

RICARDO GERMANO KÜRTEH IHLENFELD

**OBTEHÇÃO DOS VALORES BÁSICOS DOS PARÂMETROS DE
ERODIBILIDADE DO MODELO WEPP, PARA UM LATOSSOLO
VERMELHO ESCURO ARGILOSO, ATRAVÉS DE
TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Mestre, do Curso de Pós-
Graduação em Agronomia, Setor de Ciências
Agrárias da Universidade Federal do Paraná.
Orientador: Prof. Dr. Marcos Luiz de Paula Souza

CURITIBA

1996

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO
"MESTRADO"

P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **RICARDO GERMANO KURTEN IHLENFELD**, com o título: **"Obtenção dos valores básicos dos parâmetros de erodibilidade do modelo WEPP de um Latossolo Vermelho Escuro Argiloso através de técnicas de otimização"** para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação com média 8,7 conceito **"B"** completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 29 de fevereiro de 1996.


Prof. Dr. Marcos Luiz de Paula Souza, Presidente.


Engo. Agro. Ph.D. Henrique Marinho Leite Chaves, I^o Examinador.


Prof. Dr. Iraci Scopel, II^o Examinador.

Ao Cleverson V. Andreoli, ao Dimas Clemente e ao Mário Sérgio Rasesa, exemplos de fé, trabalho e amor pela vida, minha profunda admiração

R. G. K. Ihlenfeld

À Juliane, que tem paciência para me acompanhar pelos caminhos mais difíceis, e ao Pedro, meu filho, dedico todo meu amor e minha esperança de uma vida sempre melhor

R. G. K. Ihlenfeld

SUMÁRIO

	LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vii
	RESUMO	viii
1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Mecânica da Erosão do Solo	5
2.2	Os modelos de predição de erosão e sedimentação	21
2.2.1	Síntese do processo de erosão e o uso de modelos de predição	21
2.2.2	USLE	23
2.2.3	RUSLE	25
2.2.4	WEPP	26
3	MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1	Local e descrição das parcelas-padrão utilizadas	37
3.2	Informações requeridas pelo modelo WEPP	38
3.3	Materiais	40
3.3.1	Materiais de campo	40
3.3.2	Materiais de escritório	41
3.4	Métodos	41
3.4.1	Metodologia de coleta e análise dos dados de campo	41
3.4.2	Metodologia de confecção dos bancos de dados	44
3.4.3	Procedimentos de construção dos arquivos de entrada dos dados	45
3.4.4	Otimizações	47
3.4.4.1	Simulações para otimização da umidade antecedente	47
3.4.4.2	Otimizações dos valores dos parâmetros de erodibilidade	48

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1	Resultados	52
4.1.1	Estimativa da umidade antecedente	53
4.1.2	Estimativa de K_i	55
4.1.3	Estimativa de K_r e τ_{auc}	56
4.1.4	Eficiência da calibração	56
4.2	Análise dos erros	58
4.2.1	Erros na eficiência da calibração	58
4.2.2	Erros nos dados de entrada do modelo	61
4.3	Possibilidades de uso do modelo WEPP	63
4.4	Sugestões para estudos futuros	64
	ANEXOS	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabelas

<i>Tabela 01 - Lista de Variáveis e Parâmetros requeridos pelo WEPP</i>	39
<i>Tabela 02 - Dados gerados pelo modelo (entre outros)</i>	40
<i>Tabela 03 - Intervalos dos Parâmetros utilizados nas simulações</i>	48
<i>Tabela 04 - Eventos utilizados nas simulações de otimização da umidade antecedente</i>	52
<i>Tabela 05 - Umidade antecedente estimada dos eventos na parcela 11 m</i>	53
<i>Tabela 06 - Umidade antecedente estimada dos eventos na parcela 11 m</i>	54
<i>Tabela 07 - Estimativa de K_i</i>	55
<i>Tabela 08 - Resultados da otimização de K_r e τ_{auc} estimados</i>	56
<i>Tabela 09 - Resultados das Simulações utilizando os parâmetros estimados</i>	57

Gráficos

<i>Gráfico 01 - Eficiência da Calibração</i>	57
<i>Gráfico 02 - Resultado da simulação do evento 56 da parcela 22 m</i>	59
<i>Gráfico 03 - K_r, τ_{auc} e perdas de solo calculadas do evento 30 da parcela 22 m</i>	60

RESUMO

Uma das formas mais eficientes de se estabelecer medidas de controle da erosão hídrica e conhecer os efeitos conjugados dos mecanismos naturais que atuam no seu processo, é a predição através de modelos matemáticos. Um destes modelos é o modelo WEPP - *Water Erosion Prediction Project*, eminentemente determinístico, baseado em estruturas físicas e matemáticas. Além da concepção física que lhe confere maior complexidade, este modelo diferencia-se dos demais por considerar, na dinâmica de destacamento, transporte e deposição, os processos de erosão em sulcos e entre sulcos, com três parâmetros de erodibilidade distintos: ***K_i***, erodibilidade entre sulcos; ***K_r***, erodibilidade em sulcos; e ***tauc***, tensão crítica de destacamento de partículas do solo pelo fluxo. A utilização do modelo na predição de erosão necessita da calibração destes três parâmetros de erodibilidade, que são intrínsecos a cada tipo de solo. Sua estimativa é, normalmente, feita através de chuvas simuladas. Porém o uso de técnicas de otimização em hidrologia tem sido comum e constitui-se em uma forma eficiente de estimativa de parâmetros em diversos tipos de modelos. A proposta deste trabalho foi a otimização para a calibração destes parâmetros para uma condição edafo-climática do Paraná, utilizando dados básicos de solo, topografia, clima e manejo de parcelas padrão sem cobertura do IAPAR - Instituto Agrônômico do Paraná, na cidade de Ponta Grossa. Os resultados apontam problemas para a calibração destes parâmetros em decorrência da própria estrutura do modelo. O valor encontrado de ***K_i*** na calibração foi de 562.500 Kg/s.m⁴. Embora a eficiência das calibrações tenha atingido o valor de 0,786, para os valores de ***K_r*** e ***tauc*** de 0,0236 s/m e 1,19 N/m², respectivamente, as diversas tentativas de calibração de ***K_r*** e ***tauc*** resultaram em múltiplas alternativas de combinação de valores destes parâmetros para uma mesma perda de solo de um evento e em todos os eventos, indicando que a eficiência encontrada é relativa, havendo necessidade de determinação de ***tauc*** a campo ou a alteração da estrutura do modelo (no parâmetro ***K_r***) para que as chuvas naturais possam ser utilizadas nas calibrações através de técnicas de otimização.

1 INTRODUÇÃO

Segundo RICHTER (1978), entende-se por erosão do solo todas as manifestações de desgaste e acúmulo que alteram o equilíbrio da paisagem acima de um limite naturalmente admissível. Estas manifestações são provocadas pelo homem e efetivadas pela ação da água, do vento e da força da gravidade (DERPSCH, 1990).

Freqüentemente, a erosão hídrica é aceita como um fenômeno inevitável associado à agricultura em terrenos declivosos. A perda de solo porém não é um fenômeno natural inevitável. Segundo LAL (1982), o surgimento de danos causados pela erosão em áreas cultivadas não é nada mais do que um sintoma de que para tal área do ecossistema foram empregados métodos de cultivo inadequados. Não é a natureza (relevo e intensidade de chuvas), mas sim os métodos irracionais utilizados pelo homem, os responsáveis pela erosão e as conseqüências nefastas causadas pela mesma. O agricultor pode, através de métodos de cultivo devidamente adaptados, controlar eficazmente o processo de erosão (DERPSCH, 1990).

O solo é um recurso não renovável a curto prazo e disponível somente em quantidades limitadas. O objetivo no controle da erosão é, portanto, manter o solo no seu lugar de origem, possibilitando, assim, uma produção agrícola duradoura e econômica e uma redução na sobrecarga do meio ambiente (DERPSCH, 1990).

Os trópicos e sub-trópicos são, devido aos regimes de chuvas reinantes, muito susceptíveis à erosão, não podendo portanto o solo permanecer desprotegido

por muito tempo, desprovido de cobertura vegetal e sujeito à intempéries (ANDEAE, 1965). A falta de compreensão do significado da erosão do solo sob condições úmidas e quentes, levou à erosão, degradação e perda de fertilidade do solo nos trópicos e sub-trópicos.

Em virtude da impossibilidade de se monitorar as diversas práticas de manejo agrícola ou rural, em todos os ecossistemas sob todas as condições climáticas, a predição de erosão é utilizada para avaliar práticas alternativas com estimativas dos prováveis impactos da erosão. A predição da erosão é mais amplamente utilizada e é a maior ferramenta para o delineamento e planejamento da conservação dos solos [...]. (LAFLEN et al., 1991).

A primeira geração de tecnologia de compreensão dos mecanismos de erosão, com o objetivo de preve-la sob diferentes condições determinantes do ambiente, foi marcada pela USLE (equação Universal de Perdas de Solo (WISCHMEIR & SMITH, 1978). É uma equação empírica baseada em mais de 10.000 anos-parcela (ROLLOF, 1991). Esse modelo empírico, que prevê a perda de solo anual em uma encosta agrícola, tem a seu favor a simplicidade da estrutura e o pequeno número de parâmetros para o seu funcionamento. Entretanto, por ser um modelo essencialmente empírico, sua transferibilidade é dificultada para regiões com reduzidas quantidades de dados, como os trópicos. Isso se deve à necessidades séries longas de dados, para que a estimativa de seus parâmetros seja confiável (CHAVES, 1991).

Com relação a previsão do aporte de sedimentos, importante para a determinação de impactos ambientais a jusante de pequenas bacias hidrográficas agrícolas, uma das modificações da USLE , conhecida como MUSLE (WILLIAMS, 1975) pode fazê-lo. Ao contrário da USLE, que fornece valores de perdas de solos anuais, a MUSLE foi desenvolvida para gerar aporte de sedimentos a exutórios de bacias hidrográficas, para cada evento erosivo (CHAVES, 1991).

Mais recentemente, com o advento de computadores eficientes, uma nova geração de modelos de erosão foi desenvolvida. Esses modelos, denominados determinísticos, se baseiam em princípios físicos e matemáticos, e representam um avanço com relação aos tradicionais modelos empíricos. Suas vantagens são, entre outras: (i) uma maior precisão das estimativas, e a possibilidade de utilização imediata de dados locais, como volumes e intensidades de chuvas, profundidade e textura dos solos, etc.; (ii) a previsão da distribuição espacial e temporal da erosão e sedimentação, a previsão do aporte e enriquecimento do sedimento; e (iii) a possibilidade de realizar simulações por evento, médias mensais, ou anuais, estas duas últimas sob a forma contínua (CHAVES et al., 1991).

Um dos modelos determinísticos de maior potencial para as condições paranaenses é o modelo WEPP, ou , Water Erosion Prediction Project (LANE & NEARING, 1989). Através da simulação contínua este modelo emula os processos que são importantes para a predição da erosão em função do tempo, e as conseqüências dos efeitos das decisões do manejo e do meio climático (CHAVES et al., 1989).

Mesmo sendo exigente em informações, ou seja, requerendo mais informações a respeito do meio onde se está utilizando, a validação é uma necessidade premente para a utilização desta ferramenta poderosa na avaliação dos impactos da erosão (LANE et al., 1989).

A determinação de alguns parâmetros empíricos, tais como os fatores de erodibilidade em e entre sulcos, podem, entretanto, ser ajustados através de técnicas de otimização, utilizando-se dados de parcelas-padrão, já disponíveis para vários solos no Brasil (CHAVES et al., 1991).

Não houve ainda no Brasil a tentativa de calibração dos parâmetros de erodibilidade do modelo WEPP. Assim, este trabalho teve por objetivo a calibração destes parâmetros através de técnicas de otimização. Utilizou-se o modelo WEPP, versão 9.15, opção perfil de encosta, em simulações de chuvas isoladas. Utilizou-se os dados disponíveis de clima, solo, relevo e manejo das parcelas-padrão da Estação experimental do IAPAR em Ponta Grossa, PR, em Latossolo Vermelho escuro distrófico, sob manejo convencional e solo descoberto.

Durante o transcorrer do trabalho, houve a necessidade de se determinar a umidade antecedente do solo para cada evento de chuva natural, através do ajuste dos escoamentos superficiais observados com os calculados pelo modelo, para viabilizar a calibração dos parâmetros de erosão. Isto constitui-se em um objetivo à parte que nos possibilita enriquecer a avaliação da predição tanto do escoamento superficial como das perdas de solo.

A utilização de programas computacionais acessórios, como ferramentas de manipulação das simulações para as otimizações, também contribuem para o desenvolvimento da área de utilização de modelos matemáticos de predição de perdas de solos para as nossas condições.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mecânica da Erosão do Solo

ELLISON (1946), estudando a Mecânica do Solo, definiu a erosão como um processo de desagregação e transporte de sedimentos, causada por agentes erosivos. Contudo, LAFLEN et al. (1991) adicionaram, também, o processo de deposição de sedimentos ao final do fenômeno, uma vez que as três fases devem ser consideradas na proposição do Water Erosion Prediction Project (WEPP). Por outro lado, em relação à erosão hídrica pluvial, o impacto da gota e o escoamento da enxurrada são os agentes que atuam contra as forças, como a gravitacional e coesiva, que agregam as partículas do solo (CARVALHO, 1992).

As maiores variáveis que influenciam a erosão são o clima, o solo, a vegetação e a topografia. Destes, a vegetação e muitos aspectos do solo podem ser controlados. Os fatores climáticos e topográficos, exceto o comprimento de rampa, estão além do poder do controle pelo homem (BARNES et al. 1981).

A erosão e a sedimentação pela água, envolvem processos de desagregação, transporte e deposição das partículas do solo (FOSTER, 1982). As maiores forças erosivas são o impacto das gotas da chuva e o escoamento nas superfícies, principalmente as cultivadas. Os fatores que afetam a erosão são expressas na equação abaixo (RENARD & FOSTER, 1983):

$$E = f(C, S, T, SS, M) \quad (01)$$

Onde: E = erosão; f = função de (); C = clima; S = propriedades do solo, T = Topografia; SS = condições da superfície do solo; e M = atividades humanas.

Os fatores climáticos que afetam a erosão são a precipitação, temperatura, vento, umidade e radiação solar. A temperatura e o vento manifestam diretamente seus efeitos sobre a evaporação e a transpiração. Todavia, o vento muda a velocidade das gotas da chuva e o ângulo de impacto. A umidade relativa e a radiação solar são um pouco menos diretamente envolvidos pois são associados com a temperatura (BARNES et al. 1981).

A chuva é um dos fatores mais importantes na erosão dos solos. O volume e a velocidade da enxurrada dependem da intensidade, duração e frequência da chuva. A intensidade é o fator mais importante. Quanto maior a intensidade de chuva, maior a perda por erosão. Dados obtidos por SUAREZ CASTRO (1956), revelam que para uma mesma chuva com 21 mm, uma intensidade de 7,9 mm/h produziu uma perda de terra cem vezes maior que uma de 1,0 mm/h (LOMBARDI & BERTONI, 1990).

A duração da chuva é o complemento da intensidade, e as duas determinam a chuva total. Quando inicia uma chuva de intensidade uniforme, a água se infiltra por um período mais ou menos longo, dependendo das condições da umidade do solo e sua intensidade. Depois começa a enxurrada, que vai aumentando em proporções cada vez menores até alcançar uma quantidade estável. Se os intervalos entre as chuvas (frequência) é curto, a umidade do solo é alta, as enxurradas são mais volumosas, mesmo com chuvas de menor intensidade. Quando os intervalos são maiores, o solo está seco, e não haverá enxurrada em chuvas de menor intensidade (LOMBARDI e BERTONI, 1990).

Segundo LOMBARDI & BERTONI, as gotas das chuvas têm um diâmetro e forma bastante variáveis, com um máximo de 7mm. Gotas com mais de 5 mm são instáveis e tendem a se deformar e dividir, por variações na pressão e resistência do ar.

A relação entre as características da precipitação, o escoamento superficial e as perdas de solo são complexas. Em um estudo compreensivo de 19 variáveis independentes, todas mensuradas as características da chuva ou a interação das características combinadas, a mais importante medida de força produtiva de erosão de uma chuva produzida, foi a energia da chuva com intensidade máxima de tempo de 30 minutos. Para o escoamento, foi a energia da chuva com precipitação antecedente de 24 horas (LOMBARDI e BERTONI, 1990).

A erosão pelas gotas da chuva é o salpico do solo resultante das gotas de água diretamente nas partículas do solo ou nas finas superfícies de água. Embora o impacto na água em correntes rasas não causar salpico de solo, causa turbulência, resulta no aumento da capacidade de transporte de sedimentos (BARNES et al. 1981).

Tremendas quantidades de solo são salpicadas para o ar, por diversas vezes. A quantia de solo salpicado para o ar em pequenas elevações mostram que são 50 a 90 vezes maiores que as perdas por lavagem. Em solo nu ela é estimada em mais de 224 ton./ha que são salpicadas para o ar através da força da chuva. A relação entre a erosão, o momento da chuva e a energia é determinado pela massa da gota da chuva, tamanho, distribuição do tamanho, forma, velocidade e direção (LANE et al., 1981). A energia cinética da chuva é função da massa e da velocidade terminal. A equação da energia da chuva, desenvolvida por WISCHMEIER & SMITH (1958) é:

$$E = 12,14 + 8,88 \log i \quad (02)$$

Onde: E = Energia cinética (ton.m / ha.mm), e i = Intensidade da chuva (mm/h)

As gotas da chuva que golpeiam o solo, contribuem para o processo erosivo pelo menos de três formas: (a) desprendem partículas do solo no local do impacto; (b) transportam por salpicamento as partículas desprendidas; e (c) imprimem energia, na forma de turbulência, à água superficial.

Erosividade da chuva é definida por HUDSON (1981), como a habilidade potencial da chuva em causar erosão. Neste conceito, a precipitação é um processo em que a energia potencial acumulada na atmosfera é transferida para o solo através das gotas da chuva. Esta energia é transformada em trabalho que toma a forma de erosão, dependendo as condições da superfície. A erosividade da chuva é controlada pelas características físicas da chuva e sua manifestação é essencialmente na interface superfície do solo - atmosfera. Interferem na erosividade o tamanho das gotas, a altura de queda, as condições de atrito e os movimentos da atmosfera e, conseqüentemente, a sua energia cinética (ROLLOF, 1986).

Em terras planas o impacto das gotas não é sério, mas em terras declivosas consideravelmente mais solo é destacado morro abaixo que morro acima. Isto pode acontecer tomando grandes proporções de erosão em uma rampa curta, mas íngreme (LOMBARDI e BERTONI, 1990).

Canais de erosão aumentam com o comprimento da rampa e mais seriamente na parte mais baixa no final da rampa, considerando-se que a erosão pela gotas da chuva ocorre em toda a área. Um efeitos do golpe de uma gota de chuva é a formação de crateras na superfície. Partículas destacadas movem-se

mais de 0,6 m em altura e 1,5 metros lateralmente em superfícies planas (LOMBARDI e BERTONI, 1990).

Os fatores que afetam a direção e a distância do destacamento do solo são a declividade da rampa, vento, condição da superfície e certos impedimentos ao salpico como a cobertura vegetal ou cobertura morta. Em terras declivosas o salpico move mais morro-abaixo do que morro-acima não porque percorrem maiores distâncias, mas porque o ângulo de impacto causa reação de destacamento na direção de morro-abaixo. Componentes como a velocidade alta ou declividade acentuada têm um importante efeito no movimento do solo através do destacamento. Rugosidade da superfície ou impedimentos ao salpico tendem a se opor aos efeitos da declividade e do vento. Se as gotas da chuva caem sobre resíduos de culturas ou plantas, a energia é absorvida e deste modo o destacamento do solo é reduzido. O impacto das gotas da chuva em solos descobertos não somente causam destacamento mas diminuem a agregação e deterioram a estrutura do solo. A lavagem de materiais finos resultam no que se chama de erosão laminar, no que também resulta no acúmulo de partículas grosseiras e fragmentos de rochas na superfície. Este efeito pode ter lugar com qualquer dos principais agentes erosivos, água ou vento. (LANE et al., 1981).

As propriedades físicas do solo afetam a capacidade de infiltração e a extensão que será disperso e transportado. Nestas propriedades que influenciam a erosão incluem a estrutura do solo, textura, matéria orgânica, teor de umidade e densidade ou compactação, bem como as características químicas e biológicas do solo. Contudo não apenas de uma característica ou índice resulta uma medida satisfatória para predição da erodibilidade (BARNES et al. 1981).

A Erodibilidade do solo é definida pela suscetibilidade do solo à erosão, controlada pelas características intrínsecas a este (ROLLOF, 1991). Na USLE a erodibilidade é definida pela relação:

$$K = A / R \quad (03)$$

Onde: K = Erosividade, A = perda de solo por unidade de área. tempo (mt.ha.ano¹), R = fator de chuva e escoamento superficial (ha.MJ.mm⁻¹).

No WEPP a erodibilidade básica do solo é tomada sem cobertura. Considera-se três parâmetros de erodibilidade: K_i (erodibilidade entre sulcos), K_r (erodibilidade em sulcos) e $tauc$ (tensão crítica de destacamento de partículas).

As fisionomias topográficas que influenciam a erosão são a declividade da encosta, o comprimento da rampa e o tamanho e forma da superfície de escoamento. Em encostas íngremes altas velocidades causam erosões sérias através da lavagem e transporte de sedimentos (BARNES et al. 1981).

Os maiores efeitos da vegetação na redução da erosão são: (1) interceptarão da chuva através da absorção da energia do impacto das gotas e redução do escoamento, (2) retardamento da erosão através da diminuição da velocidade na superfície, (3) é uma limitação física a movimentação de solo, (4) melhora a agregação e a porosidade do solo pelas raízes e resíduos das plantas, (5) incrementa a atividade biológica no solo, e (6) com a transpiração, decrescendo a umidade do solo, resulta num aumento da capacidade de armazenamento de água. Estas influências da vegetação variam com as estações do ano, colheitas, diferenciação da maturidade, solo e clima, bem como com a espécie do material vegetal, a saber: raízes, copa das plantas, e resíduos culturais (BARNES et al. 1981).

DERPSCH, R. et al. (1990), observa que a cobertura do solo por plantas ou resíduos culturais, através das práticas de manejo do solo, são importantes porque viabilizam uma maior infiltração de água no solo, e portanto, menor escoamento superficial e dos efeitos da erosão.

O conceito de erosão laminar tem sido definido como o movimento uniforme de solo em finas camadas em terras inclinadas, resultado do escoamento laminar ou superficial em pequenas camadas. Estudos fundamentais correntes dos mecanismos da erosão, utilizando-se técnicas de fotografia rápida em que dois lapsos de tempo, tem indicado que esta forma idealizada de erosão raramente ocorre. Instantaneamente o escoamento toma lugar com o primeiro destacamento e movimento de partículas do solo. O constante meandramento e troca de posição destes microscópicos canais obscurecem a presença da observação normal, por isto estabelece um falso conceito de erosão laminar (LANE et al., 1981).

O impacto das gotas da chuva combinados com o escoamento superficial inicialmente causam estes canais microscópicos de escoamento. Na erosão, a energia terminal das gotas das chuvas são mais importantes porque as gotas tem velocidades entre 6 e 9 m/s, enquanto que o escoamento superficial tem velocidades entre 0.3 e 0.6 m/s. As gotas das chuvas causam o destacamento das partículas do solo e o sedimento acrescentado reduz a taxa de infiltração pelo selamento dos poros do solo (LANE et al., 1981).

HORTON (1933) definiu a capacidade de infiltração como a velocidade máxima com que a chuva pode ser absorvida por dado solo, em determinada condição; e NEAL (1938) descreveu o conceito de infiltração sob o princípio de que ela diminui durante a duração da chuva.

A infiltração é o movimento da água para dentro da superfície do solo. Quanto maior sua velocidade, menor a intensidade da enxurrada na superfície e, conseqüentemente, reduz-se a erosão. O movimento da água é realizado por forças de gravidade e capilaridade. O movimento da água através dos grandes poros, em solo saturado, é devido a gravidade; e em solo não saturado pela capilaridade. As velocidades de infiltração inicial e final, assim como o tempo para atingir a última, variam grandemente, dependendo de vários fatores. BEUTNER et al. (1940)

mostram curvas típicas de infiltração que exibem larga variação, dependendo sobretudo do solo, umidade antecedente e condição da superfície.

KLUTE (1952) definiu a infiltração em solos não saturados através da seguinte equação diferencial:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} (Kg) \quad (04)$$

Onde: θ = quantidade de água em volume por unidade de solo; K = condutividade hidráulica não saturada; ϕ = potencial matricial capilar; g = constante gravitacional; z = coordenada na direção vertical, e t = tempo.

A solução analítica desta equação não é facilmente obtida porque tanto K como ϕ são funções de θ . São utilizadas soluções gráficas para este problema, ou a solução numérica torna-se mais prática através de computadores.

HORTON (1939) descreveu a seguinte equação para ajustar uma grande variedade de curvas-padrão de infiltração:

$$f = f_c + (f_o - f_c) e^{-kt} \quad (05)$$

Onde: f = velocidade de infiltração; f_c = valor constante de f para o qual a curva fica assintótica com o tempo; f_o = valor inicial de infiltração; e = base dos logaritmos naturais; k = constante (função do solo); e , t = tempo decorrido desde o início da chuva.

Quando o solo é exposto diretamente ao impacto das gotas da chuva, é comum a ocorrência de uma crosta superficial, formada pela compactação causada pelo impacto das gotas na ausência de água livre na superfície e/ou pelo bloqueio dos poros de transmissão conectados à superfície. Este bloqueio é causado por partículas transportadas pelo fluxo de infiltração e predominantemente provenientes da desagregação devido ao impacto das gotas. Assim criam-se três camadas horizontais distintas (McINTYRE, 1958): (1) uma fina camada com condutividade hidráulica muito baixa (e.g. $K_s = 5 \times 10^{-6}$ mm/s), (2) uma camada de material desagregado (e.g. $K_s = 5 \times 10^{-5}$ mm/s), e (3) o solo não perturbado abaixo (e.g. $K_s = 10^{-2}$ mm/s). A infiltrabilidade em condições de equilíbrio é controlada pelo menor K_s do perfil (BOUMA, 1971) e, no exemplo acima, o solo sob a crosta não atingiria a saturação, supondo uma crosta contínua na superfície. Áreas com solo superficial raso e solto depositados sobre subsolo compacto são mais susceptíveis à erosão. A força erosiva e de transporte em escoamento laminar são funções da espessura e velocidade do escoamento, para um dado tamanho, forma e densidade de partícula ou dos agregados do solo (ROLLOF, 1986).

Segundo RAWLS et al. (1989), no modelo WEPP a taxa de infiltração é calculada utilizando-se a solução da equação de *Grei* e *At*, para precipitações variáveis como apresentada por CHU (1978). A equação original é derivada de lei de Darcy assumindo a infiltração em uma poça superficial em profundidade, com umidade volumétrica constante em um solo homogêneo. A infiltração da água é assumida como movimento descendente no perfil do solo como um canal de escoamento em uma fina divisão do solo molhado entre a frente de molhamento e o solo não molhado logo abaixo (SKAGGS & KHALEEL, 1982).

As diferentes práticas de preparo do solo resultam em diferentes distribuições do tamanho dos agregados na superfície do solo (HADAS et al. 1978; DEXTER et al., 1983). A estabilidade dos agregados e a energia cinética cumulativa da chuva (que pode ser dada pela precipitação acumulada após o preparo do solo) controlam a mudança nas propriedades hidráulicas da superfície (RAWITZ e

HASAN, 1978; DEXTER et al., 1983). O processo de desintegração dos agregados é iniciado pelo molamento. A velocidade com que a água penetra no agregado depende do seu tamanho (GUMBS e WALKENTIN, 1976), conseqüentemente agregados grandes se desintegram mais vagarosamente que agregados pequenos (COGO et al., 1983).

Sistemas de preparo do solo que mantêm a maior parte do solo coberta por resíduos evitam a formação de uma crosta contínua devido a proteção contra os impactos das gotas (ROLLOF, 1986). Em áreas sob o plantio direto a vários anos, a proteção pelos resíduos e o alto grau de continuidade dos macroporos pode reduzir em até 95% o volume da água que escorre superficialmente (EDWARDS, 1982). Os efeitos negativos da crosta podem também ser minimizados pela presença de minhocas, que resulta em uma maior proporção de agregados mais resistentes na superfície e um grande número de macroporos conectados à superfície e contínuos até a profundidades consideráveis (KLAVIDKO et al., 1986).

A erosão em sulcos é a remoção de solos por pequenos mas bem definidos canais ou um regato quando há concentração de escoamento superficial. Convencionalmente a erosão em sulcos ocorre quando estes canais são suficientemente grandes e estáveis e podem ser observados à olho nu. Os sulcos são suficientemente pequenos de forma que são facilmente removíveis com operações normais de preparo do solo. Embora a erosão em sulcos ser muitas vezes despercebida, esta é a forma de erosão que mais ocorre. Destacabilidade e transportabilidade em erosão em sulcos são mais sérias porque ocorrem em altas velocidades de escoamento. Erosão em sulcos são mais severas em chuvas intensas que ocorrem sobre solos que possuem características que produzem altos índices de escoamento superficial e material solto e raso na superfície (BARNES et al. 1981).

YOUNG & WIERSMA (1973) estudaram os efeitos que a chuva e a enxurrada desempenham sobre a desagregação e o transporte do solo, em condições de alqueive e com chuva simulada. Desta forma, observaram que o impacto da chuva e a enxurrada possuem, respectivamente, elevado e baixo poder de desagregação do solo nos entre sulcos. Por outro lado, foi também observado que o impacto da chuva e a enxurrada possuem, respectivamente, baixo e elevado poder de transporte do solo nos sulcos. Assim, concluiu-se que o elevado poder de transporte que a enxurrada possui no sulco foi atribuído tanto a velocidade como a altura da lâmina d'água, que foram, respectivamente, 7 e 50 vezes maiores, quando comparadas àquelas das áreas entre sulcos.

O salpico da gota normalmente é responsável por uma pequena parte de solo transportado (YOUNG & WIERSMA, 1973; MUTCHLER & YOUNG, 1975; MEYER et al., 1975). Por outro lado, MEYER et al. (1975) estabeleceram que, nas áreas onde o sulcamento é moderado ou escasso, a porcentagem do total da erosão entre sulco, que é salpicada diretamente aos sulcos, é proporcional a área sulcada. Além disso, quando o solo estiver densamente vegetado o movimento de partículas devido ao salpico é insignificante.

O processo de erosão-sedimentação do solo envolve a desagregação, transporte e deposição de suas partículas. Assim, ele é normalmente iniciado quando as gotas da chuva atingem a superfície do solo desnudo. O poder explosivo do impacto da gota é altamente desagregador das partículas contidas na massa o solo, que são salpicadas em todas as direções. Contudo, a massa salpicada possui, via de regra, movimento líquido no sentido do declive (MEYER et al., 1975).

MEYER et al. (1975) dividiram o processo de erosão do solo em erosão entre sulcos e em sulcos, de acordo com a origem do sedimento erodido. FOSTER & MEYER (1975) mostraram que tal divisão foi muito útil na simulação matemática do processo. Além disso, para a condução de pesquisa afim, foi possibilitada uma

distinta separação da origem do solo erodido, vindo dos seguintes locais: parte mais superficial do entre sulco e parte mais profunda do sulco.

Em solos desnudos o escoamento superficial se concentra de forma rápida, principalmente se o solo for pouco rugoso ou possuir elementos que promovam a referida concentração, tais como: marcas de cultivo, pequenas depressões no relevo e marcas de erosão prévia. Assim, dois regimes de escoamento concentrados são identificados: entre sulcos e em sulcos. O escoamento em sulcos torna-se turbulento, muito rapidamente, devido a formação da enxurrada (FOSTER, 1971).

Nos entre sulcos, os inúmeros efeitos do impacto da gota são fatores dominantes da desagregação e, portanto, da taxa de erosão do solo. A delgada película de escoamento formada nessas áreas possui baixa capacidade de desagregar e transportar sedimentos na ausência de impacto da gota. Contudo, na presença de tal impacto, a capacidade de transporte do escoamento entre-sulco é enorme. Conseqüentemente, a maior parte das partículas desagregadas e transportadas são feitas, muito mais rapidamente, pelo escoamento entre sulco do que pelo salpico (MEYER et al., 1975).

O destacamento do solo na rede de canais é calculada quando a tensão hidráulica de destacamento ultrapassa o valor da tensão crítica de destacamento do solo e quando o sedimento é menor do que a capacidade de transporte de sedimentos pelo fluxo.

Em solos coesos, a capacidade de transporte do escoamento em sulcos é muito maior do que a capacidade de desagregação. Porém, em solos não coesos ou em locais onde a capacidade de transporte diminui consideravelmente, o sedimento transportado pode se aproximar da capacidade de transporte. Quando isto ocorrer, a capacidade de desagregação do escoamento será reduzida. Se o sedimento

transportado exceder a capacidade de transporte, ocorre deposição (desagregação negativa). A taxa de deposição dependerá - na relação entre a capacidade de transporte e sedimento transportado - do local em que o fenômeno esteja ocorrendo. Portanto, ocorre decréscimo da capacidade de transporte quando o declive tender a ficar plano, aumentar o escoamento do canal, ocorrer alargamento, ou quando o escoamento for retardado pela presença de resteva ou vegetação (MEYER et al., 1975).

Segundo MEYER et al. (1975), conceitualmente a chuva é infiltrada até quando a capacidade de infiltração do solo exceder a intensidade da mesma. Assim, logo que a intensidade supera a capacidade de infiltração, o excesso de água começa a se empilhar, devido às pequenas depressões do relevo. Aumentando ainda mais a intensidade é desencadeado o escoamento da enxurrada, que no início flui, normalmente, por uma curta distância de rasa profundidade, e que é chamado de escoamento entre sulco. Por outro lado, como o escoamento move-se no sentido do declive, ele tende a se concentrar no solo, devido às marcas de cultivo, pequenas depressões no relevo ou à erosão prévia. Portanto, tal concentração define a formação do sulco, assim como, a sua enxurrada é chamada de escoamento em sulco.

O salpico da gota é o primeiro agente desagregador e transportador do solo dos entre sulcos. Sobre um solo saturado, na ausência de vegetação e da lâmina d'água, a desagregação é originada da dissipação da energia de impacto. O solo é muito pouco transportado aos sulcos pelo salpico. Contudo, o primeiro meio de transporte para tais locais é o finíssimo escoamento superficial, que é acelerado pela velocidade de impacto da gota. Provavelmente, os efeitos do impacto da gota estão presentes nos sulcos. A importância dos sulcos e entre sulcos, como fonte de sedimentos, obviamente depende do tamanho e número de sulcos presentes. A enxurrada e o sedimento possuem o mesmo caminho, das áreas não sulcadas para as sulcadas, por conseguinte, avolumando o curso d'água. Tal fato justifica a raridade do verdadeiro escoamento laminar. A perda de solo em um sulco é

determinada em primeira instância, pelas partículas oriundas do impacto da gota. Seguidamente, pelo transporte destes aos pequenos sulcos. Conseqüentemente, o sulco principal pode progredir ao voçorocamento, que pode ser a principal fonte de sedimentos de uma bacia hidrográfica. Também, é muito improvável que o salpico possua efeito significativo sobre a origem de sedimento, às margens ou no leito de um sulco (MUTCHLER & YOUNG, 1975).

As características da enxurrada são dominantes e, portanto, determinam a velocidade de ocorrência da erosão em sulcos. Esta erosão é iniciada quando, em um local qualquer do declive, o potencial erosivo do escoamento exceder a capacidade de resistência dos agregados do solo. Uma vez iniciado o sulcamento, o escoamento concentrado tende a aumentar o potencial de desagregação nas suas adjacências, prosseguindo o processo. O desenvolvimento dos sulcos progride, no sentido do aclave, devido ao elevado poder erosivo que o turbilhonamento possui. Sucessivos turbilhonamentos aparecem ao longo do sulco, sendo elevada a erosão de cada um, desencadeando, portanto, um processo de encachoeiramento. Assim, quando existir turbilhonamento, tal fato contribui com a maior porção de perda de solo no sulco. Contudo, a erosão em sulcos pode ocorrer na ausência de enormes turbilhonamentos, através do aumento do comprimento do sulco, que é proporcional ao comprimento do declive.

A erosão em canais (voçorocas) produz canais maiores que em sulcos. Estes canais conduzem água durante e imediatamente depois das chuvas, e, são distinguidas dos sulcos, por não serem removíveis por operações de preparo do solo. Deste modo, a erosão em canais se constitui em um avançado estágio da erosão em sulcos muito maior que a erosão em sulcos é um avançado estágio da erosão laminar (LANE et al.1981).

O grau de erosão em canais depende na produção de escoamento superficial das características do escoamento da água, da drenagem da área, das

características do solo, do alinhamento, tamanho e forma dos canais, e da declividade do canal (LANE et al.1981).

O crescimento de canais passam por processos que tomam lugar, simultaneamente ou durante, diferentes períodos de desenvolvimento. Estes processos são: (1) queda d'água na cabeceira do canal, (2) canal de erosão causado pelo escoamento da água diretamente no canal ou pelo impacto das gotas em solo não protegido, (3) alternados congelamentos e descongelamentos de aterros de solos expostos, (4) escorregamentos ou movimentos de massa no canal. Quatro estágios de desenvolvimento de canais são geralmente reconhecidos:

- *Estágio 1:* Formação de canal por rebaixamento do solo da superfície. Este estágio normalmente se processa lentamente onde o solo em superfície é proporcionalmente resistente a erosão.
- *Estágio 2:* Movimentação à montante da cabeceira do canal aumentando-o em largura e profundidade. O canal corta o horizonte C, e o material mais fraco é removido. Há um desenvolvimento de diversas quedas d'água onde o escoamento do segmento a montante submerge desgastando abaixo do canal (em profundidade).
- *Estágio 3:* O estado de cicatrização com vegetação que começa a crescer no canal.
- *Estágio 4:* A estabilização do canal. O canal alcança um gradiente estável, alcança um talude estável em uma declividade estável, e a vegetação começa a crescer em suficiente abundância para proteger o solo e permitir o desenvolvimento de nova camada superficial do solo. O estágio de cicatrização é um prelúdio necessário para a estabilização em outro nível (LANE et al.,1981).

Durante os dois últimos estágios a cabeceira do canal que progredia para cima no final do escoamento superficial, a taxa de escoamento dentro da cabeceira

do canal diminui porque a área de drenagem se reduz. O remanescente do escoamento entra em diversos pontos ao longo do comprimento do canal.

A estimativa e a predição do desenvolvimento do canal é difícil porque os fatores não são bem definidos e os dados de campo do processo de formação do canal são inadequados. Através de fotografias aéreas e vistorias topográficas a campo, BEER & JOHNSON (1963) desenvolveram uma equação de predição para a região baixa de *Loess* em oeste de *Iowa*.

Dos vários sistemas de classificação, um deles, é baseado em uma classificação arbitrária do tamanho dos canais e a drenagem das áreas. Outro sistema classifica canais em relação às seções transversais. As seções transversais podem ter forma de V ou de U, dependendo das condições climáticas e do solo, idade do canal, e o tipo de erosão. Canais em forma de U podem ser encontrados em regiões baixas e vales aluviais onde tanto a camada superficial como a sub-superficial do solo são igualmente erodidas. Sob estas condições os canais tendem a desenvolver taludes verticais que resultam de solapamento e colapso de aterros. A lavagem do solo por escoamento superficial concentrado em depressões não protegidas resultam em canais com seções em V, tendo cabeceiras declivosas. Muitos canais podem se desenvolver onde o sub-solo é resistente à erosão. Ambas as seções em V e em U são comumente encontradas num mesmo canal. Uma classificação mais precisa baseada na forma do canal tem sido proposta por IRELAND et al. (1939).

Tanto quanto a cabeceira dos canais trabalham, a maior porção ativa do canal é próximo a parte superior ou da cabeceira do canal, enquanto que a maior seção de estabilidade do canal é geralmente próximo a baixada final. Canais ativos são canais que continuam a alargar. Eles devem ser identificados pela presença de solo descoberto em locais declivosos (LANE et al., 1981).

2.2 Os modelos de predição de erosão e sedimentação

"Nos E.U.A. uma das primeiras tentativas de calcular a perda de solos foi uma equação proposta por ZINGG (1940) que relaciona a perda de solos com o gradiente de declividade e comprimento de rampa. Porém, o primeiro e principal modelo de erosão de solos que depois foi, e ainda hoje, largamente utilizado em muitas partes do mundo é a solo Equação Universal de Perda de Solo (WISCHMEIER e SMITH, 1960). Desde a sua apresentação à Sociedade Internacional de solo Congresso de Ciência em Madison, Wisconsin em 1960, o modelo foi refinado para incluir sistemas de cultivo e fatores de manejo de solos para o E.U.A. oriental, informações mais precisas de erosividade de chuva e métodos para predizer erodibilidade de solos de solos. A equação foi modificada e foi utilizada em várias áreas, como a Europa, Índia, Austrália, e Brasil. Foi exibido em várias formas, mas sua base é descrita em WISCHMEIER e SMITH (1978). Modelos baseados em processos físicos foram desenvolvidos mais recentemente, para propósitos específicos e foram incluídos componentes de erosão como CREAMS (KNISEL, 1980), EGEE (WATSON et. al., 1986)", *EPIC (WILLIAMS et al., 1984; SHARPLEY e WILLIAMS, 1990) e WEPP (FOSTER e LANE, 1987).* (NEARING et. al., 1998).

2.2.1 Síntese do processo de erosão e o uso de modelos de predição

A condição de erosão entre-sulco e em sulco ganharam grande aceitação porque eles podem ser descritos quantitativamente. A denominada erosão laminar é a perda uniforme de solos em uma fina camada superficial de uma área relativamente extensa, o que raramente ocorre. Porém, parece acontecer porque o sulco causado pela enxurrada é coberto (alisado) através das práticas de manejo.

Os efeitos da "erosão laminar " são visíveis na turbidez das águas e nas superfícies mais baixas do terreno.

A erosão entre-sulco é causada principalmente pelo impacto das gotas de chuva e um tênue filme de fluxo na superfície entre os sulcos. Sua ação é a mesma em todas as posições da rampa. A erosão em sulco é causada principalmente através do escoamento superficial. Com as águas superficiais, concentra-se progressivamente ao longo do sulco a medida em que avançam no sentido da declividade, sendo assim mais facilmente percebida. Desta forma, enquanto a erosão em sulcos é mais facilmente percebida, a erosão entre-sulcos, gerada pelo impacto das gotas das chuvas, é muito maior.

A erosão (bem como a sedimentação) são processos não uniformes, instáveis com o fluxo e a sedimentação, que ocorrem simultaneamente. As forças que causam a erosão hídrica podem ser categorizadas como: (a) forças de ataque; (b) forças de resistência.

As forças de ataque são as que causam o destacamento e o transporte de partículas. Uma determinada massa de água, gotas de chuva e velocidade de escoamento possuem energia para causar erosão.

As forças de resistência tendem a estabilizar os solos (por aumento da adesão e/ou coesão) ou reduzir a magnitude das forças de ataque (aumento da infiltração, aumento da rugosidade, proteção de cobertura, etc.) A vegetação é essencialmente importante na interceptação da energia da chuva, contenção da movimentação de partículas de solo, melhoria da infiltração, diminuição da velocidade de escoamento superficial e melhoria dos agregados do solo.

2.2.2 USLE

O controle efetivo da erosão de solos requer uma habilidade para prever a quantidade de perda de solos que aconteceria sob determinadas condições (quantificadas) de práticas de manejo. Sem dúvida, o modelo com maior aceitação e uso é a USLE - Equação Universal de Perdas de Solos (WISCHMEIER & SMITH, 1954). Enquanto novos métodos estão sendo disponibilizados, a maioria deles ainda é fundamentado nos princípios introduzidos pela USLE; assim, o entendimento destes princípios é fundamental.

A perda de solos "A" da USLE, em t./acre, é o produto de seis fatores causais da erosão:

$$A = R K L S C P \quad (06)$$

Onde: R = Índice de erosividade da chuva; K = fator de erodibilidade do solo; L = fator comprimento de rampa; S = fator declividade; C = fator de cobertura e manejo; e, P = fator práticas de conservação.

O fator R caracteriza o nível das forças de ataque causadoras da erosão, enquanto os outros fatores caracterizam o nível de resistência.

Valores para vários fatores (exceto o K) foram baseados em uma análise estatística de dados de uma coleção de diversos cenários. O fator K ($K = A / R$) era determinado experimentalmente sob as seguintes condições: S = 9%; L = 72,6 pés; C = alqueive; e, P = 1 para condição de cultivo morro-abaixo.

Descrição dos fatores

Fator R - fator das chuvas:

Adequadamente chamado de índice de erosividade, é calculado estatisticamente da adição anual da energia da chuva, em relação com o tamanho de gotas, com intensidade máxima no tempo de 30 minutos. Empiricamente este índice, EI_{30} , foi encontrado por ter correlação alta com erosão de solos em áreas experimentais. Como é de se esperar, varia geograficamente, mas sua distribuição sazonal também é importante para calcular os valores do fator C.

Fator K - fator de erodibilidade dos solos:

Este fator quantifica o caráter de adesão de um tipo de solo e sua resistência ao destacamento e transporte (dependente do tamanho e densidade de partícula) devido ao impacto das gotas de chuva e as forças de destacamento de partículas do solo. São valores tabelados experimentalmente ou calculados em função de algumas propriedades dos solos.

Fator LS - fator topográfico:

Rampas mais íngremes produzem maiores velocidades de fluxo. Rampas mais longas acumulam escoamento superficial de áreas maiores e também resultam em maiores velocidades de fluxos. Assim, ambos contribuem para o aumento do potencial erosivo, mas de forma não linear. Por conveniência freqüentemente são agrupados em um único fator, LS.

Fator C - fator de cobertura e manejo:

Este fator que expressa a relação esperada entre as perdas de solo de uma gleba qualquer, cultivada sob determinadas condições, e as perdas de uma parcela mantida continuamente descoberta, onde as operações de cultivo são

realizadas. Ele representa a redução da erosão em função d combinação e seqüência das culturas, biomassa produzida, das práticas de manejo e das fases de desenvolvimento das culturas em relação aos períodos de chuva e sua sazonalidade.

Fator P - fator práticas de conservação:

É a relação entre a perda de solo esperada utilizando uma determinada prática de conservação e a perda sob cultivo morro-abaixo. As práticas incluídas neste fator estão o cultivo em contorno, cultivo em faixas, plantio em nível, etc.

2.2.3 RUSLE

A RUSLE - Equação Universal de Perdas de Solos Revisada, fundamenta-se extensivamente no modelo da USLE e seus dados, oferecendo várias melhorias aos usuários da USLE. Cada valor de fator foi atualizado, ampliado e melhorado.

O índice de erosividade de chuva R contém mais informações e informações mais precisas ao longo dos Estados Unidos, e a habilidade para calcular o efeito do empocamento no processo de erosão pelas gotas de chuva

O K fator erodibilidade dos solos contém dados de erodibilidade mais significativos de várias regiões do mundo, de diferentes tipos de solos, diâmetros de partículas, e a presença de fragmentos de pedra ajustada para responder ao ciclo de geada - degelo e umidade.

LS fator topográfico possui a habilidade de predizer a perda de solos em declividades complexas, aplicando funções diferentes, baseado na quantificação relativa da erosão de escoamento canalizado e entre-sulcos.

O fator C considera sistemas de cultivo, como preparo conservacionista e rotação de culturas e leva em consideração o uso anterior do solo, cobertura de palha, cobertura da superfície e rugosidade da superfície;

O fator P determina o efeito da colheita, do cultivo em contorno e também práticas de conservação aplicadas em pastagens

Assim como a USLE, a RUSLE só é aplicável a uma área independente de cursos d'água ou canais. Não calcula a erosão em canais e a deposição. São algoritmos simples e são considerados como modelos "caixa-preta", por estarem baseados na causa-efeito.

2.2.4 WEPP

O objetivo do WEPP, é "o desenvolvimento de nova geração de tecnologia de previsão da erosão hídrica, para uso do USDA - Soil Conservation Service, USDA - Forest Service, e USDI - Bureau of Land Management, e outras organizações envolvidas na conservação do solo e água e planejamento e avaliação ambiental" (FOSTER, 1987).

Esse modelo incorpora os processos hidrológicos fundamentais de precipitação, infiltração e escoamento superficial e os processos erosivos básicos de destacamento, transporte e deposição. Com o WEPP pretende-se substituir a USLE (WISCHMEIER & SMITH, 1978), cuja estrutura essencialmente empírica limitava sua capacidade preditiva e seu potencial de aprimoramento (FOSTER, 1987).

O WEPP pode ser utilizado de três formas: simulações em encosta, simulações de bacia e simulações de grid.

O modelo WEPP é um programa elaborado em FORTREN-77, com cerca de 120.000 linhas de programa e 100 sub-rotinas. O modelo pode ser conceitualmente dividido em seis componentes: (i) um gerador de clima; (ii) componente de hidrologia; (iii) componente de crescimento de plantas; (iv) componente de solos; (v) componente de erosão/deposição; e, (vi) componente de irrigação. (CHAVES, 1994).

A rotina de geração de clima (NICKS & LANE, 1989) é capaz de gerar séries sintéticas de dados climáticos para uma localidade específica, usando como base dados históricos. Esses dados incluem o volume, a intensidade a duração e a frequência de precipitação, as temperaturas mínimas e máximas diárias, a radiação solar, entre outros.

O componente de hidrologia do modelo (HERNANDEZ et al., 1989) calcula a infiltração, o balanço hídrico diário, o escoamento superficial, a evapotranspiração e a percolação profunda. A infiltração é calculada através da equação de Green-Ampt e a rotina que calcula a enxurrada é baseada na equação de onda cinemática. Assim, a infiltração e a enxurrada são calculadas ao longo de toda a vertente de interesse, ao longo do evento. Na resposta a rotina hidrológica, o modelo gera o volume total de enxurrada produzida no evento e a razão de pico.

O componente de erosão do modelo se baseia na equação de continuidade de sedimento, simplificada por FOSTER (1982), dada por:

$$\left(\frac{\partial(ch)}{\partial t}\right) + \left(\frac{\partial G}{\partial x}\right) = Di + Df \quad (07)$$

onde: c = concentração de sedimentos (kg / m^3); x = distância (m); h = profundidade do escoamento (m)

O modelo WEPP divide a resistência hidráulica do escoamento e sua ação no solo e na cobertura utilizando o fator de fricção de Darcy-Weisbach (f). A relação entre o fator de fricção total (f_t) é:

$$f_t = f_s + f_r + f_c \quad (08)$$

onde: f_s = fator de fricção do solo; f_r = fator de fricção da rugosidade; f_c = fator de fricção da cobertura

O fator de fricção total (f_t) é utilizado para calcular o coeficiente de descarga (α):

$$\alpha = \left(\frac{8gS}{f_t} \right)^{0.5} \quad (09)$$

Este coeficiente é utilizado para calcular a descarga por unidade de largura (q em m^2 / s):

$$q = \alpha h^{1.5} \quad (10)$$

onde: h = profundidade do escoamento (m)

As variáveis q e h são integradas em relação ao tempo (t) e a distância da encosta (x) assumindo que a declividade da fricção é igual a declividade do terreno através da equação de onda cinemática:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r - f \quad (11)$$

onde: r = intensidade da chuva (m / s); e, f = taxa de infiltração (m / s)

Nesta equação diferencial, a variação da carga de sedimento, ao longo da vertente e ao longo do tempo, é diretamente proporcional à contribuição da erosão laminar e a erosão em sulcos, e inversamente proporcional à diferença entre a carga de sedimentos no ponto e a capacidade de escoamento. A vantagem da utilização deste enfoque é a possibilidade de estimar a distribuição espacial e temporal da erosão e da deposição, a incorporação da variação de propriedades do solo, das culturas e as diferentes práticas de manejo ao longo do tempo e do espaço. (CHAVES, 1994).

Assumindo a condição de equilíbrio (*steady state*) para a concentração de sedimentos, a expressão se reduz para:

$$\left(\frac{\partial G}{\partial x}\right) = Di + Df \quad (12)$$

Para avaliação da taxa de erosão entre-sulcos (Di), em função da erodibilidade entre sulcos (Ki), cobertura do solo e intensidade de chuva, o modelo utiliza a seguinte equação:

$$Di = Ki I^2 C_e G_e \left(\frac{R_s}{w}\right) \quad (13)$$

onde: Di = taxa de erosão entre-sulcos; Ki = erodibilidade entre-sulcos (Kg/s.m^4); C_e = efeito da cobertura vegetal na erosão entre sulcos; G_e = efeito da cobertura da superficial do solo sobre a erosão entre sulcos; R_s = espaçamento dos canais (sulcos ou drenagem); w = profundidade dos sulcos.

Quando a capacidade de transporte (Tc) é maior que a taxa de destacamento a erosão ocorre, e a taxa de destacamento (Df) é calculada por:

$$Df = Dc \left(1 - \frac{G}{Tc}\right) \quad (14)$$

onde: D_f = taxa de destacamento em sulco (Kg / m² / s); T_c = capacidade de transporte de partículas (Kg / m / s); G = fluxo de sedimentos (Kg / m / s)

A deposição é modelada como perda negativa de solos. Se a capacidade de transporte é menor que o destacamento, a deposição ocorre e a taxa de deposição D_f é calculada por:

$$D_f = \left(\beta \cdot \frac{V_f}{q} \right) (T_c - G) \quad (15)$$

onde: D_f = velocidade do escoamento (m/s); β = parâmetro de turbulência = 0.5;
 q = descarga por unidade de largura (m² / s)

A capacidade de transporte é computada através da equação de YALIN, em que é ajustada utilizando a relação de FOSTER e MEYER (1975): $T_c = B r^{3/2}$

Quando a taxa de infiltração é excedida pela taxa de precipitação, e é calculada através da equação de Green-Ampt. Similarmente a capacidade de destacamento (D_c) em sulcos de escoamento é:

$$D_c = K_r (\tau - \tau_{c}) \quad (16)$$

onde: D_c = capacidade de destacamento (Kg/m² s); K_r = erodibilidade em sulcos (s / m); τ = tensão média de destacamento de partículas em sulco (N/m²); τ_c = tensão crítica de destacamento de partículas em sulco (N/m²)

O modelo WEPP usa o modelo de crescimento de plantas para estimar o montante de resíduos de colheita presentes na superfície do solo para cada dia ao longo do ano. Certa quantidade de resíduo é gerada através das folhas que caem durante a senescência e vão revestindo, e o modelo que ajusta a cobertura do solo em função de vários processos. A estreita passagem oferecida pelos implementos de preparo do solo tendem a enterrar uma percentagem dos resíduos, o que o modelo também prevê. O usuário não necessita especificar a quantidade de resíduos em função do tempo.

Um importante aspecto é que as entradas são simples e usuais: datas de plantio, datas de preparo do solo, datas de colheita, produções/produktividades, tipos de implementos. Mais informações técnicas são providas de diversas origens. Informações climáticas, por exemplo, são criadas através do modelo CLIGEN, que é o gerador estocástico das condições meteorológicas. Informações específicas de colheitas, semelhantes aos parâmetros de crescimento, são fornecidos. As informações de solos requeridas, são disponíveis a partir de mapas de solos e outras informações básicas. Informações topográficas requeridas são compatíveis com os métodos correntes de medição de encostas (perfis) a campo.

O tempo de ação para os maiores cálculos no modelo é o diário. Parâmetros de solos, quantidade de resíduos, crescimento de culturas, conteúdo de água no solo, rugosidade superficial e essencialmente vários outros parâmetros de ajuste do modelo são feitos diariamente.

Na forma de um simples evento de chuva os dados utilizados para definir os parâmetros hidrológicos e de erosão para o modelo devem ser fornecidos pelo usuário (através de arquivos de entrada de dados), incluindo as propriedades do solo para um evento de chuva, restos culturais, resíduos superficiais, dias desde o último evento, rugosidade superficial ao acaso, orientação da rugosidade, etc. . O modo contínuo de simulação influencia dados para certas condições estabelecidas do usuário, é que representam as condições iniciais para simulação, desde pequenos ajustes no modelo até para cada uma das variáveis internas. No modo de evento-simples, aquelas entradas tem uma maior influência sobre as saídas, pois é onde o modelo requer uma grande quantidade de informações por parte do usuário para interpretar e utilizar a saída para planejamento, avaliação e projeção para propósitos conservacionistas. O modelo evento-simples ajuda a compreensão e avaliação de fatores que influenciam a erosão sobre encostas; isto é, para valores

limitados sem avaliação de sistemas de conservação em que certas condições se alteram em função do tempo ao longo do ano, e de ano para ano.

As predições de erosão pelo modelo WEPP versão perfil de encosta são aplicáveis para tamanho parcelas de áreas ou tratamentos unitários de conservação. Embora que o tamanho de um campo particular para que proceda a aplicação variará com a complexidade de um campo, um máximo tamanho do campo e sobre uma sessão (640 acres) embora que em uma área tão grande quanto 2000 acres é necessário para uma vasta área de aplicação. Sobre algumas áreas complexas, o "campo" pode ser muito menor do que 640 acres. o modelo não é aplicável para áreas tendo canais permanentes iguais a canais clássicos e canais de rios (cursos d'água).

Quatro entradas nos arquivos de dados são necessários no modelo WEPP perfil:

- 1) arquivo de clima,
- 2) arquivo perfil da encosta (topográfico),
- 3) arquivo do solo,
- 4) arquivo do manejo.

Para o caso da simulação prevendo o uso de irrigação, é necessário a construção de um arquivo específico para a entrada de dados.

Arquivo Climático

O arquivo climático para opção simulação contínua no modelo é gerado pelo CLIGEN para o local e número de anos de simulação desejados. O número de anos depende do motivo para o qual é utilizado e o clima do local. Três anos são

necessários para a simulação normalmente adequada para comparação de práticas de manejo visando a decisão de práticas de conservação de solos. Mais anos são necessários para climas áridos e semi-áridos. Um grande número de anos são necessários também para maior precisão a longo tempo de predição de perdas de solos desejado. O modelo não funciona em anos parcelados de simulação.

O arquivo Clima opção evento simples deve ser construído pelo usuário, preferencialmente gerado através do CLIGEN ou através de um editor de texto ASC / MS dos.

O anexo 02 apresenta um exemplo da entrada no arquivo climático geralmente através do CLIGEN. Note-se que este é incluído na estrutura do arquivo tanto para a forma contínua como na simples-evento de simulação. O anexo 03 tem a descrição das variáveis do anexo 02. A coluna do ano não é relevante para a execução do modelo, exceto quanto a contagem, a não ser que dados históricos foram utilizados (geralmente os dados de clima são gerados estocasticamente) o ano não corresponde aos registros históricos climáticos.

Arquivo Topográfico

O perfil da encosta é descrito através dos pares extensão-declividade da encosta iniciando da parte mais elevada ao final da rampa. pontos de separação para a entrada dos segmentos devem ser feitos para a locação da rampa em locais onde mostrem maiores mudanças na rampa. Um perfil típico em forma de "S", por exemplo, pode melhor se descrito através da entrada de três segmentos: um relativamente plano no do início ao primeiro trecho da rampa (parte mais alta), a parte inclinada mediana do segmento, e a parte plana do final do segmento na ponta da encosta (onde normalmente ocorre a deposição). A extensão da encosta não tem fim onde há deposição. O perfil da encosta deve ser descrito para o final da

parcela, ou para o canal de escoamento concentrado, ou terraço. O ponto onde termina e começa a deposição é calculado através do modelo e é dado na saída.

Um exemplo de arquivo de entrada dados topográficos é dado no anexo 02.

Arquivo Solo

O perfil do solo pode ser representado por até 10 camadas. Neste arquivo são fornecidos dados intrínsecos ao solo (umidade antecedente ao evento de chuva, erodibilidades entre e em sulcos, tensão crítica de destacamento, etc.), e de análises físico-químicas comuns por camada (profundidades das camadas, densidades, CTC, teor de matéria orgânica, textura, etc). O anexo 02. apresenta um exemplo do arquivo solo para o modelo WEPP. A anexo 03 apresenta a descrição das variáveis no arquivo solo. Algumas variáveis do solo devem, inevitavelmente, fornecidas; outras o modelo estima com base nos dados fornecidos.

Arquivo Manejo

A estrutura do arquivo manejo dependerá do uso do solo. O arquivo manejo de áreas cultivadas é difícil ser construído sem um programa construtor de arquivos. Programas construtores de arquivos são disponíveis para ajudar o processo de construção destes arquivos de entrada. Eles contém o crescimento específico das culturas e parâmetros de degradação de resíduos, parâmetros de preparo do solo, e outras informações.

O anexo 02 apresenta um exemplo de uma entrada no arquivo de manejo para um único elemento de perfil para simulação em 2 anos. O anexo 03 contém uma descrição das variáveis do arquivo de manejo. A tabela 01 apresenta os códigos para o uso e manejo do solo no modelo WEPP.

A saída do modelo na forma de simulação contínua representa a integração do tempo estimado da erosão. Na natureza, assim como um modelo de predição, a larga percentagem de erosão ocorre devido a pequenas percentagens de eventos de chuva. O modelo simula vários números de anos de erosão e soma o total da perda de solos destes anos para cada ponto na encosta e obtém a média anual dos valores da erosão. Calcula tanto a taxa de “destacamento” como a de deposição. Ele prevê a deposição no começo e/ou no final da encosta, que pode variar de chuva para chuva (evento). Certos pontos na encosta podem ter erosão durante vários eventos de chuva e a deposição em outros eventos. A saída de várias simulações contínuas do modelo representam a média de todos os eventos erosivos.

A saída do modelo inclui 2 sessões, uma para o local dos efeitos da erosão (áreas de exportação) e outra para áreas de recebimento. Estas duas sessões são claramente delineadas na saída. A sessão da área de contribuição da erosão inclui um tempo integrado (média anual) da perda de solo sobre áreas “morro abaixo” (em encostas) de exportação e perda de solos. Este termo é um dos vários análogos estimados pela USLE. É a estimativa de perda de solo que mais determina perda de produtividade. Na sessão o local exposto aos efeitos da erosão (zonas de exportação) também incluem estimativas da média de deposição difusa. Finalmente, é fornecido a tabela de perda de solo (vide anexo 07), para cada mínimo de 100 pontos na superfície da rampa. A 2ª sessão de saída é para áreas de recebimento dos efeitos erosivos. Ela inclui estimativas das cargas de saída de sedimento da encosta. Este é o sedimento de potencial problema em termos de descarga de sedimentos em cursos d’água, bem como áreas receptoras de descarga de poluentes agrícolas que podem estar adsorvidos em partículas do solo. Esta sessão também utiliza informações de tamanho de partículas, onde os poluentes agrícolas são preferencialmente associados a certos tamanhos de partículas de sedimentos. Esta informação tem significado na avaliação dos problemas de áreas receptoras de poluentes.

As opções de saída incluem o potencial para obtenção mensalmente ou diariamente (evento a evento de chuva) estimados para áreas de exportação e de recepção dos efeitos erosivos. A saída como um todo fornece uma poderosa ferramenta para planos de conservação. O modelo estima onde e quando os problemas de perdas de solos estão ocorrendo sobre uma dada encosta e para uma dada condição de manejo. Ele também oferece como um método rápido e econômico para avaliação de métodos de conservação.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local e descrição das parcelas-padrão utilizadas

Utilizou-se dados e informações históricas das parcelas-padrão / USLE da Estação Experimental do IAPAR de Ponta Grossa, onde as parcelas estão instaladas desde 1977.

O local se encontra na região do clima Cfb (KOEPPEN). O solo predominante na estação é o Latossolo Vermelho Escuro distrófico (Lea8), a topografia Regional é suave-ondulada.

As parcelas-padrão, em pousio, manejadas com tração mecânica, são em número de 05, com 11 metros de comprimento por 3,5 de largura, e 01 com 22 metros de comprimento por 3,5 metros de largura. Todas foram instaladas com o comprimento no sentido do declive (morro abaixo), quando, originalmente a declividade era de aproximadamente 7,0 %. São delimitadas lateralmente por chapas de metal galvanizadas e no final existe uma calha de descarga que recebe a enxurrada.

Em cada parcela existem dois tanques de coleta, o primeiro com capacidade 0,381 m³ e o segundo com 0,265 m³. Entre o primeiro e o segundo tanque existe um fracionador do tipo "Geib", que fraciona a enxurrada em 1/15. A coleta é feita sempre após cada chuva. De cada tanque é coletada uma alíquota de enxurrada para se avaliar os sedimentos em suspensão e é coletado todo o solo decantado no fundo dos tanques, conforme o procedimento proposto por COGO (1978).

As operações de preparo são feitas convencionalmente 02 por ano, uma na época de preparo do solo para plantio de verão e outra de inverno. Para o preparo do solo sempre foi utilizado trator de 50 HP. Uma aração é executada com arado hidráulico reversível de três discos, na profundidade de trabalho de 20 cm. Duas gradagens são feitas com grade hidráulica niveladora (leve) de duas seções, com profundidade de trabalho de 8 cm. A escarificação é feita através de escarificador de um braço hidráulico, sob profundidade de trabalho de 25 cm (Biscaia et al., 1991).

Próximo às parcelas existe uma estação meteorológica (100 m de distância), com pluviógrafo, pluviômetro e termômetros, além de outros equipamentos. Os relatórios desta estação (Biscaia et al., 1991), são apresentadas mensal e anualmente, com os registros evento por evento da precipitação diária, energia da chuva ($E_{I_{30}}$) e perdas de água e de solo (vide anexo 01).

As 05 parcelas com 11 metros recebem 02 vezes por ano preparo convencional do solo (01 aração e 02 gradagens), no sentido morro-abaiixo. Cada parcela de 11 metros recebe um tratamento cultural diferente, sendo que uma delas e a parcela de 22 metros ficam com solo exposto, sem cobertura.

3.2 Informações Requeridas pelo modelo WEPP

O modelo WEPP utiliza duas formas básicas de simulação: (a) simulação contínua e (b) simulação de eventos isolados. Ambas com a opção de um segmento de rampa ou rampa com múltiplos segmentos. Utilizamos as opções simulação simples com um elemento de rampa e três declividades.

Para a simulação do Escoamento Superficial e do Aporte de Sedimentos, o modelo requer as variáveis e parâmetros apresentadas na tabela 01.

Tabela 01 - Lista de Variáveis e Parâmetros requeridos pelo WEPP.

#	Nome da variável (unidade)	Descrição
1	* Sat - θ (sem unidade)	Saturação inicial da camada superficial
2	** Kr - Kr (s.m-1)	Parâmetro de erodibilidade em sulcos
3	** Shcrit - <i>tauc</i> (Pa)	Parâmetro de tensão crítica de destacamento de partículas
4	Bd - bd (g.cm-3)	Densidade aparente do solo
5	*** Ssc - Ke (mm.h-1)	Condutividade hidráulica do solo
6	*** Thetd1 - θ_{15} (mm/mm)	Conteúdo de água a 15 atm
7	*** Thetf1- $\theta_{1/3}$ (mm/mm)	Conteúdo de água a 1/3 atm
8	Sand - %A (%)	Conteúdo da fração areia no solo
9	Clay - %C (%)	Conteúdo da fração argila no solo
10	Orgmat - MO (%)	Conteúdo da fração Matéria Orgânica no solo
11	CEC - CTC (me 100g-1)	Capacidade de Troca de Cátions do solo
12	Rfg - FR (%)	Conteúdo da fração fragmentos de rochas no solo
13	Cancov- Cc (sem unidade)	Fator de cobertura do solo por plantas
14	Inrcov - Cre (sem unidade)	Fator de cobertura dos entre-sulcos por restos culturais
15	Rilcov - Crs (sem unidade)	Fator de cobertura dos sulcos por restos culturais
16	** Ki - Ki (Kg.s.m-4)	Parâmetro de erosibilidade entre sulcos
17	Xdeli1 - (m)	Comprimento do segmento superior da rampa
18	Xslp1 - (m/m)	Declividade do segmento superior da rampa
19	Xdeli2 - (m)	Comprimento do segmento médio da rampa
20	Xdlp2 - (m/m)	Declividade do segmento médio da rampa
21	Xdeli3 - (m)	Comprimento do segmento inferior da rampa
22	Xslp3 - (m/m)	Declividade do segmento inferior da rampa
23	Rain - ppt (mm)	Precipitação total
24	Stmdur - (h)	Duração da precipitação
25	Timep - (sem unidade)	Razão tempo de pico/duração da chuva
26	IP - (sem unidade)	Razão Intensidade máxima/intensidade média da chuva
27	Rrinit - (m)	Rugosidade inicial do solo (pós-preparo)
28	Rfcum - (mm)	Precipitação acumulada desde o último preparo do solo
29	Daydis - (dias)	Número de dias desde o último preparo do solo
30	Rfcum - (mm)	Precipitação acumulada desde o último preparo do solo
31	*** Width - (m)	Largura inicial dos sulcos
32	*** Rspace - (m)	Espaçamento entre sulcos

Observações:

* Parâmetro a ser determinado pela Otimização Hídrica

** Parâmetros de erodibilidade a serem calibrados.

*** Parâmetros que o modelo estima quando não fornecidos (preenchidos com 0.0)

Com a entrada dos parâmetros apresentados pela Tabela 01, entre outras respostas (outputs), serão enfocadas duas em especial apresentadas na Tabela 02.

Tabela 02 - Dados gerados pelo modelo (entre outros).

#	Nome da variável (unidade)	Descrição
1	Runoff/mxplan-RuC (mm/parcela)	Volume do escoamento superficial que sai do perfil
2	Avlost/Avsole - GoC - (Kg.m-1)	Taxa de sedimento que sai do perfil, opção pela perda de solo por evento

3.3 Materiais

3.3.1 Materiais de Campo

Os materiais de campo utilizados foram:

- Na determinação da profundidade das camadas: pá-cortadeira, canivete e trena;
- Para coleta de solo para análise físico-granulométrica e química: espátula, embalagens plásticas etiquetas e conjunto de anéis concêntricos;
- Para a coleta de amostras para determinação da densidade aparente do solo nas camadas sub-superficial e profunda, os mesmos materiais descritos nas determinações anteriores;
- Na determinação da densidade da camada superficial do solo pós-aração, utilizou-se uma placa de compensado (30 x 30 cm) com uma perfuração central circular de raio 10 cm, embalagens plásticas, etiquetas, fitas adesivas, nível de pedreiro, galão com água.
- Na determinação a campo da condutividade hidráulica saturada da camada sub-superficial (adensada), utilizou-se um conjunto de anéis (infiltrômetros)

padrões, tambor 200 litros de água, garrafas plásticas e régua. Na determinação em laboratório, utilizou-se amostras em anéis concêntricos, anéis concêntricos vazios, mangueiras de látex, anéis de borracha para vedação, copos de Beker, dosador de água baseado no princípio de vasos comunicantes, balança de precisão.

- No levantamento topográfico (declividades) da parcela, utilizou-se nível de precisão, trena, mira, 02 balizas, pregos e linha de pesca. Para a separação dos segmentos de rampa, utilizou-se apenas a trena.

3.3.2 Materiais de Escritório

- Microcomputador 486DX4, 100 MHZ, 4Mbytes Memória RAM, HD 340 Mbytes, Drive 1.44, Monitor SVGA, impressora HP 500C, disquetes.
- Programa do modelo WEPP versão 9.15
- Planilha de cálculo
- Editor de texto
- Programa RHD (software gerenciador de arquivos de entrada do WEPP para alterações de dados nas simulações, construído para este trabalho)
- Banco de dados das parcelas IAPAR, e dados de campo.

3.4 Métodos

3.4.1 Metodologia de Coleta e Análise de Dados de Campo

A topografia da parcela foi medida através do método do malhamento, com distância entre pontos de 20 cm, gerando um mapa plani-altimétrico. Do perfil

longitudinal (morro abaixo) separou-se 03 segmentos dominantes (característicos), determinando distâncias destes perfis ao início da parcela (cabeceira como referência), comprimento de cada segmento e respectivas declividades.

Discretizou-se as camadas superficiais do solo escavando-se 04 buracos ao lado da parcela, por onde o maquinário passa para o preparo do solo, nas mesmas operações feitas nas parcelas, e utilizando-se um canivete se detectou diferentes camadas do solo pela resistência à penetração da lâmina. Estabelecidas as regiões das camadas, mediu-se as profundidades à partir da superfície com uma régua. Os 04 locais foram distribuídos 01 no primeiro segmento da rampa (terço superior) da parcela de 11 metros, e 01 no terço inferior, procedendo-se da mesma forma em dois locais na parcela de 22 metros.

Em uma segunda oportunidade, quando estava se abandonando as parcelas como experimento, dissecamos a camada superficial em 02 locais de cada um dos 03 segmentos da parcela 11 onde se comprovou as alturas (variáveis) da camada superficial do solo. Em decorrência das operações de preparo do solo, há a formação de um micro-relevo (com cristas e depressões, em relação à superfície) na camada sub-superficial. Neste micro-relevo é evidente a variação diferencial na infiltração entre as cristas e depressões, pelo acúmulo de água.

As análises físicas foram coletadas nos três segmentos de cada parcela, sempre em 02 repetições para a análise granulométrica, densidade aparente e química. Em laboratório utilizou-se a metodologia preconizada pelo SNLCS/EMBRAPA.

A determinação da condutividade hidráulica da camada sub-superficial e profunda, sempre com 02 repetições nas 02 camadas e nos três segmentos das 02 parcelas, totalizando 24 amostras. Fez-se uma adaptação com anéis concêntricos vazios sobre anéis com amostras coletadas à campo. Mantinha-se o anel sem solo

com nível constantemente alimentado com água, cujo nível era controlado pela distância com a borda superior (livre), até a saturação, que era percebida quando o ritmo de descarga de água era em tempo constante. À partir deste ponto, colocava-se um copo de Beker (seco e previamente pesado), sob o anel com solo. O peso da água coletada por um determinado tempo equivalia a água infiltrada. A lei de Darcy foi utilizada para calcular a condutividade hidráulica:

$$q = K \frac{\Delta H}{\Delta L} \quad \text{ou} \quad K = q \frac{\Delta L}{\Delta H} \quad (17)$$

onde : K = condutividade da água no solo do anel; q = vazão no anel em função do tempo; ΔL = espessura da camada de solo no anel; ΔH = diferença de potencial vertical;

À campo, a determinação da condutividade hidráulica saturada efetiva do solo, foi feita através de infiltrômetro de anéis, segundo metodologia recomendada pelo SNLCS/EMBRAPA.

A densidade pós-aração da camada superficial foi feita através da estimativa do volume de um orifício aberto na superfície do solo, com diâmetro de aproximadamente 10 cm e profundidade de 7 a 8 cm. O solo era coletado e armazenado em embalagens plásticas. Os orifícios foram revestidos com filme plástico PVC transparente (utilizado para alimentos), e preenchidos com água até o nível da superfície do solo. O volume de água, em laboratório determinada pelo peso, equívale ao volume ocupado pelo solo. O solo coletado, era pesado. A densidade pós-aração foi determinada através da expressão massa / volume.

3.4.2 Metodologia de Confecção dos Bancos de Dados

A partir do relatório das parcelas, foram construídos os bancos de dados do clima (eventos de precipitação) e de manejo. Relacionou-se, em uma única planilha todos os dados diários das precipitações diárias observadas (pluviometria e pluviografia), datas de preparo do solo, perdas observadas de água e solo, para cada parcela (vide anexo 01).

Nesta planilha, gerou-se uma coluna onde foi contabilizado o número de dias após a aração com base na data de cada evento e a data do último preparo do solo. Em outra coluna contabilizou-se a precipitação acumulada desde o último preparo do solo. Estes dados foram utilizados nos arquivos de entrada do manejo. Como as parcelas utilizadas recebiam tratamento “sem cobertura”, a informação exigida pelo modelo para “n.º de dias após a última colheita”, convencionou-se para todos os eventos como 20 dias antes da data de preparo do solo.

Os dados da precipitação obtidos dos pluviogramas de cada evento, foram colocados em uma planilha respectiva, e contabilizada a precipitação acumulada (em mm) a cada 10, 20 ou 30 minutos de chuva, de tal forma que o número de dados não ultrapassasse 50 pontos de observação da intensidade durante a precipitação. Os intervalos dos horários transformados para a forma decimal (p. ex.: 10:20 hs para 10,33). Estes dados foram utilizados na confecção dos arquivos climáticos individuais de entrada, determinando assim número de eventos válidos. (vide anexos 01 e 02). Alguns dados dos hidrogramas diários foram ajustados em função da precipitação total correspondente do dia obtido pelos pluviômetros, tendo em vista que se percebeu o mal funcionamento do pluviógrafo (normalmente subestimando o montante de precipitação. O método utilizado para este ajustamento foi a interpolação entre a precipitação total pluviométrica / precipitação total

pluviográfica, pressupondo-se que o perfil da chuva estava registrada pelas cartas pluviogramáticas.

Os dados de solo e topográficos foram tabulados nas unidades utilizadas pelo modelo, para pronta utilização na confecção dos arquivos de entrada.

3.4.3 Procedimentos de Construção dos Arquivos de Entrada dos Dados

Utilizou-se de editor de texto ASCII (Edit/DOS e Norton Editor), para a construção dos arquivos de entrada do modelo, segundo a estrutura descrita no anexo 03, com exemplos nos anexos 02. Todos os arquivos foram nomeados sem terminação ".dat" ou ".txt", visando agilizar a digitação.

Selecionou-se as chuvas características (eventos válidos) dentro dos seguintes critérios: (a) com maiores níveis de precipitação; (b) preferencialmente chuvas unitárias (geravam apenas 1 pico no hidrograma); (c) com menos de 06 horas de intervalo entre picos; (d) com dados mais próximos entre a pluviometria e a pluviografia; e, (e) e que possuíam dados de perda de solo e água.

Após a seleção dos eventos válidos, construiu-se um arquivo climático com inicial "C" para cada evento, seguindo da sua numeração em seqüência. Por exemplo: C01 (arquivo climático do evento 01).

Cada arquivo de evento possui um arquivo correspondente do manejo, e em função de sua data. Este arquivo de manejo possui número de dias entre o preparo do solo e o evento, a precipitação acumulada do preparo ao evento, entre outros dados característicos. Assim, o critério para nomear os arquivos foi o mesmo que o arquivo de manejo, com mesma numeração, porém precedido pela letra "m", ou seja, para um mesmo C01, foi construído um M01.

Os arquivos topográficos referenciam os dados físicos das parcelas, alterando apenas de lugar. Desta forma existem dois arquivos fixos para cada parcela (independente dos eventos), um para a parcela 11 m e outro para a parcela 22 m, precedidos da letra "T", ou seja: T11 e T22.

Os arquivos do solo, caracterizam aspectos intrínsecos do solo, físicos e químicos. Em função da necessidade de se determinar a umidade antecedente via otimização, foram construídos 04 tipos básicos de arquivos de solo para cada evento, sempre precedidos da letra "s", o número dos eventos correspondentes (01, 02, ... etc.), a parcela correspondente, e sucedidos pelas seguintes letras:

- " " (sem letra nenhuma) para formar os arquivos básicos de cada parcela. Serviram de base para a multiplicação nos arquivos de cada evento e parcela.
- "R" para otimização da informação "umidade antecedente" (5.º dado da segunda linha), onde no local do valor da umidade se preencheu com a inscrição %f. (p. ex.: S0111R. Arquivo de Solo, do evento 01, da parcela 11, para calibração R, ou "runoff volume")
- "E" para a otimização de dois parâmetros de erodibilidade, [K_i e K_r], ou [K_r e τ_{auc}], ou [τ_{auc} e K_i] (do 6.º ao 8.º valor no arquivo), onde os dois campos foram preenchidos com %f (p. Ex.: S0111E). Estes arquivos e os seguintes (T), indicam a relação com o aporte de sedimento calculado (sediment leaving profile) que é obtido no arquivo de saída do modelo.
- "T" para a otimização dos três parâmetros de erodibilidade ao mesmo tempo [K_i , K_r e τ_{auc}], onde os três campos foram preenchidos com %f (p. Ex.: S0111T =

arquivo de solo, evento 01, parcela 11 m e otimização variando os três parâmetros de erodibilidade simultaneamente).

As inscrições %f informam ao programa de simulação qual o valor a variar. Este programa altera o(s) valor(s) segundo intervalos máximos, mínimos e o uma fração do intervalo de variação, que são pré-informados através de um arquivo "<número da otimização>*.ini" .

3.4.4 Otimizações

Adotou-se o método da otimização iterativa, onde utiliza-se a combinação de valores pré-determinados, com intervalos constantes, de cada parâmetro entre si nas as simulações. As simulações foram feitas otimizando (variando):

- um parâmetro, como na otimização da umidade e da erodibilidade entre sulcos (K_i);
- dois parâmetros, como erodibilidade em sulcos (K_r) e a tensão crítica de destacamento de partículas (τ_c);
- três parâmetros, K_i , K_r e τ_c simultaneamente.

3.3.4.1 Simulações para otimização da umidade antecedente

Como não se dispunha dos dados de umidade antecedente, através de simulações para valores que variavam de 0,0 a 1,0, obteve-se os valores da umidade antecedente comparando valores de perdas de água da parcela (pelo escoamento superficial) observadas e calculadas pelo modelo através da seguinte relação:

$$\left[\frac{PaC - PaO}{PaO} \right] = \text{Mínimo} \quad (18)$$

Onde: PaC = Perda de água calculada; e, PaO = Perda de água observada

Os valores de umidade de cada evento, que geraram os menores valores para os mínimos, foram adotados como os valores da umidade antecedente estimada. Os eventos em que não apresentaram *Mínimos* menores que 0,35 foram descartados para as simulações seguintes.

3.3.4.2 Otimizações dos valores dos parâmetros de erodibilidade

Entre os eventos de chuva selecionados, com umidades antecedentes otimizadas e que apresentavam dados de perdas de água e de solo diferentes de zero, estabeleceu-se os intervalos para os valores dos parâmetros de erodibilidade:

Tabela 03 - Intervalos dos parâmetros utilizados nas simulações

Parâmetros	Valor mínimo utilizado	Valor máximo utilizado
<i>Ki</i>	500.000,00	10.000.000,00
<i>Kr</i>	0,001	0,100
<i>tauc</i>	0,01	10,00

Parâmetros	Valor mínimo recomendado*	Valor máximo recomendado*
<i>Ki</i>	500.000,00	5.000.000,00
<i>Kr</i>	0,003	0,055
<i>tauc</i>	0,30	7,50

* (FLANAGAN et al., 1991)

As razões de variação, dentro dos intervalos máximos e mínimos de cada parâmetro, partiram de 1/10 na primeira simulação e foram diminuindo para 1/20,

1/50, etc. a medida em que os mínimos (definido adiante) indicavam a região onde pode encontra-se o menor valor do *Mínimo*, dado pela seguinte relação:

$$\left[\frac{Go - Gc}{Go} \right] = \text{Mínimo} \quad (19)$$

Onde: Go = Aporte de sedimentos observados; e Gc = Aporte de sedimentos calculado (kg/parcela)

Os procedimentos, em seqüência, para as simulações na otimização dos parâmetros de erodibilidade foram:

- (a) simulação de todos os eventos com a otimização de todos os parâmetros de erodibilidade ao mesmo tempo, visando estimar os valores mais prováveis;
- (b) admitindo-se a hipótese de que a erosão em sulcos (Df) = 0,0 ; ou seja: $\partial G/\partial x = Di + 0,0$, os eventos menores (menor erosividade) possuem pequenas perdas geradas por erosão entre-sulcos, portanto, os eventos que evidenciam o parâmetro de erodibilidade entre-sulcos. Adotou-se para a otimização de Ki os eventos com perdas de solo observadas menores que 1,00 Kg. Os valores otimizados de Ki , ou seja, que possuíam os *mínimos* menores que 0,35, foram considerados como Ki estimados. Estes valores foram submetidos à análise estatística, considerando-se os valores de Ki estimados, válidos para a média, aqueles que encontravam-se no intervalo de ± 1 Desvio Padrão.
- (c) Após "calibrado" o Ki (Ki estimado), as simulações dos parâmetros de Kr e $tauc$ ocorreram otimizando os dois parâmetros ao mesmo tempo. Utilizou-se os eventos com perdas de solo observadas acima de 2 Kg. Diferentes simulações foram efetuadas para cada evento selecionado, com diferentes intervalos de Kr e $tauc$, buscando-se maior precisão na região onde as simulações indicavam a tendência do menor mínimo. Quando os menores mínimos possíveis eram determinados, os respectivos valores,

que geraram a perda calculada de solo que mais se aproximou da perda observada, eram anotados em cada evento. Após este procedimento para todos os eventos, os valores eram utilizados para nova simulação com os valores encontrados em todos os eventos selecionados para a análise de erodibilidade (K_i , K_r e $tauc$). Com base nos resultados das perdas de solo calculadas desta última simulação, a eficiência da calibração foi analisada através da seguinte expressão:

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum (G_o - G_c)^2}{\sum (G_o - G_{mo})^2} \right] \quad (20)$$

Onde: R^2 = eficiência da calibração; G_o = aporte de sedimentos observados; G_c = aporte de sedimentos calculado; e G_{mo} = média dos aportes observados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da série histórica das parcelas de 1977 a julho de 1992, que dispunham dados de precipitação (pluviometria e pluviografia), perdas de solo e perdas de água das parcelas, foram selecionados 74 eventos que possuíam hidrogramas, significando 148 eventos/parcela. Destes, apenas 98 possuíam dados de perdas de solo das parcelas e valores de precipitações totais que aproximavam-se entre os pluviogramas e a pluviometria (vide tabela 04).

Na fase de estimativa da umidade antecedente, utilizou-se 44 eventos na parcela 11 m e 47 eventos na parcela 22 m, totalizando 91 eventos otimizados. Destes, em apenas 38 eventos (14 da parcela 11 m e 25 da parcela 22 m) os valores calculados de escoamento superficial (perda de água da parcela) ajustaram-se próximos aos valores observados. Estes eventos foram utilizados para a otimização dos parâmetros de erodibilidade.

Dos 38 eventos selecionados, 21 apresentaram perdas de solo com menos de 1,0 kg/m.parcela, sendo utilizados para as otimizações de K_i . 14 eventos possuíam dados de perdas de solo observadas maiores que 2 Kg/m.parcela, e foram utilizados para as otimizações de K_r e $tauc$.

Na avaliação final da calibração dos parâmetros, utilizou-se 36 eventos-parcela, utilizados nas otimizações dos parâmetros.

4.1 Resultados

Os eventos selecionados a partir da série histórica de dados das parcelas (vide anexo 01), estão na tabela 04, abaixo:

Tabela 04 - Eventos utilizados nas simulações de otimização da umidade antecedente (θ)

Evento	Data	DD aps	PPT ac	PPT obs	ESO 11	PSO11	ESO22	PSO22
2	08/01/85	43	256,8	23,7	15,7	0,0099	17,0	0,0484
3	29/10/85	125	209,5	17,4	5,2	0,0011	12,0	0,0000
4	25/10/85	121	227,3	16,0	5,2	0,0011	3,3	0,1452
5	01/10/87	107	289,4	29,3	2,0	0,4840	2,0	0,4554
6	19/10/87	124	357,1	50,1	1,3	0,5500	1,6	1,0846
7	08/07/87	22	64,0	40,7	4,7	5,1700	2,6	7,1126
8	16/08/87	61	144,8	49,3	6,8	3,9600	4,0	5,6914
10	18/10/83	106	558,8	35,7	1,8	0,0000	1,9	0,0440
11	02/05/89	166	996,5	70,7	9,6	3,3825	52,4	15,4000
12	27/04/89	161	873,7	27,6	1,6	0,4411	1,5	1,0252
13	21/06/91	59	214,0	63,6	1,4	0,0396	2,2	0,3718
14	10/10/90	141	844,5	15,1	0,3	0,0055	0,0	0,0110
15	20/02/89	95	601,7	10,6	0,2	0,0341	0,3	2,4596
16	03/02/89	78	540,8	19,5	0,4	1,2705	8,3	3,0338
17	12/10/89	119	575,7	16,0	0,0	0,0000	0,0	0,0022
19	22/03/90	111	814,3	18,1	1,8	0,4730	1,8	1,2188
20	20/07/90	59	319,3	34,1	4,2	0,0627	3,4	0,2134
21	24/01/90	54	534,5	25,0	0,7	0,0748	0,6	0,5412
22	17/01/90	47	422,7	15,5	0,1	0,0011	0,0	0,0022
23	03/05/88	193	664,2	23,6	1,0	0,0231	0,7	0,0154
24	02/02/89	77	523,1	18,7	1,5	0,0913	2,2	1,4366
25	23/01/90	52	496,5	10,5	0,8	0,3311	0,3	0,3102
26	30/04/90	150	1008,0	30,4	9,7	0,3025	12,8	0,6050
27	25/08/89	71	295,2	34,3	0,0	0,0528	0,0	0,0176
28	04/05/89	168	1019,5	21,6	3,0	0,2365	14,8	5,4736
29	05/04/89	139	836,6	29,2	0,0	0,0011	0,0	0,0044
30	22/03/89	125	773,9	41,8	11,1	2,0658	33,8	26,4660
31	12/11/84	138	536,0	26,1	17,0	0,0110	39,1	0,2596
32	03/09/79	67	280,0	61,9	6,2	0,9944	9,3	2,7060
33	09/01/81	60	316,0	8,3	0,1	0,0143	2,3	0,1232
34	12/02/81	94	571,1	56,8	24,8	0,8019	45,3	10,4060
35	10/11/81	365	1147,0	74,1	8,5	0,7161	11,6	0,6820
36	12/02/82	78	391,1	14,6	1,7	0,0000	2,1	3,0800
37	16/02/82	82	435,8	16,4	1,9	0,0000	1,5	2,4200
38	24/06/82	210	992,0	48,4	38,5	7,4800	15,5	9,4600
39	25/06/82	211	1039,4	28,8	23,3	3,7400	14,8	0,0400
44	23/02/83	89	492,5	14,3	6,5	0,0330	11,3	0,4840
48	20/05/83	175	1120,0	136,5	83,4	13,7610	45,3	74,3380
50	11/02/81	93	516,6	31,0	1,2	0,0528	2,9	0,7590
52	07/07/83	3	82,0	86,7	23,4	0,0000	49,1	8,4920
53	18/02/82	84	463,8	19,5	4,7	0,2200	15,5	5,7200
55	01/12/81	5	70,5	17,1	0,9	0,0858	0,5	0,4576
56	07/03/83	101	691,8	37,1	0,0	0,0000	32,6	9,7460
57	08/01/81	59	308,0	17,5	0,0	0,0000	0,5	0,0396
58	13/10/82	99	471,2	17,6	10,9	0,7810	1,9	0,0000
69	26/04/83	151	984,6	22,6	3,9	1,5510	4,2	9,0860
70	26/02/82	92	566,8	12,4	0,0	0,0000	1,3	0,4400
73	30/03/82	124	709,8	22,8	1,7	0,2200	1,3	0,8800
74	30/05/83	185	1376,0	11,0	0,0	0,0000	4,2	1,3420

4.1.1 Estimativa da umidade antecedente

A umidade antecedente do solo estimada para cada evento selecionado, está relacionada nas tabelas 05 e 06 a seguir.

Tabela 05 - Umidade antecedente estimada dos eventos na parcela 11 m

Evento	data	DD aps	PPT ac	PPT obs	ESO 11	ESC 11	ESO/ESC	UA est.
2	08/01/85	43	256,8	23,7	15,7	15,7	1,00	0,972
3	29/10/85	125	209,5	17,4	5,2	5,2	1,00	0,717
4	25/10/85	121	227,3	16,0	5,2	5,2	1,00	0,624
5	01/10/87	107	289,4	29,3	2,0	13,8	0,15	0,472
6	19/10/87	124	357,1	50,1	1,3	7,1	0,18	0,472
7	08/07/87	22	64,0	40,7	4,7	18,2	0,26	0,472
8	16/08/87	61	144,8	49,3	6,8	29,2	0,23	0,472
10	18/10/83	106	558,8	35,7	1,8	12,6	0,14	0,472
11	02/05/89	166	996,5	70,7	9,6	21,2	0,45	0,472
12	27/04/89	161	873,7	27,6	1,6	14,8	0,11	0,472
13	21/06/91	59	214,0	63,6	1,4	35,7	0,04	0,472
14	10/10/90	141	844,5	15,1	0,3	2,8	0,11	0,472
15	20/02/89	95	601,7	10,6	0,2	1,9	0,10	0,472
16	03/02/89	78	540,8	19,5	0,4	6,1	0,07	0,472
17	12/10/89	119	575,7	16,0	0,0	0,0	-	0,908
22	17/01/90	47	422,7	15,5	0,1	3,0	0,03	0,908
23	03/05/88	193	664,2	23,6	1,0	7,7	0,13	0,908
24	02/02/89	77	523,1	18,7	1,5	4,4	0,34	0,908
25	23/01/90	52	496,5	10,5	0,8	1,5	0,52	0,908
26	30/04/90	150	1008,0	30,4	9,7	18,0	0,54	0,908
27	25/08/89	71	295,2	34,3	0,0	11,6	-	0,908
28	04/05/89	168	1019,5	21,6	3,0	6,1	0,49	0,908
29	05/04/89	139	836,6	29,2	0,0	9,0	-	0,908
30	22/03/89	125	773,9	41,8	11,1	27,9	0,40	0,908
31	12/11/84	138	536,0	26,1	17,0	17,0	1,00	0,888
32	03/09/79	67	280,0	61,9	6,2	12,6	0,49	0,472
33	09/01/81	60	316,0	8,3	0,1	0,1	1,00	0,617
34	12/02/81	94	571,1	56,8	24,8	38,7	0,64	0,472
35	10/11/81	365	1147,0	74,1	8,5	55,7	0,15	0,472
36	12/02/82	78	391,1	14,6	1,7	6,0	0,28	0,472
37	16/02/82	82	435,8	16,4	1,9	2,7	0,69	0,472
38	24/06/82	210	992,0	48,4	38,5	38,5	1,00	0,994
39	25/06/82	211	1039,4	28,8	23,3	22,5	1,03	0,999
44	23/02/83	89	492,5	14,3	6,5	6,5	1,00	0,957
48	20/05/83	175	1120,0	136,5	83,4	102,7	0,81	0,472
50	11/02/81	93	516,6	31,0	1,2	13,8	0,09	0,472
52	07/07/83	3	82,0	86,7	23,4	25,7	0,91	0,472
53	18/02/82	84	463,8	19,5	4,7	4,7	1,00	0,472
55	01/12/81	5	70,5	17,1	0,9	0,9	1,00	0,879
56	07/03/83	101	691,8	37,1	0,0	22,5	-	0,472
58	13/10/82	99	471,2	17,6	10,9	10,9	1,00	0,982
69	26/04/83	151	984,6	22,6	3,9	3,9	1,00	0,726
70	26/02/82	92	566,8	12,4	0,0	0,0	-	0,656
73	30/03/82	124	709,8	22,8	1,7	10,6	0,16	0,472

Tabela 06 - Umidade antecedente estimada dos eventos na parcela 22 m

Evento 6	data	DD aps	PPT ac	PPT obs	ESO22	ESC 22	ESO/ESC	UA est.
2	08/01/85	43	256,8	23,7	17,0	17,00	1,00	0,993
3	29/10/85	125	209,5	17,4	2,0	2,00	1,00	0,502
4	25/10/85	121	227,3	16,0	3,3	3,36	0,98	0,480
5	01/10/87	107	289,4	29,3	2,0	13,05	0,15	0,480
6	19/10/87	124	357,1	50,1	1,6	6,49	0,25	0,480
7	08/07/87	22	64,0	40,7	2,6	17,45	0,15	0,480
8	16/08/87	61	144,8	49,3	4,0	28,61	0,14	0,480
10	18/10/83	106	558,8	35,7	1,9	1,93	0,98	0,480
11	02/05/89	166	996,5	70,7	52,4	52,40	1,00	0,964
12	27/04/89	161	873,7	27,6	1,5	14,10	0,11	0,480
13	21/06/91	59	214,0	63,6	2,2	35,03	0,06	0,480
14	10/10/90	141	844,5	15,1	0,0	2,30	-	0,480
15	20/02/89	95	601,7	10,6	0,3	1,19	0,25	0,480
16	03/02/89	78	540,8	19,5	8,3	8,30	1,00	0,766
17	12/10/89	119	575,7	16,0	0,0	0,00	-	0,920
19	22/03/90	111	814,3	18,1	1,8	5,68	0,32	0,480
20	20/07/90	59	319,3	34,1	3,4	4,38	0,78	0,480
21	24/01/90	54	534,5	25,0	0,6	11,79	0,05	0,480
22	17/01/90	47	422,7	15,5	0,0	2,26	-	0,480
23	03/05/88	193	664,2	23,6	0,7	7,03	0,10	0,480
24	02/02/89	77	523,1	18,7	2,2	3,68	0,60	0,480
25	23/01/90	52	496,5	10,5	0,3	0,30	1,00	0,522
26	30/04/90	150	1008,0	30,4	12,8	17,26	0,74	0,480
27	25/08/89	71	295,2	34,3	0,0	10,91	-	0,480
28	04/05/89	168	1019,5	21,6	14,8	14,80	1,00	0,979
29	05/04/89	139	836,6	29,2	0,0	8,36	-	0,480
30	22/03/89	125	773,9	41,8	33,8	33,80	1,00	0,930
31	12/11/84	138	536,0	26,1	39,1	20,94	1,87	0,999
32	03/09/79	67	280,0	61,9	9,3	11,94	0,78	0,480
33	09/01/81	60	316,0	8,3	2,3	2,30	1,00	0,889
34	12/02/81	94	571,1	56,8	45,3	45,30	1,00	0,873
35	10/11/81	365	1147,0	74,1	11,6	55,02	0,21	0,480
36	12/02/82	78	391,1	14,6	2,1	5,30	0,40	0,480
37	16/02/82	82	435,8	16,4	1,5	2,04	0,74	0,480
38	24/06/82	210	992,0	48,4	15,5	15,50	1,00	0,521
39	25/06/82	211	1039,4	28,8	14,8	14,80	1,00	0,868
44	23/02/83	89	492,5	14,3	11,3	10,27	1,10	0,999
48	20/05/83	175	1120,0	136,5	45,3	102,06	0,44	0,480
50	11/02/81	93	516,6	31,0	2,9	13,07	0,22	0,480
53	18/02/82	84	463,8	19,5	15,5	14,80	1,05	0,999
55	01/12/81	5	70,5	17,1	0,5	0,50	1,00	0,907
56	07/03/83	101	691,8	37,1	32,6	32,60	1,00	0,983
57	08/01/81	59	308,0	17,5	0,5	0,50	1,00	0,861
69	26/04/83	151	984,6	22,6	4,2	4,20	1,00	0,776
70	26/02/82	92	566,8	12,4	1,3	1,30	1,00	0,751
73	30/03/82	124	709,8	22,8	1,3	10,08	0,13	0,480
74	30/05/83	185	1376,0	11,0	4,2	4,20	1,00	0,995

Observações:

DD aps = número de dias após o preparo do solo; PPT ac. = precipitação acumulada desde o preparo do solo (mm) ; ESO = escoamento superficial observado (mm) ; ESC = escoamento superficial calculado (mm) ; UA est = Umidade antecedente (θ) estimada; PSO = perda de solo observada (Kg/m.parcela); PSC = perda de solo calculada (Kg/m.parcela)

4.1.2 Estimativa de K_i

Os valores de K_i estimados, perdas de solo observadas e calculadas, e a análise estatística encontram-se nas tabelas 07 e 08 abaixo:

Tabela 07 - Estimativa de K_i

Evento	Parcela	PSO	PSC	$\frac{(PSO-PSC)}{PSO}$	Seleção	K_i est
2	11	0,0099	0,0320	-2,232	Eliminado	
2	22	0,0484	0,0630	-0,302	válido	100000
3	11	0,0011	0,0280	-24,455	eliminado	
4	11	0,0011	0,0290	-25,364	eliminado	
4	22	0,1452	0,1470	-0,012	válido	2200000
10	22	0,0440	0,0440	0,000	válido	100000
20	11	0,0627	0,0630	-0,005	válido	400000
20	22	0,2134	0,2200	-0,031	válido	700000
25	22	0,3102	0,0000	1,000	eliminado	
26	22	0,6050	0,0000	1,000	eliminado	
31	11	0,0110	0,0000	1,000	eliminado	
33	11	0,0143	0,0000	1,000	eliminado	
33	22	0,1232	0,0000	1,000	eliminado	
44	11	0,0330	0,0330	0,000	válido	500000
44	22	0,4840	0,4400	0,091	válido	3250000
53	11	0,2200	0,2150	0,023	válido	550000
55	11	0,0858	0,0000	1,000	eliminado	
55	22	0,4576	0,0000	1,000	eliminado	
57	22	0,0396	0,0390	0,015	válido	550000
58	11	0,7810	0,4460	0,429	Eliminado	
70	22	0,4400	0,4400	0,000	Válido	1600000
Média (M1)						995.000
Desvio Padrão (DP1) $n = 10$						1.032.109
Coef. Variação (%)						103,73%
Intervalo Superior (M1+DP1)						2.027.109
Intervalo Inferior (M1-DP1)						-37.109
Média (M2)						562.500
Desvio Padrão (DP2) $n = 5$						443.471
Coef. Variação (%)						78,84%
Intervalo Superior						1.005.971
Intervalo Inferior						119.029

PS - Perdas de solo (aporte); C - calculadas; O - Observadas; K_i est - K_i estimado

4.1.3 Estimativas de K_r e τ_{auc}

Adotou-se o valor de 562.500 para K_i nas simulações de otimização de K_r e τ_{auc} . A tabela 09 apresenta os resultados das simulações.

Tabela 08 - Resultados da otimização de K_r e τ_{auc} estimados

Evento	Parcela	PSO	PSC	Mínimos	K_r est.	τ_{auc} est.
38	11	7,480	6,978	0,06711	0,01	0,72
39	11	3,740	3,625	0,03075	0,035	0,88
48	11	12,761	12,701	0,00472	0,005	1,36
11	22	15,400	8,909	0,42149	0,005	0,32
16	22	3,034	2,914	0,03949	0,005	1,12
28	22	5,4736	5,414	0,01085	0,09	1,52
30	22	26,466	26,249	0,00820	0,01	1,76
34	22	10,406	10,404	0,00019	0,035	2,32
38	22	9,460	9,353	0,01131	0,005	0,48
39	22	7,040	6,923	0,01662	0,01	0,88
52	22	8,492	6,788	0,20066	0,005	1,12
53	22	5,720	5,567	0,02675	0,06	1,68
56	22	9,746	9,734	0,00123	0,035	2,16
69	22	9,086	8,921	0,98448	0,02	0,32
Média				0,13028	0,0236	1,19
Desvio Padrão				0,1182	0,0263	0,5524
Coefficiente de Variação				90,75%	111,4%	46,48%

4.1.4 Eficiência da calibração

A eficiência da calibração (R^2) é 0,786; adotando-se os valores estimados de $K_i = 562.500$, $K_r = 0,0236$ e $\tau_{auc} = 1,19$, obtidos a partir das médias dos valores dos menores mínimos de cada simulação entre as perdas de solo observadas e calculas, utilizando-se 36 eventos que apresentavam perdas de solo observadas de diversas magnitudes e a umidade antecedente calibrada.

O gráfico 01, a seguir, mostra a relação entre as perdas observadas e calculadas pelo modelo com os parâmetros estimados (calibrados).

Gráfico 01

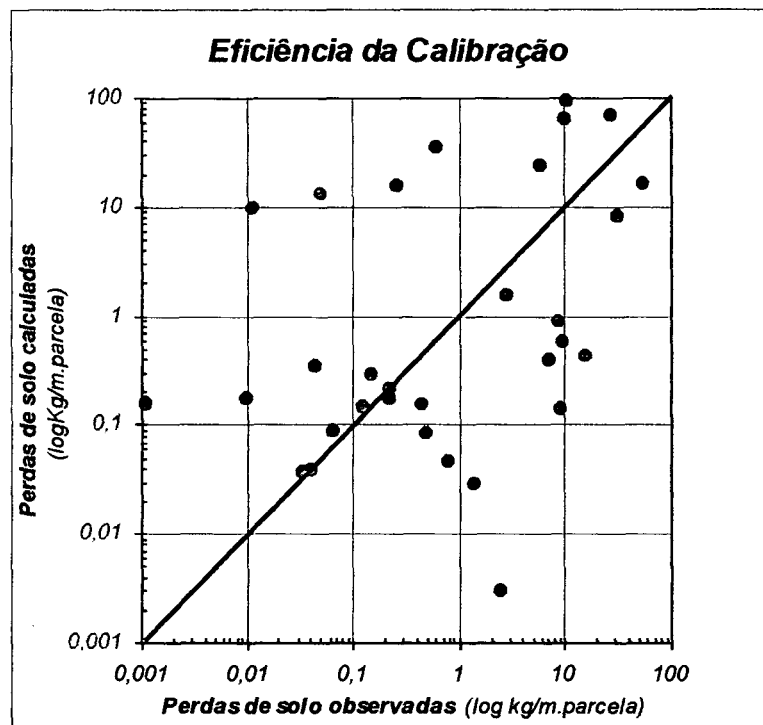


Tabela 09 - Resultados das Simulações utilizando os parâmetros estimados

		$K_i = 562.500$		$K_r = 0,0236$		$\tau_{auc} = 1,19$	
Evento	Parcela	PSO	PSC	Evento	Parcela	PSO	PSC
2	11	0,0099	0,1770	33	22	0,1232	0,1490
2	22	0,0484	13,4840	34	22	10,4060	94,7820
3	11	0,0011	0,1590	37	22	2,4200	0,0030
4	11	0,0011	0,1630	38	22	9,4600	0,5960
4	22	0,1452	0,2930	39	22	7,0400	0,3990
10	22	0,0440	0,3590	44	11	0,0330	0,0380
11	22	15,4000	0,4280	44	22	0,4840	0,0840
16	22	30,3380	8,4690	52	22	8,4920	0,9050
20	11	0,0627	0,0890	53	11	0,2200	0,2200
20	22	0,2134	0,1770	53	22	5,7200	24,2350
25	22	0,3102	0,0000	55	11	0,0858	0,0000
26	22	0,6050	36,4690	55	22	0,4576	0,0000
28	22	54,7360	16,4190	56	22	9,7460	65,5850
30	22	26,4660	72,0900	57	22	0,0396	0,0400
31	11	0,0110	9,9100	58	11	0,7810	0,0480
31	22	0,2596	15,6090	69	22	9,0860	0,1410
32	22	2,7060	1,6080	70	22	0,4400	0,1550
33	11	0,0143	0,0000	74	22	1,3420	0,0290
Média						5,4930	10,0920

4.2 Análise dos erros

4.2.1 Erros na eficiência da calibração

Embora a eficiência do modelo tenha resultado em uma eficiência na calibração (R^2) de 0,786 (ou 78,6%), considerando a metodologia proposta e os dados disponíveis, há diversos problemas na calibração dos parâmetros de erodibilidade do modelo WEPP.

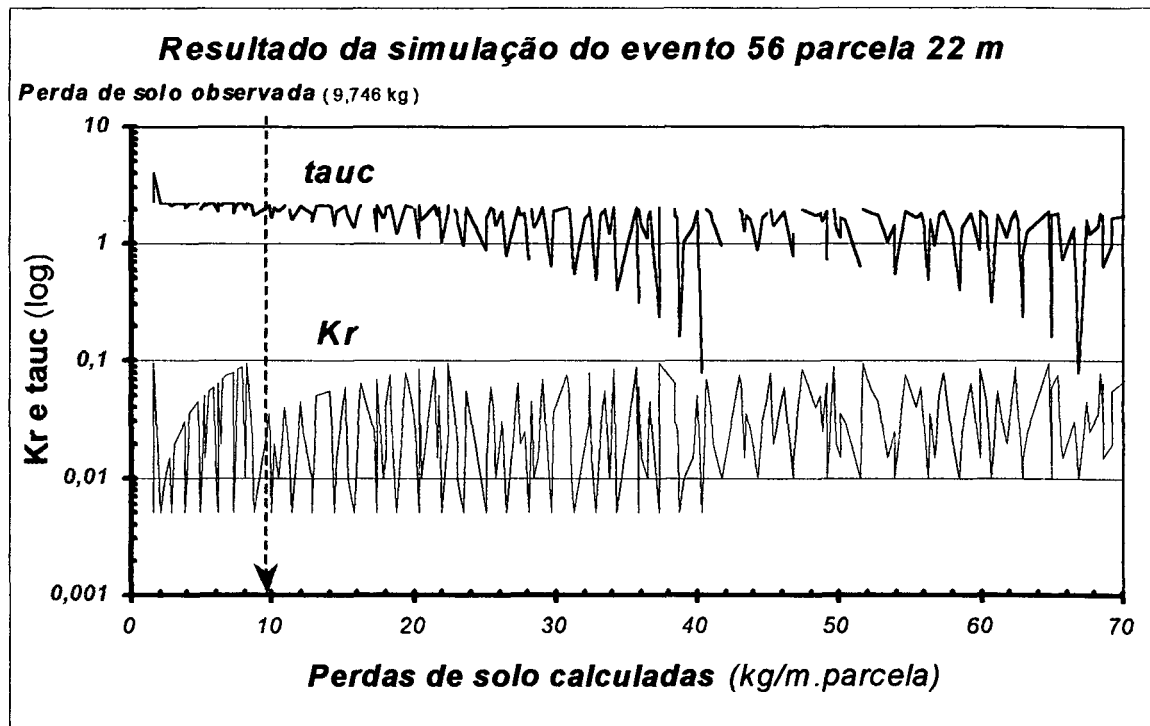
Primeiramente, há uma instabilidade na equação de perdas de solos por erosão em sulcos (16):

$$Dc = Kr (\tau - \tau_{auc})$$

onde pode-se perceber que o fator de erodibilidade entre sulcos (Kr) é uma constante de "proporcionalização" da diferença entre as tensões de destacamento de partículas em sulcos (τ), inerente a energia do escoamento, e a tensão crítica de destacamento de partículas (τ_{auc}), inerente às características do solo. Para cada tipo de solo é de se esperar que exista um τ_{auc} característico, e um Kr correspondente. Como neste trabalho utilizou-se 2 parcelas de um mesmo solo, no mesmo local e em quase todos casos os mesmos eventos, esta condição de correspondência entre Kr e τ_{auc} deveria ocorrer no mesmo evento, pelo menos, supondo que poderiam ocorrer diferenças entre eventos diferentes por outros erros, como serão citados mais adiante.

O gráfico a seguir demonstra um intervalo de simulação com variação de τ_{auc} e as respectivas perdas de solo calculadas:

Gráfico 02



Observa-se que, na região próxima da perda de solo observada, de 9,746 Kg/m.parcela, os valores dos parâmetros K_r e $tauc$ variam significativamente para pequenos acréscimos de perdas de solo, e isto se daria para qualquer magnitude de perda (neste caso estimou-se até 140 kg/m.parcela).

O parâmetro $tauc$ teve pequena variação na região da perda observada, não ocorrendo o mesmo com K_r . Este parâmetro variou, irregularmente, numa faixa de 0,005 a 0,035, o que pode significar uma diferença de até 7 vezes o valor que, porventura venha a ser calibrado.

Sob outro ponto de vista, podemos observar que para um mesmo valor de K_r ou $tauc$ poderemos encontrar diversos valores de perdas de solo calculadas, e variações relativamente grandes para pequenas variações de quaisquer dos valores dos parâmetros, num mesmo evento. Se considerarmos que este efeito ocorre em todos os eventos utilizados para a calibração, conclui-se que o grau de eficiência do

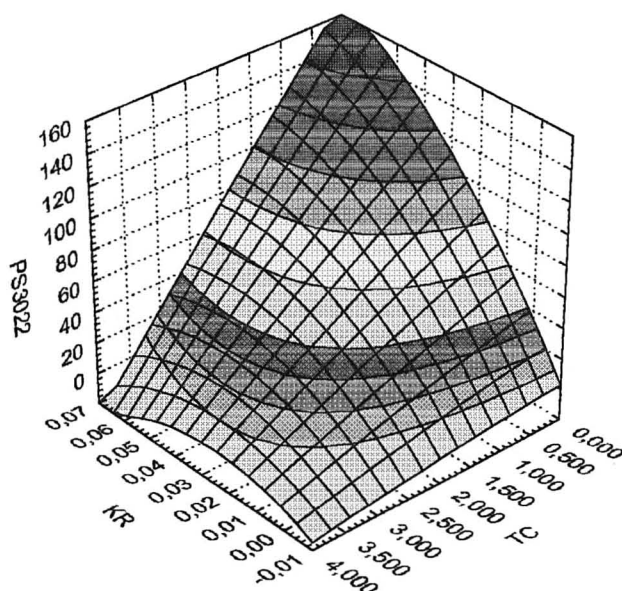
modelo, neste trabalho, não reflete a eficiência absoluta. O valor encontrado é um dos valores mais elevados que se obteve nas diversas simulações de calibração. Chegou-se a encontrar graus de eficiência menores que 0,02, dependendo dos intervalos adotados e dos resultados.

Através da análise de regressão, fixando-se o valor de K_i e valores médios dos outros parâmetros simulados, é possível encontrar a equação de perdas de solo em função de K_r e t_{auc} , conforme função abaixo, do mesmo evento do gráfico anterior:

$$PSC_{56/22} = 34,299 + 2.984,348(tauc) - 7,682(Kr) - 15.017,636(tauc)^2 - 564,442(tauc)(Kr) - 0,632(Kr)^2$$

A representação tridimensional desta função, com base nos intervalos dos valores simulados e respectivas perdas de solo, está no gráfico 03.

Gráfico 03 - K_r , t_{auc} e perdas de solo calculadas do evento 30 parcela 22 m



Observando-se o gráfico 03, conclui-se que a equação não tem solução, já que para uma mesma perda de solo calculada, há diversas combinações dos parâmetros que geram esta perda.

Trata-se de um "*efeito booleano*", e que deve ser estudado no modelo, no sentido de aperfeiçoar o parâmetro de erodibilidade em sulcos (K_r), que é um parâmetro empírico por representar mecanismos não conhecidos e/ou não mensurados.

Enquanto esta tecnologia não é aperfeiçoada, outra possibilidade de resolver este problema em calibrações futuras é a determinação de *tauc* através de chuvas simuladas, obtendo-se *tauc* e K_r característicos dos diferentes solos. A validade desta possibilidade dependerá da análise de eficiência e do comportamento do modelo para diferentes eventos. Esta solução, é uma conclusão importante para calibrações futuras.

4.2.2 Erros nos dados de entrada do modelo

As medidas de precipitação dependem do funcionamento dos equipamentos, principalmente dos pluviógrafos, da precisão de tomada de dados pelo amostrador e da variabilidade espacial que as chuvas ocorrem. Neste aspecto, é importante observar que as parcelas estão à 100 m da estação meteorológica de onde os dados foram tomados. Observou-se, em muitos eventos, diferenças entre a precipitações totais dos hidrogramas e dos dados de pluviometria, sendo necessário ajustar (corrigir) as curvas dos hidrogramas para os níveis de precipitação pluviométrica total:

As medidas de perdas de água e solo dependem da manutenção do experimento, do zelo e assiduidade por parte das pessoas que manejam as parcelas e executam a tomada de amostras para as mensurações, da precisão da calibração do fracionador e sua frequência, etc.

Os procedimentos de levantamento de dados estão sujeitos a erros inerentes tanto as metodologias de coleta a campo quanto as metodologias utilizadas em laboratório. No campo a variabilidade de alguns parâmetros é notada em diferenças de alguns centímetros, como exemplo a taxa de infiltração. Em laboratório as causas de erros são bastante variáveis, desde acuidade do laboratorista até a calibração e estado dos equipamentos.

Há também os erros ou variações temporais. A micro topografia da parcela varia com o passar dos eventos e ao longo dos anos, decorrente das práticas de manejo do solo. Esta variação não foi possível detectar, já que não se dispunha dos mapas do micro-relevo das parcelas anteriores ao levantamento de dados para este trabalho.

A condutividade hidráulica estimada a campo constitui-se naquela encontrada no momento da sua determinação a campo, e não das datas históricas de cada evento considerado. Neste particular, considerando também a variabilidade espacial, ao removermos parte do solo superficial da parcela 11 m, encontramos um micro-relevo de ondulações em todos os sentidos na camada sub-superficial (mais compactada), com cristas distanciadas, em média, de 20 a 30 cm. Esta camada é resultado das diversas operações de preparo do solo ao longo das safras. Evidentemente que as taxas de infiltração pontual em uma crista, pontual numa depressão e média são diferentes.

Estes são as principais fontes de erros relativos à qualidade da coleção de dados utilizados nas simulações, que podem resultar em diferenças significativas

nas estimativas de perdas de solo e água, dependendo da sensibilidade do modelo ao parâmetro em questão.

4.3 Possibilidades de uso do modelo WEPP

A utilização do modelo WEPP para as nossas condições é bastante viável. A sua utilização é fundamental, entre outros modelos existentes ou futuros, para a avaliação, monitoramento e planejamento de uso do solo. É uma ferramenta que, no curto prazo, traria grandes avanços na conservação ambiental do meio agrícola. O investimento na pesquisa, tanto no aspecto financeiro quanto acadêmico e tecnológico, é fundamental. Para isto, a calibração dos parâmetros de erodibilidade para as diferentes condições edáficas é fundamental.

Além desta calibração, é necessária a avaliação das taxas de crescimento para as diversas espécies que ocorrem no Paraná. Estas são dependentes das condições climáticas (temperatura, umidade, radiação solar, etc.), do manejo (cortes, raleamentos, pisoteio, pressão de pastejo, etc.) e da fertilidade do solo. Utilizam dados mais fáceis de serem obtidos, sendo, portanto, de determinação mais simples em comparação com a calibração dos fatores de erodibilidade.

Para o uso do modelo WEPP, será necessário estabelecer critérios para a construção de bancos de dados climáticos, edáficos, topográficos e de manejo. Há necessidade de ampliar os dados atualmente levantados, em tipo e número, conforme a necessidade do modelo. Além disto, construção dos arquivos de entrada de dados no modelo é uma atividade trabalhosa e pode se constituir numa barreira para a utilização generalizada do modelo, portanto, a ampliação e sistematização dos dados e informações são fundamentais.

De maneira geral, a fase de validação metodológica para a calibração dos fatores de erodibilidade constitui-se na maior barreira para a utilização do WEPP.

4.4 Sugestões para estudos futuros

- (a) Estudo da dinâmica da formação de crosta superficial
- (b) Estudo da dinâmica da consolidação do solo pós manejo e sua relação com as características edafo-climáticas;
- (c) Estudo comparativo da eficiência de determinações das tensões de destacamento do solo e críticas em laboratório, em microparcelas, e a campo com chuva simulada;
- (d) Estudo da relação entre os parâmetros de erodibilidade e as características físico-químicas dos solos;
- (e) Verificação da eficiência do modelo WEPP na estimativa das características do aporte de sedimentos;
- (f) Construção de software gerenciador do banco de dados requeridos pelo WEPP e gerenciador das simulações;
- (g) Validação do modelo WEPP, versões encosta, bacia e grid, para as condições brasileiras sob diferentes cenários de manejo do solo.

ANEXO 01 - Dados Climáticos e Referências de Manejo

DATA	Dias aps	PPT ac.	Pluv 11	Pluv 22	Pluviografia	Perdas			
						Água 11	Solo 11	Água 22	Solo 22
04/07/83	preparo								
07/07/83	3	82	128.3	128.3		23.4	0	49.1	3.86
08/07/83	4	137	27	27		23.4	0	15.5	0
11/07/83	7	174	17.5	17.5		6.5	0	4.2	0
19/09/83	77	388.1	6.4	6.4		6.5	0	4.2	0
23/09/83	81	451.1	10.5	10.5		8.3	0	4.2	0
18/10/83	106	558.8	28.2	28.2		1.8	0	1.9	0.02
24/10/83	112	594.9	36.1	36.1		8.3	0	4.2	0
04/11/83	123	623.5		53.8				2.6	0
21/11/83	140	685.1	38.2	38.2		0.5	0	1	0
29/11/83	preparo								
29/12/83	30	137.1	15.7	15.7		1.6	0	2.6	0
30/01/84	62	265.9	29.5	29.5		5.2	0	4.2	0
06/02/84	69	303.2	28.7	28.7		8.3	0.2	4.2	0
07/02/84	70	341.7	39			8.3	0.41		
08/03/84	100	413.7	15.6	15.6		3.9	0	2.6	0
21/03/84	113	461.5		43.9				1.4	0
30/03/84	122	500.8	18.6	18.6		1.3	0	1.9	0
11/05/84	164	642.2	21.9	21.9		3.1	0	8.7	1.8
14/05/84	167	746.2	73	73		54.5	4.6	53.2	6.5
18/05/84	171	756.6	7.2			2.6	0		
13/06/84	197	805.7	29	29		1.6	0	1.6	0
14/06/84	198	832.7	26.8			8.3	0		
15/06/84	199	851.2	18.4	18.4		3.1	0	2.6	0
27/06/84	preparo								
03/08/84	37	89.5	45.5	45.5		18.3	0	9.8	0
22/08/84	56	149.2		17.3				13	0
27/08/84	61	206.7	18.8			17	0		
20/09/84	85	254.7	38.5	38.5		26.1	0	19.6	0
26/09/84	91	346.2	68.4	68.4		43.1	0.468	35.9	0.91
05/11/84	131	479	67.4	67.4		13	0	11.7	0
12/11/84	138	536	50.4	50.4		17	0.01	39.1	0.118
19/11/84	145	562.8	55.7	55.7		19.6	0.014	30	0.069
26/11/84	preparo								
26/11/84		--> Preparo							
14/12/84	18	133.6		36				10.4	0.008
31/12/84	35	192.4	38.9	38.9		24.8	0.022	19.6	0.029
08/01/85	256.8	43	23.1	23.1	18.5	15.7	0.009	17	0.022
05/02/85	310.8	71	4.2			10.4	0.004		
11/02/85	345.8	77	14	14	14	13	0.007	11.1	0.009
25/03/85	482.3	119		41.3	41.3			13	0.013
09/04/85	545.2	134		46.4	46.4			3.9	0.001
11/04/85	570.6	136	20.4	20.4	20.4	6.5	0.001	6.5	0.042
26/06/85	preparo								
02/09/85	84.2	68		35.3	35.3			3.3	0.001
25/10/85	209.5	121	15.8	15.8	15.8	5.2	0.001	3.3	0.066
29/10/85	227.3	125	17.4	17.4	17.1	5.2	0.001	2	0
22/11/85	308.8	149							
24/11/86	preparo								
08/05/87	895	165	58.2	58.2	58.2	9.4	6.8		
18/05/87	1029.1	175	98.6	98.6		11	5.5		
19/05/87	1079.2	176	14.2	14.2	14.2	0.4	0.19	6.6	4.119
20/05/87	1123.5	177	50	50	50	20	7.142	8.4	4.042
21/05/87	1123.5	178	40.8	40.8		8	0	0.7	0.103
16/06/87	preparo							13.6	5.389
08/07/87	64	22	47.4	47.4	47.7	4.7	3.6	11.4	2.207
16/08/87	144.8	61	52.8	52.8		6.8	1.7		
24/09/87	232.3	100		4.5	4.5			2.6	3.233
01/10/87	289.4	107	29.5	29.5	29.5	2	0.44	4	2.587

DATA	Dias aps	PPT ac.	Pluv 11	Pluv 22	Pluviografía	Perdas			
						Água 11	Solo 11	Água 22	Solo 22
03/01/90	172.8	33	49.8			0.1	0.06	0	0.001
08/01/90	218.4	38	45.3			0	0.001	0.1	0.06
10/01/90	303.4	40	45.3			0	0.002		
17/01/90	422.7	47	38.9	15		0.1	0.001	0	0.003
22/01/90	496.5	52	46.5			0.8	0.301		
23/01/90	507.5	53						0	0.002
24/01/90	534.5	54	38			0.7	0.068	0	0.001
13/02/90	632.6	74	46.4	26.3		0.5	0.107	0.3	0.141
05/03/90	706	94	35.8	1.9		0.4	0.12		
22/03/90	814.3	111	61.2			1.8	0.43	0.6	0.246
24/03/90	826.1	113						0.6	0.162
26/03/90	837.9	115	18.5	4.2		0	0	0.5	0.169
02/04/90	869.1	122	21.9			0	0	1.8	0.554
09/04/90	918.1	129	28.2			0	0		
30/04/90	1007.9	150	30.4	12.3		9.7	0.275	0.2	0.041
17/05/90	1062.7	167	36.6			1.6	0.005	0	0
22/05/90		preparo						0.1	0.016
06/06/90	99	15	35.7			0	0.001	12.8	0.275
16/06/90	119.6	25	14.9					2.3	0.009
21/06/90	136.8	30	16.7	16.5					
04/07/90	159.7	43	18.5	14.2		0	0	0.1	0
17/07/90	221	56	57.5			0	0.001	0	0
20/07/90	319.3	59	91.6			4.2	0.057	0	0
23/07/90	367.1	62	43.2			0.7	0.003	0	0.001
27/07/90	407.5	66	17.9	14.2		0	0	0.1	0
30/07/90	427.6	69	15.3					0.1	0
17/08/90	465	87	22	19.3		0.1	0	3.4	0.097
20/08/90	542	90	52.1			14.8	0.529	0.5	0
27/08/90	607.2	97	49.8			3	0.045	0	0.001
10/09/90	671.8	111	12.3			0	0	0.6	0
13/09/90	742.8	114	64.5			0.2	0.001	11.5	0.189
24/09/90	800.8	125	26.5	8		0.1	0	6.6	0.126
10/10/90	844.5	141	15	14.8		0.3	0.005		
15/10/90	916.3	146	59.5			9.5	0.476	0.7	0.032
05/11/90	1025.9	167	26			2.7	0.073	0	0
29/11/90		preparo						0	0.005
07/12/90	41.4	8	23.8			0.2	0	11.7	0.223
03/02/91	216.4	66	31.8		0.2	0.001	1.1	2.7	0.08
05/02/91	254.8	68	20	20.2	4.7	0.071	7.4		
07/02/91	323.8	70	66		14.9	0.181	20	0.1	0.001
13/02/91	380.8	76	13.5		6.3	0.19	0.3		0.009
18/02/91	441.8	81	55.2		41	0.687	19.4		0.304
15/04/91	649.5	137	45.9	?	16.3	0.119	28.9		0.802
19/04/91	686.2	141	28.2		0.1	0.004	2.1		0.003
23/04/91		preparo							2.241
14/05/91	70.6	21	22	19.4	0	0	0.1		4.492
15/05/91	95.6	22	23		0.1	0	0		0.027
21/06/91	214	59	65.8	61.3	1.4	0.036	2.2		0.169

ANEXO 02 - Exemplos de Arquivos de Entrada

1. Arquivo solo

```

1
'LEa8 ' 'argiloso' 3 0.5 0.521 3450000 0.023 4.27
085.0 0.9300 00.0 0.0 0 5.9 65.0 2.6 12. 0.0
360.0 1.4565 00.0 0.0 0 5.8 62.0 2.6 12. 0.0
600.0 1.1300 00.0 0.0 0 4.6 74.0 2.6 12. 0.0

```

2. Arquivo Clima

```

2 1
ESTACAO: IAPAR/PGROSSA CLIGEN VERSION 2.3
Latitude Longitude
25.83 50.16
COMECO DO ANO: 34 NUMERO DE ANOS SIMULADOS: 1
MEDIAS MENSAIS TEMPERATURAS MAX OBSERVADAS
29.2 28.9 24.9 25.3 22.8 21 21 21.8 25.2 25.9 28.2 29.5
MEDIAS MENSAIS TEMPERATURAS MIN OBSERVADAS
16.5 15.5 15.7 13.8 10.7 9.1 6.4 9.9 11 13.6 15.1 16.8
MEDIAS MENSAIS RADIACOES SOLARES OBSERVADAS
415.1 429.2 275.8 263.9 240.7 191.5 257 246.1 318 338.8 407.1 426
MEDIAS MENSAIS PRECIPITACAO OBSERVADA(mm)
3.53 9.26 3.51 5.58 1.98 5.55 0.23 1.99 0.91 5.53 2.83 6.31
Dia Mês Ano Nbrkpt Tmax Tmin rad Vvent Az PtoOrv
(n) (C) (C) (ly/dia)(m/seg)(Az/N)(C)
5 2 91 46 17 7 250 0.02 0 15
5.67 0.
6. 0.4
6.33 1.3
6.67 3.3
7. 8.
7.33 14.3
7.67 18.7
8. 19.5
8.33 20.4
8.67 21.8
9. 23.4
9.33 25.
9.67 31.2
10. 32.4
10.33 34.6
10.67 36
11. 37.4
11.33 38.9
11.67 39.6
12. 39.9
12.33 40.
12.67 40.4
13. 40.9
13.33 43.5
13.67 44.7
14. 45.9
14.33 46.2

```

14.67 46.5
 15. 46.6
 15.33 46.6
 15.67 46.7
 16. 47.
 16.33 47.2
 16.67 47.4
 17. 47.7
 17.33 47.9
 17.67 47.9
 18. 48.
 18.33 48.
 18.67 48.
 19. 48.
 19.33 48.1
 19.67 48.1
 20. 48.2
 20.33 48.2
 20.67 48.4

3. Archivo Manejo

1 1 0 0 0

Management file

1 year Single Storm

1 overland flow element

1 no crop

5.200 3.000 30.000 4 3.500 60 0.000 0.152 0.0064 0.900
 0.990 3.000 1700 0.42 0.910 0.00039 0.00039 15 0.000 0.005
 0.300 0.250 1 9999 0 8.000 60.000 0.000

1

5

210 0.250 1 0.043 0.050 0.360 0.150 0.93 Moldboard Plow

230 0.200 2 0.015 0.025 0.150 0.100 0.25 Field Cultivation

274 0.100 2 0.026 0.050 0.230 0.100 0.50 Tandem Disk

275 0.050 2 0.01 0.025 0.075 0.000 0.10 Roller Packer

280 0.050 2 0.012 0.050 1.000 0.000 0.15 Drill

8 20 8 1

0

1 0.000 0.000 0.000 0.0 0.0 1 1 0.02 0.03 0.930 978.6 210 230 0.00 0.00 0.00

2

1 1 1 0 0.050 0.250

280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900

1 1 1 0 0.050 0.250

280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900

2

1 1 1 0 0.050 0.250

280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900

1 1 1 0 0.050 0.250

280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900

2

1 1 1 0 0.050 0.250
 280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900
 1 1 1 0 0.050 0.250
 280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900

2

1 1 1 0 0.050 0.250
 280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900
 1 1 1 0 0.050 0.250
 280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900

2

1 1 1 0 0.050 0.250
 280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900
 1 1 1 0 0.050 0.250
 280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900

2

1 1 1 0 0.050 0.250
 280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900
 1 1 1 0 0.050 0.250
 280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900

2

1 1 1 0 0.050 0.250
 280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900
 1 1 1 0 0.050 0.250
 280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900

2

1 1 1 0 0.050 0.250
 280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900
 1 1 1 0 0.050 0.250
 280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900

2

1 1 1 0 0.050 0.250
 280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900
 1 1 1 0 0.050 0.250
 280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900

2

1 1 1 0 0.050 0.250
 280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900
 1 1 1 0 0.050 0.250
 280 180 0.100 5 0 0 0.000 0.000 0 0 0.000 190 0.900

4. Archivo Topográfico

1
 100 3.5
 3 22.
 0. 0.126 5.5 0.084 11. 0.046

ANEXO 03 - Descrição das Variáveis nos Arquivos de Entrada

1. Arquivo Solo

linha 01:	a)	n.o de elementos da superfície (rampas diferentes)
linha 02:	a)	nome do solo
	b)	textura do solo
	c)	n.o de camadas do solo (horizontes)
	d)	albêdo do solo
	e)	saturação inicial (umidade antecedente ao evento)
	f)	parâmetro de erodibilidade entre sulcos
	g)	parâmetro de erodibilidade em sulcos
	h)	taxa crítica de destacamento de partículas
linha 03:	a)	profundidade da camada (em mm) a partir da superfície.
	b)	densidade aparente inicial (mg/cc)
	c)	condutividade hidráulica saturada da matriz do solo (mm/h)
	d)	capacidade de campo a 1/3 de atm (mm/mm)
	e)	capacidade de campo a 15 atm (mm/mm)
	f)	% areia
	g)	% argila
	h)	% M.O. por volume
	i)	Capacidade de Troca Catiônica
	j)	% de fragmentos de rocha por volume

2. Arquivo Clima

linha 1:	a)	2	chuva simples
	b)	1	dados graduais da ppt. são usados (max 50 pontos)
linha 2:	a)	"texto"	identificação da estação climática (local evento)
	b)	"texto"	Cligen2.1
linha 3:	Latitude	Longitude	nomes correspondentes das variáveis da próxima linha
linha 4:	a)	Graus de Latitude	
	b)	Graus de Longitude	
linha 5:		ano inicial e numero de anos simulados	nomes correspondentes das variáveis da próxima linha
linha 6:		temperaturas máximas médias mensais observadas (oC)	nomes correspondentes das variáveis da próxima linha
linha 7:		temperaturas máximas médias mensais observadas (oC)	nomes correspondentes das variáveis da próxima linha
linha 8:		temperaturas mínimas médias mensais observadas (oC)	nomes correspondentes das variáveis da próxima linha
linha 9:		temperaturas mínimas médias mensais observadas (oC)	nomes correspondentes das variáveis da próxima linha
linha 10:		médias mensais da radiação solar observada.	nomes correspondentes das variáveis da próxima linha
linha 11:		médias mensais da radiação solar observada.	nomes correspondentes das variáveis da próxima linha
linha 12:		médias das precipitações mensais (mm)	nomes correspondentes das variáveis da próxima linha
linha 13:		médias das precipitações mensais (mm)	

	nomes correspondentes das variáveis da próxima linha	
linha 14:	DIA MES ANO nbrkpt tmax tmin RAD Vven Dven POrv	
linha 15:	(#)	(C) (C) (ly/dia) (m/seg) (Az/N) (C)
linha 16*:	a)	dia do evento simulado
	b)	mês
	c)	ano
	d)	numero de pontos de observação da chuva
	e)	temperatura máxima (oC)
	f)	temperatura mínima (oC)
	g)	radiação solar (langleys/dia)
	h)	velocidade do vento (m/sec)
	i)	direção do vento (em graus em relação ao Norte)
	j)	Ponto de Orvalho (oC)
linhas 17 em diante:	a)	tempo (min decimais de hora)
	b)	precipitação acumulada desde o início da chuva (primeiro valor é 0.0)

3. Arquivo Manejo

linha 1:	a)	numero de elementos (tipos) diferentes de solo
	b)	numero de culturas diferentes que se desenvolvem durante o periodo de simulação
	c)	sistema de irrigação
	d)	forma de ppt da irrigação
	e)	camada de drenagem sub-superficial (sistema) -(não há)
linha 2:	"texto-comentário"	
linha 3:	"texto-comentário"	
linha 4:	"texto-comentário"	
linha 5:	a)	código para tipificar a vegetação
	b)	
linha 6:	"parâmetros dependentes das plantas"	
linha 7: a)	numero de operações de preparo do solo / ano	
linha 8:	a)	numero de operações utilizadas em cada preparo do solo
repete +1x		
linha 9:	a)	dia do preparo (juliano)
repete +1x	b)	profundidade do preparo do solo (m)
	c)	tipo de preparo (1 - primário ou 2-secundário)
	d)	rugosidade pós-preparo do solo (m)
	e)	altura do sulco pós preparo (m)
	f)	intervalo dos sulcos (m)
	g)	profundidade média de preparo (m)
	h)	intensidade de preparo
	i)	nome do preparo
linha 10:	n.o , linhas, posição plantio, etc.	
linha 11:	a)	numero de cordões de contomo
linha 12:	a)	dados da linha anterior (declividade, linhas, espaçamento, etc.)
linha 13:	a)	uso da terra (1-agricultura)
	b)	cobertura inicial (0-1)

c)	cobertura inicial entre sulcos (0-1)
d)	cobertura inicial da rampa (0-1)
e)	largura inicial da rampa (m)
f)	espaçamento da rampa (m)
g)	tipo dos resíduos (sedimentos) iniciais
h)	resíduos iniciais dos sistemas de cultivo (1-anual)
i)	rugosidade inicial após a aração (preparo do solo)
j)	altura de rugosidade pós-aração
k)	densidade aparente pós aração
l)	ppt acumulada desde o último preparo do solo
m)	numero de dias desde o último preparo do solo
n)	numero de dias desde a última colheita
o)	profundidade inicial de neve
p)	profundidade inicial congelamento
q)	profundidade inicial de degelo

4. Arquivo Topográfico

linha 01	a)	numero de elementos da rampa (define n.o linhas 3 e 4)
linha 02	a)	azimute
	b)	largura do perfil (declive) representado
linha 03	a)	numero e distância dos elementos do perfil de OFE1
	b)	comprimento de OFE1 (m)
linha 04	a)	numero e distância dos elementos do perfil de OFE1
	b)	comprimento de OFE1 (m)
linha 03	a)	numero e distância dos elementos do perfil de OFE2
	b)	comprimento de OFE2 (m)
linha 04	a)	numero e distância dos elementos do perfil de OFE2
	b)	comprimento de OFE2 (m)

Observação: As variáveis descritas aqui são as essenciais para a simulação de solo sem cobertura. Para maiores detalhes a respeito dos parâmetros relativos à culturas; que não estão incluídos, consultar o manual do WEPP.

ANEXO 4 - Análises físico-químicas dos solos

1. Granulometria

Parcela	Camada (mm)	% areia	% silte	% argila
11	0 - 160	5,5	32,5	62
	160-360	5,8	30,2	64
	400 - 600	4,6	21,4	74
22	0 - 160	5,9	29,1	65
	160-360	5,8	32,2	62
	400 - 600	4,6	21,4	74

2. Densidades (médias das parcelas 11 e 22 m)

	Profundidade (cm)	Densidade (g/cm ³)
Superficial pós-aração		0,93
Sub-superficial		
Posição na parcela		
Superior	7,3	1,473
Média	8,2	1,465
Inferior	10,1	1,432

3. Condutividade hidráulica saturada média

(camada sub-superficial)

a. Método dos anéis (laboratório)	8,95 mm/h
b. Método dos anéis concêntricos (campo)	6,00 mm/h

4. Análise Química da camada arável

	Parcela: 11 m	22 m
pH (CaCl ₂)	4,7	4,9
Al	0,5	0,2
H + Al	7,2	7,2
Ca	2,0	2,4
Mg	1,7	2,3
K	0,1	0,1
P	1,0	1,0
% C	1,6	1,5
V%	34,5	39,8
S	3,8	4,8
CTC	11,0	12,0
% MO	2,8	2,6

Anexo 05 - Exemplos de Arquivos de Entrada no Programa de Simulação RHD.EXE

```

* VENTO PARC MAX_KI MIN_KI D_KI MAX_KR MIN_KR D_KR MAX_TC MIN_TC D_TC Go
KIRT
 2 11 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 0.0099
 3 11 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 0.0011
 4 11 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 0.0011
38 11 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 9.46
39 11 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 7.04
44 11 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 0.033
48 11 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 13.761
53 11 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 0.22
55 11 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 0.0858
58 11 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 0.781
69 11 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 1.551
 2 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 0.0484
 4 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 0.1452
10 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 0.044
11 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 15.4
16 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 3.0338
20 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 0.2134
25 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 0.3102
26 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 0.605
28 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 5.4736
30 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 26.466
31 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 0.2596
38 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 9.46
39 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 7.04
44 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 0.484
53 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 5.72
55 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 0.4576
56 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 9.746
57 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 0.0396
69 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 9.086
74 22 2200000 200000 0.05 0.0321 0.0012 0.05 5.2 0.2 0.05 1.342
R
32 11 1 0.2 0.01
33 11 1 0.2 0.01
34 11 1 0.2 0.01
35 11 1 0.2 0.01
36 11 1 0.2 0.01
37 11 1 0.2 0.01
*38 11 1 0.2 0.01
*39 11 1 0.2 0.01
*40 11 1 0.2 0.01
*41 11 1 0.2 0.01
44 11 1 0.2 0.01
45 11 1 0.2 0.01
*46 11 1 0.2 0.01
47 11 1 0.2 0.01
48 11 1 0.2 0.01

```

ANEXO 06 - Exemplo de Arquivo de Saída do Programa de Simulação RHD.EXE

```

22 30 (KIRT)
562500.00000 0.00301 0.00100 24.21000
562500.00000 0.00301 0.10100 23.39900
562500.00000 0.00301 0.20100 22.58000
562500.00000 0.00301 0.30100 21.77900
562500.00000 0.00301 0.40100 20.96200
562500.00000 0.00301 0.50100 20.14500
562500.00000 0.00301 0.60100 19.32800
562500.00000 0.00301 0.70100 18.51100
562500.00000 0.00301 0.80100 17.69600
562500.00000 0.00301 0.90100 16.88300
562500.00000 0.00301 1.00100 16.07400
562500.00000 0.00301 1.10100 15.26900
562500.00000 0.00301 1.20100 14.46900
562500.00000 0.00301 1.30100 13.67600
562500.00000 0.00301 1.40100 12.89000
562500.00000 0.00301 1.50100 12.11300
562500.00000 0.00301 1.60100 11.34500
562500.00000 0.00301 1.70100 10.58800
562500.00000 0.00301 1.80100 9.84400
562500.00000 0.00301 1.90100 9.11300
562500.00000 0.00301 2.00100 8.39800
562500.00000 0.00301 2.10100 7.69900
562500.00000 0.00301 2.20100 7.01900
562500.00000 0.00301 2.30100 6.36100
562500.00000 0.00301 2.40100 5.72600
562500.00000 0.00301 2.50100 5.11900
562500.00000 0.00301 2.60100 4.54100
562500.00000 0.00301 2.70100 4.00000
562500.00000 0.00301 2.80100 3.47900
562500.00000 0.00301 2.90100 3.05000
562500.00000 0.00301 3.00100 2.67000
562500.00000 0.00401 0.00100 30.56300
562500.00000 0.00401 0.10100 29.55100
562500.00000 0.00401 0.20100 28.52600
562500.00000 0.00401 0.30100 27.51500
562500.00000 0.00401 0.40100 26.48600
562500.00000 0.00401 0.50100 25.45200
562500.00000 0.00401 0.60100 24.41600
562500.00000 0.00401 0.70100 23.37700
562500.00000 0.00401 0.80100 22.33800
562500.00000 0.00401 0.90100 21.29900
562500.00000 0.00401 1.00100 20.26200
562500.00000 0.00401 1.10100 19.22800
562500.00000 0.00401 1.20100 18.19800
562500.00000 0.00401 1.30100 17.17400
562500.00000 0.00401 1.40100 16.15700
562500.00000 0.00401 1.50100 15.14900
562500.00000 0.00401 1.60100 14.15100
562500.00000 0.00401 1.70100 13.16500
562500.00000 0.00401 1.80100 12.19300
562500.00000 0.00401 1.90100 11.23700
562500.00000 0.00401 2.00100 10.29900
562500.00000 0.00401 2.10100 9.38100
562500.00000 0.00401 2.20100 8.48700
562500.00000 0.00401 2.30100 7.61900
562500.00000 0.00401 2.40100 6.78100

```

(...)

(22) (30) (562500.00000) (0.00401) (0.40100) <0.00040002>

ANEXO 07 - Exemplo de arquivo de Saída do Modelo WEPP

USDA WATER EROSION PREDICTION PROJECT : HILLSLOPE PROFILE VERSION 91.5

WARNING : THIS PROTOTYPE VERSION HAS NOT BEEN VALIDATED.

To report problems or to be put on the mailing list for future WEPP model and documentation releases, please contact Dennis Flanagan at:

USDA-Agricultural Research Service
National Soil Erosion Research Laboratory
Purdue University, Building SOIL
West Lafayette, IN 47907
Phone: (317) 494-8673
Fax: (317) 494-5948

INPUT DATA FILES - PROTOTYPE VERSION 91.5

Slope: t22a
Climate: c38
ESTACAO: IAPAR/PGROSSA CLIGEN VERSION 2.3
Management: m38
Management file
1 year Single Storm
1 overland flow element
Soil: s3822
plane 1 LEa8 argiloso

I. SINGLE STORM HYDROLOGY

infiltration, rainfall excess, and runoff hydrograph for event of 5 2 91
hydrology summary

rainfall amount	48.40 (mm)
rainfall duration	759.60 (min)
normalized peak intensity	4.99
normalized time to peak	0.11

rainfall time intensity (min) (mm/hr)	
---	--

0.00	3.68
79.01	18.09
95.06	16.00
113.21	13.88
134.14	11.75
158.85	9.63
189.02	7.50
227.75	5.36
281.93	3.20
372.81	0.75
759.60	0.00

 hillslope 1

 overland flow element 1

infiltration input parameters

effective saturated conductivity 0.51 (mm/h)
 effective matric potential 117.16 (mm)
 effective porosity 0.54 (mm/mm)
 saturation 54.13 (%)
 canopy cover 0.00 (%)
 surface cover 0.00 (%)

input runoff parameters

plane length 22.00 (m)
 discharge exponent 1.50
 average slope of profile 0.10
 chezy coefficient 4.39 (m**0.5/s)

output runoff parameters

equivalent sat. hydr. cond. 0.51 (mm/hr)
 equivalent matr. potential 117.16 (mm)
 average pore fraction 0.49 (m/m)
 average saturation fraction 0.25 (m/m)

runoff output

runoff volume 15.75 (mm)
 peak runoff rate 9.06 (mm/hr)
 effective runoff duration 104.36 (min)

output runoff hydrograph for hillslope 1

index	time (min)	cumul.	
		rate (mm/h)	depth (mm)
1	0.00	0.00	0.00
2	10.00	0.00	0.00
3	20.00	0.00	0.00
4	30.00	0.00	0.00
5	40.00	0.00	0.00
6	50.00	0.00	0.00
7	60.00	0.00	0.00

8	70.00	0.00	0.00
9	79.01	0.00	0.00
10	80.00	0.00	0.00
11	90.00	0.70	0.00
12	95.06	6.50	0.06
13	100.00	8.27	0.36
14	110.00	8.75	0.97
15	113.21	9.06	2.39
16	120.00	7.65	2.88
17	130.00	7.96	3.81
18	134.14	8.18	5.11
19	140.00	6.69	5.67
20	150.00	6.61	6.39
21	158.85	6.88	7.50
22	160.00	6.49	8.50
23	170.00	5.03	8.63
24	180.00	5.21	9.59
25	189.02	5.38	10.44
26	190.00	5.07	11.24
27	200.00	3.42	11.32
28	210.00	3.57	12.03
29	220.00	3.69	12.61
30	227.75	3.77	13.22
31	230.00	3.16	13.70
32	240.00	1.78	13.83
33	250.00	1.84	14.24
34	260.00	1.93	14.54
35	270.00	2.01	14.85
36	271.00	2.02	15.18

runoff hydrograph summary for hillslope 1

rainfall volume	48.40 (mm)
infiltration volume	32.65 (mm)
runoff volume	15.75 (mm)
peak rainfall intensity	18.09 (mm/h)
final infiltration rate	0.75 (mm/h)
peak runoff rate	9.06 (mm/h)
rainfall duration	759.60 (min)
time to first ponding	79.01 (min)
effective runoff duration	104.36 (min)

II. ON SITE EFFECTS ON SITE EFFECTS ON SITE EFFECTS

A. AREA OF NET SOIL LOSS

** Soil Loss (Avg. of Net Detachment Areas) = 2.640 kg/m² **
 ** Maximum Soil Loss = 5.321 kg/m² at 11.00 meters **

** Intermill Contribution = 0.096 kg/m² for OFE # 1

Area of Net Loss (m)	Soil Loss MEAN (kg/m ²)	Soil Loss STDEV (kg/m ²)	MAX Loss (kg/m ²)	MAX Loss Point (m)	MIN Loss (kg/m ²)	MIN Loss Point (m)
----------------------------	---	--	-------------------------------------	-----------------------------	-------------------------------------	-----------------------------

0.00-	18.26	2.640	1.756	5.321	11.00	0.096	1.10
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------

B. AREA OF SOIL DEPOSITION

** Soil Deposition (Avg. of Net Deposition Areas) = -10.211 kg/m² **

** Maximum Soil Deposition = -12.809 kg/m² at 22.00 meters **

Area of Net Dep (m)	Soil Dep MEAN (kg/m ²)	Soil Dep STDEV (kg/m ²)	MAX Dep (kg/m ²)	MAX Dep Point (m)	MIN Dep (kg/m ²)	MIN Dep Point (m)
18.26- 22.00	-10.211	2.290	-12.809	22.00	-3.652	18.48

C. SOIL LOSS/DEPOSITION ALONG SLOPE PROFILE

Profile distances are from top to bottom of hillslope

distance (m)	soil flow loss elem (kg/m ²)	distance (m)	soil flow loss elem (kg/m ²)	distance (m)	soil flow loss elem (kg/m ²)
0.22	0.096 1	7.70	3.805 1	15.18	2.736 1
0.44	0.096 1	7.92	3.919 1	15.40	2.567 1
0.66	0.096 1	8.14	4.032 1	15.62	2.395 1
0.88	0.096 1	8.36	4.142 1	15.84	2.220 1
1.10	0.096 1	8.58	4.249 1	16.06	2.043 1
1.32	0.096 1	8.80	4.355 1	16.28	1.864 1
1.54	0.096 1	9.02	4.459 1	16.50	1.683 1
1.76	0.096 1	9.24	4.561 1	16.72	1.499 1
1.98	0.096 1	9.46	4.661 1	16.94	1.314 1
2.20	0.096 1	9.68	4.759 1	17.16	1.127 1
2.42	0.096 1	9.90	4.856 1	17.38	0.938 1
2.64	0.099 1	10.12	4.952 1	17.60	0.748 1
2.86	0.245 1	10.34	5.046 1	17.82	0.558 1
3.08	0.464 1	10.56	5.139 1	18.04	0.366 1
3.30	0.678 1	10.78	5.230 1	18.26	0.144 1
3.52	0.886 1	11.00	5.321 1	18.48	-3.652 1
3.74	1.088 1	11.22	5.309 1	18.70	-7.000 1
3.96	1.283 1	11.44	5.192 1	18.92	-8.392 1
4.18	1.472 1	11.66	5.072 1	19.14	-9.075 1
4.40	1.654 1	11.88	4.949 1	19.36	-9.498 1
4.62	1.830 1	12.10	4.822 1	19.58	-9.825 1
4.84	2.001 1	12.32	4.692 1	19.80	-10.115 1
5.06	2.166 1	12.54	4.559 1	20.02	-10.392 1
5.28	2.326 1	12.76	4.423 1	20.24	-10.663 1
5.50	2.481 1	12.98	4.284 1	20.46	-10.933 1
5.72	2.631 1	13.20	4.142 1	20.68	-11.201 1
5.94	2.776 1	13.42	3.997 1	20.90	-11.469 1
6.16	2.917 1	13.64	3.849 1	21.12	-11.737 1
6.38	3.054 1	13.86	3.699 1	21.34	-12.005 1
6.60	3.188 1	14.08	3.545 1	21.56	-12.273 1
6.82	3.317 1	14.30	3.389 1	21.78	-12.541 1
7.04	3.444 1	14.52	3.230 1	22.00	-12.809 1
7.26	3.567 1	14.74	3.068 1		
7.48	3.687 1	14.96	2.903 1		

note: (+) soil loss - detachment (-) soil loss - deposition

III. OFF SITE EFFECTS OFF SITE EFFECTS OFF SITE EFFECTS

A. SEDIMENT LEAVING PROFILE for feb 5 58 10.019 kg/m

B. SEDIMENT CHARACTERISTICS AND ENRICHMENT

Sediment particle information leaving profile

Class	Diameter (mm)	Specific Gravity	Particle Composition			Detached Fraction		
			% Sand	% Silt	% Clay	% O.M.	Sediment In Flow Fraction Exiting	
1	0.002	2.60	0.0	0.0	100.0	4.1	0.164	0.729
2	0.010	2.65	0.0	100.0	0.0	0.0	0.000	0.000
3	0.100	1.80	0.0	33.1	66.9	2.8	0.311	0.259
4	1.260	1.60	11.1	39.7	49.2	2.0	0.524	0.010
5	0.200	2.65	100.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.002

SSA enrichment ratio leaving profile for feb 5 58 = 1.39

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAUMER, O.W. **Prediction of soil hydraulic parameters.** In: WEPP Data Files for Indiana. SCS National Soil Survey Laboratory, Lincoln, NE, 1990..
2. BECK, M.B. **Mathematical Modeling of Water Quality: Streams, Lakes, and Reservoirs.** John Wiley & sons ed. New York, 1993.
3. BERTONI, J. , LONBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** Icone ed. São Paulo, 1990.
4. CHAVES, H.M.L. , NEARING, M.A. **Uncertainty Analysis of the WEPP Soil Erosion Model.** vol. 34 (6) American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, 1991.
5. CHAVES, H.M.L. **Análise global de sensibilidade dos parâmetros da equação universal de perda de solo modificada (MUSLE).** Revista da SBSC, Campinas, 1991.
6. CHAVES, H.M.L. et al. **Propostas para adequação de modelos matemáticos de erosão às condições paranaenses.** UFPR / IAPAR, 1991.
7. CHAVES, H.M.L. **Novidades sobre o WEPP.** In: Cruz M.C.P. et al. Solos altamente suscetíveis à erosão. IX Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. SBSC ed., 1994. P. 207.
8. CHOW, V.T. **Open-channel hydraulics,** McGraw-Hill Publishing Company. 1959.
9. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Hydraulic Design of Highway Culverts.** Hydraulic Design Series No. 5. Report No. FHA-IP-85-15, FHA, Washington, D.C.,1985.
10. FOSTER, G.R. and L.J. Lane (compilers). 1987. **User requirements: USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP).** NSERL Report No. 1,

USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN, 43 pp.

11. HUDSON, N.W. **Soil conservation**. Ithaca. N.Y., Cornell University Press, 1973. 320 p.
12. LAFLEN, J.M., et al. **Error assessment in the universal soil loss equation**. Soil Science Society of America Journal, v. 57, n. 3. Cincinnati, 1993.
13. LAL, R. **Soil erosion in the tropics**. Ibadan, IITA, 1975.
14. LANE, L.J. et al. **WEPP hillslope profile erosion model user summary**. Chapter S in (L.J. Lane and M.A. Nearing, eds.): **USDA - Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile Model Documentation**. NSERL Report 2, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana, 1989.
15. LANE, L.J., NEARING, M.A. eds. **USDA / Water Erosion Predict Project: Hillslope Profile Model Documentation**. NSERL Report n. 2. West Lafayette. 1989.
16. LAWS, J.O. **Mensurements of the fall velocity of water drops and raindrops**. Trans. Amer. Geophys. Un. , Washington, DC, 22, 1941.
17. MAYER, W.J. **Concepts of mathematical modeling**. Mc.Graw-Hill. Singapore, 1985.
18. MEYER, D.D. Simulation of rainfall for erosion reseach. Trans.ASAE, St. Joseph, Michigan, 1965.
19. MORGAN, R.P.C., MORGAN, D.D.P. **Problems of validation a Meyer-Wischmeier type soil erosion with field data**. John Willey & sons ed. Bedford, 1981.
20. NEARING, M.A. et al. **Model Sensitivity Analysis**. IN: LANE, L.J. & NEARING, M.A. eds. **USDA / Water Erosion Predict Project: Hillslope Profile Model Documentation**. NSERL Report n. 2. West Lafayette. 1989.
21. NEARING. M.A. et al. **Determining erodibility parameters from rangeland fiel data for process-based erosion model**. Paper. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, 1990.
22. NEARING. M.A. et al. **WEPP hillslope erosion model predictions for natural runoff plots**. Paper 90-2078. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, 1990.

23. ROLOFF, G. **Aspectos dinâmicos da estrutura de solos agrícolas e seu estudo.** paper. University of Minesota. St. Paul, 1986.
24. ROLOFF, G. **Estratégias para adaptação de modelos matemáticos de erosão do solo para uso em RIMA's de grandes barragens.** Trabalho preliminar. UFPR / SUREHMA / GTZ. Curitiba, 1991.
25. ROLOFF, G. **The erosivity of rainfall.** paper. 1984.
26. SCHWAB, G.O. et al. **Soil and Water Conservation Engineering.** Third edition. John Wiley and Sons, New York, NY, 1981.
27. SIMANTHON, J.R. et al. **Rangeland evaluation of WEPP hydrology.** ASCE, Durango, 1990.
28. STOTT, D.E. RESMAN: **A tool for soil conservation education.** J. Soil and Water Conservation. 46:332-333, 1991.
29. SUAREZ DE CASTRO, F. **Conservación de suelos.** Madrid, Salvat, 1956.
30. TUCCI, C.E.M. **Modelos matemáticos em hidrologia.** Vol. 3. IPH. Porto Alegre, 1986.
31. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Biblioteca Central. **Normas para apresentação de trabalhos.** 5.^a ed. Ed. da UFPR, Curitiba, 1995.
32. WILLIAMS, et. al. **Simulator for water resources in rural basins.** ASCE Hydraulic J. 3(6):970-986. 1985.
33. WISCHMEIER, W.H. SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion loesses.** IN: A guide for conservation planning. USDA handbook, n. 573, 1978.
34. WISCHMEIER, W.H., MANNERING, J.V. **Relations of soil properties to its erodibility.** IN: A guide for conservation planning. USDA handbook, n. 573, 1978.
35. WISCHMEIER, W.H. SMITH, D.D. **Rainfall energy and its relationship to soil loss.** Trans. Amer. Geophys. Un. , Washington,D.C., 39:285-291, 1958
36. ZHANG, X.C. et al. **Estimation of Green-Ampt conductivity parameters.** Vol. 38(4):1069-1077. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, 1995.