EP = f(\text{PREC}, \text{EI}_{30}, \text{Imed})$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO			COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	PREC	EI ₃₀	Imed	
EP1	0.725	0.758	0.245	0.58
EP2	0.416	0.316	0.164	0.20
EP3	0.261	0.340	0.105	0.13
EP4	0.735	0.712	0.180	0.56
EP5	0.558	0.559	0.172	0.33
EP6	0.469	0.526	0.401	0.32
EP7	0.766	0.803	0.454	0.68
EP8	0.556	0.510	0.200	0.31
EP9	0.387	0.309	0.039	0.16

$$07) EP = f (PREC, EI_{30}, DE, Imed)$$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO				COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	PREC	EI ₃₀	DE	Imed	
EP1	0.728	0.756	0.117	0.287	0.60
EP2	0.423	0.317	0.068	0.164	0.23
EP3	0.264	0.342	0.011	0.104	0.13
EP4	0.738	0.710	0.168	0.171	0.58
EP5	0.567	0.561	0.131	0.170	0.34
EP6	0.463	0.518	0.044	0.393	0.31
EP7	0.772	0.800	0.140	0.448	0.68
EP8	0.544	0.496	0.070	0.176	0.34
EP9	0.409	0.323	0.305	0.033	0.18

$$08) \log EP = f (\log PREC, \log EI_{30}, \log DE, \log Imed)$$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO				COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	log PREC	log EI ₃₀	log DE	log Imed	
EP1	0.588	0.075	0.694	0.482	0.50
EP2	0.482	0.090	0.520	0.312	0.28
EP3	0.331	0.084	0.376	0.205	0.15
EP4	0.614	0.110	0.705	0.426	0.52
EP5	0.685	0.275	0.711	0.465	0.52
EP6	0.532	0.077	0.655	0.476	0.47
EP7	0.638	0.040	0.743	0.565	0.60
EP8	0.465	-0.130	0.651	0.427	0.59
EP9	0.435	0.164	0.440	0.265	0.29

$$09) \log EP = f(\log PREC, \log IH, \log EI_{30}, \log Imed)$$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO				COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	log PREC	log IH	log EI ₃₀	log Imed	
EP1	0.591	0.214	0.698	0.488	0.58
EP2	0.465	0.120	0.507	0.313	0.29
EP3	0.320	-0.177	0.373	0.201	0.17
EP4	0.621	0.119	0.713	0.448	0.55
EP5	0.663	-0.002	0.692	0.458	0.49
EP6	0.546	0.197	0.660	0.472	0.52
EP7	0.633	0.106	0.744	0.561	0.62
EP8	0.475	0.241	0.656	0.434	0.43
EP9	0.368	0.501	0.377	0.235	0.52

$$10) \log EP = f(\log PREC, \log DE, \log EI_{30}, \log Imed, \log IH)$$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO					COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	log PREC	log IH	log DE	log EI ₃₀	log Imed	
EP1	0.588	0.235	0.074	0.693	0.481	0.58
EP2	0.482	0.114	0.090	0.520	0.315	0.30
EP3	0.331	-0.212	0.084	0.376	0.205	0.18
EP4	0.614	0.136	0.110	0.705	0.426	0.55
EP5	0.685	-0.002	0.275	0.711	0.465	0.51
EP6	0.532	0.208	0.077	0.655	0.476	0.52
EP7	0.638	0.107	0.040	0.743	0.565	0.62
EP8	0.465	0.260	-0.130	0.651	0.427	0.65
EP9	0.435	0.588	0.164	0.440	0.265	0.59

ANEXO 3.C

MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS

REGRESSÕES EXECUTADAS

INFILTRAÇÃO

01) PHI = f (IH)

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO IH	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
PHI1	- 0.359	0.13
PHI2	- 0.298	0.09
PHI3	- 0.245	0.06
PHI4	- 0.410	0.17
PHI5	- 0.265	0.07
PHI6	- 0.415	0.17
PHI7	- 0.409	0.17
PHI8	- 0.368	0.14
PHI9	- 0.335	0.11

02) PHI = f (PREC)

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO PREC	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
PHI1	0.068	0.00
PHI2	0.099	0.01
PHI3	0.222	0.05
PHI4	- 0.056	0.00
PHI5	0.214	0.05
PHI6	- 0.107	0.01
PHI7	- 0.108	0.01
PHI8	- 0.005	2.22
PHI9	0.184	0.03

03) $\text{PHI} = f(p)$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO p	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
PHI1	0.068	0.00
PHI2	- 0.027	0.00
PHI3	- 0.040	0.00
PHI4	- 0.056	0.00
PHI5	- 0.028	0.00
PHI6	- 0.107	0.01
PHI7	- 0.129	0.02
PHI8	- 0.003	9.01
PHI9	0.184	0.03

04) $\text{PHI} = f(E_{30})$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO E_{30}	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
PHI1	0.162	0.03
PHI2	0.101	0.01
PHI3	0.295	0.09
PHI4	0.024	0.00
PHI5	0.327	0.11
PHI6	- 0.062	0.00
PHI7	- 0.092	0.01
PHI8	- 0.056	0.00
PHI9	- 0.210	0.04

05) $PHI = f(IH, EI_{30})$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO		COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	IH	EI ₃₀	
PHI1	- 0.333	0.162	0.14
PHI2	- 0.292	0.101	0.09
PHI3	- 0.247	0.295	0.14
PHI4	- 0.392	0.024	0.15
PHI5	- 0.278	0.327	0.10
PHI6	- 0.398	- 0.062	0.16
PHI7	- 0.382	- 0.092	0.16
PHI8	- 0.351	- 0.057	0.15
PHI9	- 0.432	0.210	0.19

06) $PHI = f(PREC, IH, EI_{30})$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO			COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	IH	PREC	EI ₃₀	
PHI1	- 0.333	0.058	0.162	0.18
PHI2	- 0.292	0.089	0.101	0.10
PHI3	- 0.247	0.237	0.295	0.15
PHI4	- 0.392	- 0.068	0.024	0.21
PHI5	- 0.278	0.236	0.327	0.20
PHI6	- 0.398	- 0.112	0.062	0.18
PHI7	- 0.382	- 0.122	0.092	0.17
PHI8	- 0.351	0.001	0.057	0.15
PHI9	- 0.432	0.119	0.210	0.20

07) $\text{PHI} = f(\text{PREC}, \text{IH}, \text{FCU}(10))$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO			COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	IH	PREC	FCU	
PHI1	-0.359	0.068	0.084	0.14
PHI2	-0.298	0.099	-0.107	0.14
PHI3	-0.246	0.222	-0.019	0.15
PHI4	-0.410	-0.056	-0.043	0.17
PHI5	-0.265	0.214	-0.029	0.16
PHI6	-0.415	-0.107	-0.068	0.19
PHI7	-0.409	-0.109	-0.089	0.19
PHI8	-0.368	-0.005	-0.179	0.16
PHI9	-0.335	0.184	-0.081	0.12

08) $\text{PHI} = f(\text{IH}, \text{p}, \text{EI}_{30})$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO			COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	IH	p	EI_{30}	
PHI1	-0.333	0.058	0.162	0.18
PHI2	-0.292	-0.031	0.101	0.17
PHI3	-0.247	-0.033	0.295	0.34
PHI4	-0.392	-0.069	0.024	0.21
PHI5	-0.278	-0.009	0.327	0.42
PHI6	-0.398	-0.112	-0.062	0.18
PHI7	-0.382	-0.138	-0.092	0.18
PHI8	-0.351	0.003	-0.057	0.15
PHI9	-0.432	0.119	0.210	0.20

09) $\log \text{PHI} = f(\log \text{IH}, \log \text{PREC}, \log \text{EI}_{30})$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO			COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	log IH	log PREC	log EI ₃₀	
PHI1	- 0.431	0.008	0.171	0.35
PHI2	- 0.321	0.210	0.367	0.36
PHI3	- 0.188	0.339	0.539	0.53
PHI4	- 0.419	- 0.034	0.131	0.36
PHI5	- 0.224	0.404	0.609	0.58
PHI6	- 0.479	- 0.170	0.042	0.35
PHI7	- 0.416	- 0.113	0.029	0.30
PHI8	- 0.445	- 0.095	0.056	0.24
PHI9	- 0.381	0.171	0.386	0.41

10) $\log \text{PHI} = f(\log \text{PREC}, \log \text{EI}_{30}, \log \text{Imed})$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO			COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	log PREC	log EI ₃₀	log Imed	
PHI1	0.008	0.171	0.289	0.19
PHI2	0.210	0.367	0.294	0.27
PHI3	0.339	0.539	0.524	0.52
PHI4	0.034	0.131	0.244	0.19
PHI5	0.404	0.609	0.529	0.57
PHI6	0.170	0.042	0.134	0.11
PHI7	0.113	0.029	0.151	0.12
PHI8	0.095	0.056	0.086	0.24
PHI9	0.171	0.386	0.508	0.29

$$11) \log \text{PHI} = f(\log \text{IH}, \log \text{PREC}, \log \text{EI}_{30}, \log \text{DE})$$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO				COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	log IH	log PREC	log EI ₃₀	log DE	
PHI1	- 0.433	0.014	0.163	- 0.155	0.34
PHI2	- 0.295	0.203	0.346	- 0.033	0.33
PHI3	- 0.160	0.344	0.526	- 0.130	0.50
PHI4	- 0.419	0.026	0.128	- 0.154	0.35
PHI5	- 0.168	0.403	0.586	- 0.013	0.55
PHI6	- 0.485	- 0.170	- 0.060	- 0.179	0.33
PHI7	- 0.419	- 0.109	0.020	- 0.135	0.29
PHI8	- 0.434	- 0.127	- 0.086	0.055	0.24
PHI9	- 0.364	0.129	0.358	- 0.241	0.40

$$12) \log \text{PHI} = f(\log \text{IH}, \log \text{PREC}, \log \text{EI}_{30}, \log \text{Imed})$$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO				COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	log IH	log PREC	log EI ₃₀	log Imed	
PHI1	- 0.431	0.008	0.171	0.289	0.35
PHI2	- 0.321	0.210	0.367	0.294	0.36
PHI3	- 0.188	0.339	0.539	0.524	0.53
PHI4	- 0.420	- 0.034	0.131	0.244	0.36
PHI5	- 0.224	0.404	0.609	0.529	0.59
PHI6	- 0.479	- 0.170	- 0.042	0.134	0.35
PHI7	- 0.416	- 0.113	- 0.029	0.151	0.30
PHI8	- 0.445	- 0.095	0.056	0.086	0.26
PHI9	- 0.381	0.171	0.386	0.508	0.42

$$13) \log \text{PHI} = f(\log \text{IH}, \log \text{PREC}, \log \text{EI}_{30}, \log \text{DE}, \log \text{Imed})$$

PARCELA	MATRIZ DE CORRELAÇÃO					COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
	log IH	log PREC	log EI ₃₀	log DE	log Imed	
PHI1	- 0.433	0.014	0.163	- 0.155	0.278	0.34
PHI2	- 0.295	0.203	0.346	- 0.033	0.270	0.33
PHI3	- 0.160	0.374	0.526	- 0.130	0.506	0.50
PHI4	- 0.419	- 0.026	0.128	- 0.154	0.261	0.37
PHI5	- 0.168	0.403	0.586	- 0.013	0.499	0.55
PHI6	- 0.485	- 0.169	- 0.060	- 0.178	0.111	0.34
PHI7	- 0.419	- 0.109	0.020	- 0.135	0.141	0.30
PHI8	- 0.434	- 0.127	- 0.086	- 0.055	0.071	0.33
PHI9	- 0.364	0.129	0.358	- 0.241	0.497	0.42

ANEXO 4

DADOS DE ENTRADA PARA OS MODELOS

Tabela A.4
Dados de entrada para regressão múltipla

CHEIA	DIA	MÊS	ANO	EI ₃₀	IMED	VPA(10)	FCU(10)	D.E	PREC	IH
001	31	03	1982	7.4	16.3	0.0	0.00	1.03	16.7	3.5
002	15	04	1982	22.3	6.9	0.0	0.00	11.66	40.6	9.3
003	23	04	1982	3.7	4.4	139.5	1909.75	2.16	9.8	34.4
004	23	04	1982	32.5	7.6	139.5	147346.87	4.48	33.9	34.4
005	24	04	1982	0.6	3.0	533.5	192.06	1.65	5.3	74.2
006	01	05	1982	1.5	2.3	177.6	399.60	13.70	11.4	58.6
007	02	05	1982	66.2	5.6	237.5	1040829.50	17.50	70.2	66.5
008	05	05	1982	1.2	1.5	649.6	935.42	3.60	5.3	117.2
009	07	05	1982	0.5	11.3	528.7	132.17	20.53	5.6	110.6
010	08	05	1982	0.5	1.4	496.4	124.10	4.01	6.0	110.3
011	10	05	1982	0.3	18.0	364.0	32.76	0.15	2.8	105.0
012	12	05	1982	0.9	3.5	192.2	155.68	1.33	6.9	97.3
013	03	02	1983	3.5	4.4	111.6	1367.10	2.80	14.2	17.0
014	05	02	1983	1.7	2.0	187.9	543.03	5.95	14.2	29.5
015	06	02	1983	0.6	0.9	286.3	103.06	11.56	10.2	41.5
016	07	02	1983	18.9	6.1	346.3	123701.82	7.14	44.5	49.1
017	12	02	1983	0.5	14.1	420.4	105.10	0.23	5.7	74.2
018	17	02	1983	0.4	0.9	72.8	11.64	9.01	9.3	61.8
019	19	02	1983	2.9	3.4	91.6	770.35	2.56	8.2	64.2
020	23	03	1983	4.2	1.7	36.0	635.04	9.35	16.6	18.4
021	27	03	1983	1.0	1.6	211.9	211.90	3.71	8.6	35.9
022	06	04	1983	16.7	12.0	6.3	1757.00	2.08	26.1	26.6
023	10	05	1983	1.8	18.6	2.0	6.48	0.33	7.	9.7
024	07	01	1984	3.7	11.0	0.0	0.00	0.90	11.4	5.4
025	07	02	1984	11.1	3.1	0.0	0.00	5.85	18.9	4.5
026	14	02	1984	3.0	15.0	75.2	676.80	0.56	7.7	16.3
027	29	02	1984	9.4	4.2	0.0	0.00	5.23	26.4	11.1
028	08	03	1984	0.8	3.8	91.8	58.75	1.35	4.4	25.7
029	10	03	1984	2.2	2.2	90.8	439.47		17.8	28.2
030	11	03	1984	54.1	14.9	218.2	638629.94	2.28	32.0	43.7
031	22	03	1984	15.6	11.9	37.0	9004.32	1.51	19.3	48.4
032	23	03	1984	3.0	2.3	218.0	1962.00	3.91	9.6	64.4
033	26	03	1984	2.0	2.8	215.6	862.40	10.40	7.6	63.6
034	02	04	1984	1.4	2.2	62.0	121.52	21.38	9.7	51.9
035	03	04	1984	4.7	2.4	129.9	2869.49	14.16	25.0	58.5
036	04	04	1984	10.3	4.1	339.1	35975.11		45.0	79.3
037	05	04	1984	2.8	4.4	735.5	5766.32	4.01	16.9	118.1
038	14	04	1984	0.7	2.3	114.8	56.25	1.96	4.9	90.5
039	15	04	1984	2.1	9.2	94.7	417.62		9.0	90.6
040	18	04	1984	9.1	5.3	145.4	12040.57	4.28	20.5	88.4
041	19	04	1984	5.9	3.4	330.9	11518.62	3.43	12.4	103.5
042	20	04	1984	168.7	13.4	411.1	11699778.55	6.00	82.2	110.1
043	22	04	1984	1.1	6.7	1012.9	1225.60	0.75	4.1	173.5
044	23	04	1984	4.6	10.2	939.5	19879.82	1.01	12.3	168.8
045	26	04	1984	1.8	8.0	649.9	2105.67	4.13	7.4	156.6
046	19	05	1984	14.1	4.8	49.7	9880.85	5.66	29.0	59.1
047	20	05	1984	5.2	2.5	312.5	8450.00	4.51	10.8	83.7
048	21	05	1984	0.4	1.2	387.2	61.95	3.40	5.1	89.7
049	23	05	1984	20.5	4.2	347.6	146078.90	6.13	27.2	86.3
050	24	05	1984	6.8	3.4	550.6	25459.74	5.05	17.3	107.8
051	25	05	1984	3.3	2.9	647.1	7046.91	5.13	14.5	118.8
052	17	07	1984	13.1	2.2	30.6	5251.26	9.60	23.2	23.2
053	35	08	1984	26.8	3.6	173.5	124614.64	7.16	27.6	28.3
054	30	08	1984	0.3	.	234.4	21.09		29.5	46.2
055	25	01	1985	17.0	5.8	29.4	8496.60	5.00	30.9	5.0
056	27	01	1985	2.4	4.2	291.0	1676.16	1.76	7.1	33.7
057	03	02	1985	6.6	3.5	92.6	4033.65		13.6	28.5

Tabela A.4
Dados de entrada para regressão múltipla

CHEIA	DIA	MÊS	ANO	El ₃₀	IMED	VPA(10)	FCU(10)	D.E	PREC	IH
058	04	02	1985	4.4	4.6	198.6	3844.89	2.75	14.4	40.0
059	05	02	1985	34.5	7.8	282.7	336483.67	4.55	34.8	51.7
060	10	02	1985	164.9	10.8	350.0	9517203.50	20.56	94.3	67.9
061	11	02	1985	16.8	6.1	1220.9	344586.81	14.33	40.5	154.1
062	12	02	1985	.	1.6	1460.2	0.00	5.76	8.8	184.8
063	13	02	1985	.	.	1354.7	0.00	9.48	30.2	184.0
064	14	02	1985	.	.	1458.9	0.00	6.06	5.4	203.5
065	16	02	1985	1.0	14.8	1072.2	1072.20	0.31	5.0	188.9
066	17	02	1985	21.7	6.4	944.0	44520.16	5.81	40.3	184.2
067	18	02	1985	.	12.5	1136.6	0.00	7.90	48.4	213.3
068	19	02	1985	.	.	1436.3	0.00	15.88	45.4	248.6
069	20	02	1985	18.6	5.9	1637.8	566613.28	5.51	30.2	279.3
070	21	02	1985	1.4	2.1	1643.7	3221.65	7.18	10.2	384.0
071	27	02	1985	15.1	10.3	465.2	106070.25	2.78	32.8	223.7
072	02	03	1985	2.5	6.9	294.0	1837.50	1.25	9.7	359.6
073	03	03	1985	1.7	4.8	311.2	899.36	6.01	10.2	361.9
074	04	03	1985	11.0	3.7	366.2	44310.20	5.30	21.6	216.9
075	18	03	1985	6.9	11.5	6.4	304.70	7.48	19.8	117.8
076	19	03	1985	20.2	11.9	213.6	87157.34	5.81	23.5	130.7
077	23	03	1985	10.7	3.2	329.4	37713.00	18.73	35.0	130.0
078	24	03	1985	0.9	1.2	596.6	483.24	7.13	15.8	155.3
079	25	03	1985	.	.	714.2	0.00	1.30	3.4	163.5
080	26	03	1985	277.4	11.6	656.0	50479698.56	14.28	164.4	158.5
081	27	03	1985	.	.	2164.4	0.00	3.66	2.6	307.7
082	29	03	1985	0.9	1.5	1654.6	1340.22	4.90	8.1	280.1
083	30	03	1985	11.4	5.0	1488.4	193432.46	4.11	20.2	273.8
084	31	03	1985	6.2	3.5	1465.2	56322.28	3.75	15.1	279.3
085	01	04	1985	6.3	5.6	1347.6	53486.24	15.16	15.1	279.7
086	03	04	1985	.	.	1019.4	0.00	.	.	.
087	03	04	1985	1.7	8.0	1019.4	2946.06	0.76	5.8	271.9
088	04	04	1985	3.0	2.1	827.8	7450.20	14.28	17.5	263.8
089	05	04	1985	0.4	1.2	774.0	123.84	3.08	4.5	267.2
090	06	04	1985	2.2	2.3	564.0	2729.76	15.31	14.5	258.1
091	07	04	1985	1.6	7.4	609.0	1559.04	0.86	5.9	259.0
092	08	04	1985	7.8	4.5	570.2	34690.96	6.66	30.4	251.7
093	10	04	1985	1.9	2.7	631.8	2280.79	11.00	16.1	254.6
094	11	04	1985	2.7	2.8	673.8	4912.00	.	18.7	257.1
095	12	04	1985	52.9	9.3	737.4	2063547.53	4.12	45.7	262.0
096	14	04	1985	28.5	7.1	935.8	760103.55	3.96	31.4	278.6
097	15	04	1985	.	.	1059.8	0.00	0.60	2.6	294.5
098	22	04	1985	8.8	3.0	145.6	11275.26	14.41	27.9	207.8
099	24	04	1985	.	.	290.5	0.00	5.96	23.1	213.5
100	26	04	1985	209.	16.4	419.1	18306707.10	3.85	69.2	213.6
101	27	04	1985	0.4	10.2	1108.0	177.28	0.28	3.0	268.6
102	29	04	1985	10.6	2.9	883.0	99213.88	16.20	22.0	245.1
103	03	05	1985	1.2	7.2	503.6	725.18	0.68	4.2	218.0
104	04	05	1985	0.7	3.4	433.7	212.51	1.25	4.8	211.1
105	08	05	1985	0.4	3.1	122.3	19.56	1.50	5.1	177.8
106	05	06	1985	16.0	4.2	19.0	4864.00	7.76	34.9	46.8
107	11	06	1985	41.7	9.0	175.4	305001.30	4.16	40.7	60.0
108	12	06	1985	5.1	3.7	528.0	13733.28	6.80	11.6	95.7
109	13	07	1985	2.6	3.7	27.3	184.54	2.85	14.2	29.8
110	07	12	1985	.	.	0.0	0.00	.	26.5	0.1
111	14	12	1985	.	.	139.2	0.00	.	46.4	22.2
112	02	01	1986	2.5	4.9	0.0	0.00	5.95	11.4	26.0
113	05	02	1986	1.7	4.8	84.6	244.49	1.66	8.4	19.8
114	06	02	1986	1.8	2.1	153.8	498.31	6.48	8.5	26.8

Tabela A.4
Dados de entrada para regressão múltipla

CITEIA	DIA	MÊS	ANO	EI ₃₀	IMED	VPA(10)	FCU(10)	D.E	PREC	III
115	07	02	1986	0.4	3.2	212.6	34.01	6.48	6.6	33.0
116	12	02	1986	144.2	20.2	110.6	2299776.58	4.20	86.6	30.6
117	13	02	1986	6.7	2.7	973.8	43713.88	11.48	30.3	111.3
118	26	02	1986	20.2	6.8	0.0	0.00	7.46	33.1	72.7
119	28	02	1986	16.0	3.9	289.8	74188.80	11.23	37.8	95.5
120	02	03	1986	2.9	1.8	560.2	4711.28	11.98	17.5	120.3
121	03	03	1986	0.8	2.3	670.8	429.31	5.36	10.7	130.9
122	04	03	1986	6.7	25.9	683.4	30677.82	0.41	9.8	134.5
123	05	03	1986	5.6	5.0	692.0	21701.12	2.31	13.4	137.1
124	08	03	1986	46.5	19.6	490.8	1061232.30	0.50	33.2	131.1
125	13	03	1986	66.4	6.3	378.4	1668350.46	15.53	53.5	137.1
126	21	03	1986	159.3	15.6	227.0	5760463.23	9.46	130.8	131.0
127	22	03	1986	3.5	2.4	1441.0	17652.25	7.55	18.2	248.7
128	24	03	1986	0.3	1.9	1272.0	114.48	4.63	3.6	244.8
129	30	03	1986	3.8	3.4	404.7	5843.86	4.53	11.8	188.6
130	07	04	1986	46.5	5.5	60.5	130816.12	13.63	52.6	136.3
131	08	04	1986	0.7	13.3	559.3	274.05	0.30	4.7	179.5
132	09	04	1986	13.4	6.5	533.2	95741.39	3.70	27.2	175.0
133	13	04	1986	0.5	4.9	466.6	116.65	1.60	8.6	164.7
134	14	04	1986	1.0	5.0	466.6	466.60	1.33	8.9	164.6
135	15	04	1986	1.5	3.0	462.4	1040.40	6.95	8.0	164.8
136	21	04	1986	21.8	10.6	110.0	52276.40	5.14	34.5	128.3
137	22	04	1986	3.1	6.9	421.7	4052.53	1.38	10.3	154.7
138	30	04	1986	40.7	8.5	228.7	378839.26	15.41	46.8	122.2
139	06	05	1986	4.8	2.1	289.0	6658.56	14.66	19.3	125.4
140	12	06	1986	5.4	5.4	7.0	204.12	16.83	14.6	29.1
141	16	07	1986	8.1	1.7	38.4	2519.42	17.86	28.6	16.7
142	20	07	1986	3.9	2.8	219.0	3330.99	4.80	13.8	36.9
143	24	11	1986	4.6	3.1	0.0	0.00	10.98	25.1	0.7
144	07	02	1987	5.3	13.5	86.4	2426.97	0.81	11.5	12.7
145	08	02	1987	.	.	186.8	0.00	.	30.2	23.0
146	12	02	1987	3.1	3.9	344.8	3313.52	2.40	9.4	44.6
147	13	02	1987	0.5	5.7	388.2	97.05	1.83	2.5	51.3
148	02	03	1987	2.1	1.2	0.0	0.00	10.06	10.3	22.7
149	03	03	1987	36.6	4.5	84.0	112523.04	13.08	40.2	31.3
150	10	03	1987	3.6	1.6	190.0	2462.40	9.36	16.2	50.0
151	12	03	1987	0.8	4.0	248.0	43964.37	1.11	5.0	62.9
152	15	03	1987	16.3	5.9	173.0	45964.37	4.16	27.2	61.4
153	28	03	1987	86.3	7.5	33.6	250242.38	15.38	63.6	51.5
154	04	04	1987	0.7	5.6	288.8	4464.00	4.56	4.5	85.0
155	02	05	1987	12.0	4.8	31.0	4464.00	4.16	19.6	28.7
156	01	06	1987	1.5	18.3	0.0	0.00	0.30	4.1	10.6
157	06	06	1987	0.2	0.8	103.8	4.15	6.16	4.1	18.0
158	28	06	1987	5.1	2.8	47.0	1222.47	11.15	24.9	13.3
159	29	06	1987	0.6	1.4	288.4	103.82	6.36	5.2	36.3
160	04	07	1987	0.3	1.6	175.1	15.75	4.53	5.0	33.6
161	09	07	1987	11.4	5.4	47.5	6173.10	4.53	26.4	30.6
162	20	01	1988	30.5	9.8	21.0	19535.25	2.58	24.6	4.9
163	14	02	1988	156.9	28.9	2.0	49235.22	2.66	71.3	9.5
164	15	02	1988	51.7	16.8	721.0	1927153.69	1.80	32.1	76.8
165	23	02	1988	2.2	4.6	238.2	1152.88	2.63	12.2	72.7
166	24	02	1988	37.4	7.1	253.0	353886.28	7.35	51.7	80.7
167	25	02	1988	4.5	4.0	632.0	12798.00	3.83	16.9	125.8
168	02	03	1988	6.1	3.8	311.0	11572.31	5.38	20.6	104.9
169	09	03	1988	9.0	3.0	80.8	6544.80	6.66	15.4	87.8
170	11	03	1988	.	16.4	188.0	0.00	2.78	45.6	93.2
171	12	03	1988	0.6	3.2	593.4	213.62	1.28	4.7	131.8

Tabela A.4
Dados de entrada para regressão múltipla

CITEIA	DIA	MÊS	ANO	EI ₃₀	IMED	VPA(10)	FCU(10)	D.E	PREC	IH
172	14	03	1988	6.4	7.0	489.8	20062.20	1.85	13.8	123.2
173	15	03	1988	46.8	19.3	561.0	1228724.64	1.56	31.3	130.2
174	19	03	1988	2.0	5.5	458.8	1835.20	1.25	7.3	131.5
175	21	03	1988	23.9	5.2	317.4	181302.05	4.81	24.2	125.3
176	23	03	1988	0.2	1.5	383.6	15.34	1.50	2.0	134.9
177	24	03	1988	21.8	5.2	331.8	157684.63	8.91	22.1	130.1
178	05	04	1988	22.8	20.2	0.0	0.00	1.88	22.1	82.2
179	08	04	1988	11.0	6.2	176.0	21296.00	10.13	16.4	90.2
180	12	04	1988	0.8	17.2	212.6	136.06	0.23	3.6	86.8
181	13	04	1988	38.1	12.9	212.8	308416.33	3.36	29.8	85.9
182	15	04	1988	0.4	1.0	398.8	73.73	7.00	7.1	104.4
183	19	04	1988	17.1	2.3	257.5	75119.54	10.18	23.0	95.3
184	20	04	1988	1.0	4.7	437.4	403.10	0.96	5.5	112.4
185	22	04	1988	8.4	4.5	354.4	24768.87	0.56	29.4	107.5
186	30	04	1988	13.6	27.8	149.4	27592.40	0.58	14.8	96.6
187	06	05	1988	7.3	11.7	106.0	5633.27	0.63	16.0	83.0
188	23	06	1988	.	26.6	8.0	0.00		34.3	12.0
189	09	07	1988	65.7	11.0	4.0	17271.21		55.1	24.0
190	13	07	1988	1.3	1.8	386.4	663.10		10.3	64.4
191	16	07	1988	0.5	1.0	403.6	85.40		5.7	74.0
192	25	07	1988	0.6	3.7	41.9	16.10		4.2	53.3