

PCS – 502 CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

Aula 5:

MODELAGEM DA EROÇÃO HÍDRICA:

USLE – UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION.

RUSLE – REVISED UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION.

MUSLE – MODIFIED UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION.

SLEMSA - SOIL LOSS ESTIMATION MODEL FOR SOUTHERN AFRICA.

WEPP – WATER EROSION PREDICTION PROJECT.

OUTROS: EPIC, AGNPS, GLEAMS CREAMS, e EUROSEM.

PROF. MARX LEANDRO NAVES SILVA

MODELAGEM

O termo modelo é derivado da palavra modelo (Latin *modus*), que designa medida justa ou aquilo com que se mede qualquer objeto, fenômeno ou ser.

Tipos de Modelo:

Modelos como cópia da realidade;

Modelos teóricos;

Modelos matemáticos (Físicos e Estatísticos).

Modelagem de Perdas de Solo, Água, Nutrientes, Carbono e Defensivos oriundas da degradação do solo pela erosão hídrica:

O modelo é uma forma de coordenar informações, ele integra todos as variáveis envolvidas no processo erosivo do solo.

- ➔ Vegetação nativa ou artificial (culturas);
- ➔ Solos;
- ➔ Água no solo e no ambiente;
- ➔ Clima;
- ➔ Ciclos de elementos químicos (nutrientes) e do Carbono no solo e no ambiente;
- ➔ Práticas conservacionistas do solo.

Os modelos de simulação podem ser classificados em cinco níveis (Novotny, 1999):

I. Procedimentos estatísticos simples sem interação com processos físicos e químicos;

II. Procedimentos simplificados com alguma interação com processos físico-químicos;

III. Modelos determinísticos simplificados, contínuos ou orientados para eventos;

IV. Modelos sofisticados de eventos;

V. Modelos contínuos sofisticados.

MODELOS PARA AVALIAR A EROSÃO HÍDRICA

USLE (Universal Soil Loss Equation)

RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)

MUSLE (Modification Universal Soil Loss Equation)

SLEMSA (Soil Loss Estimation Model for Southern Africa)

WEPP (Water Erosion Prediction Project)

EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator)

AGNPS (Agricultural Nonpoint Source)

GLEAMS (Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems)

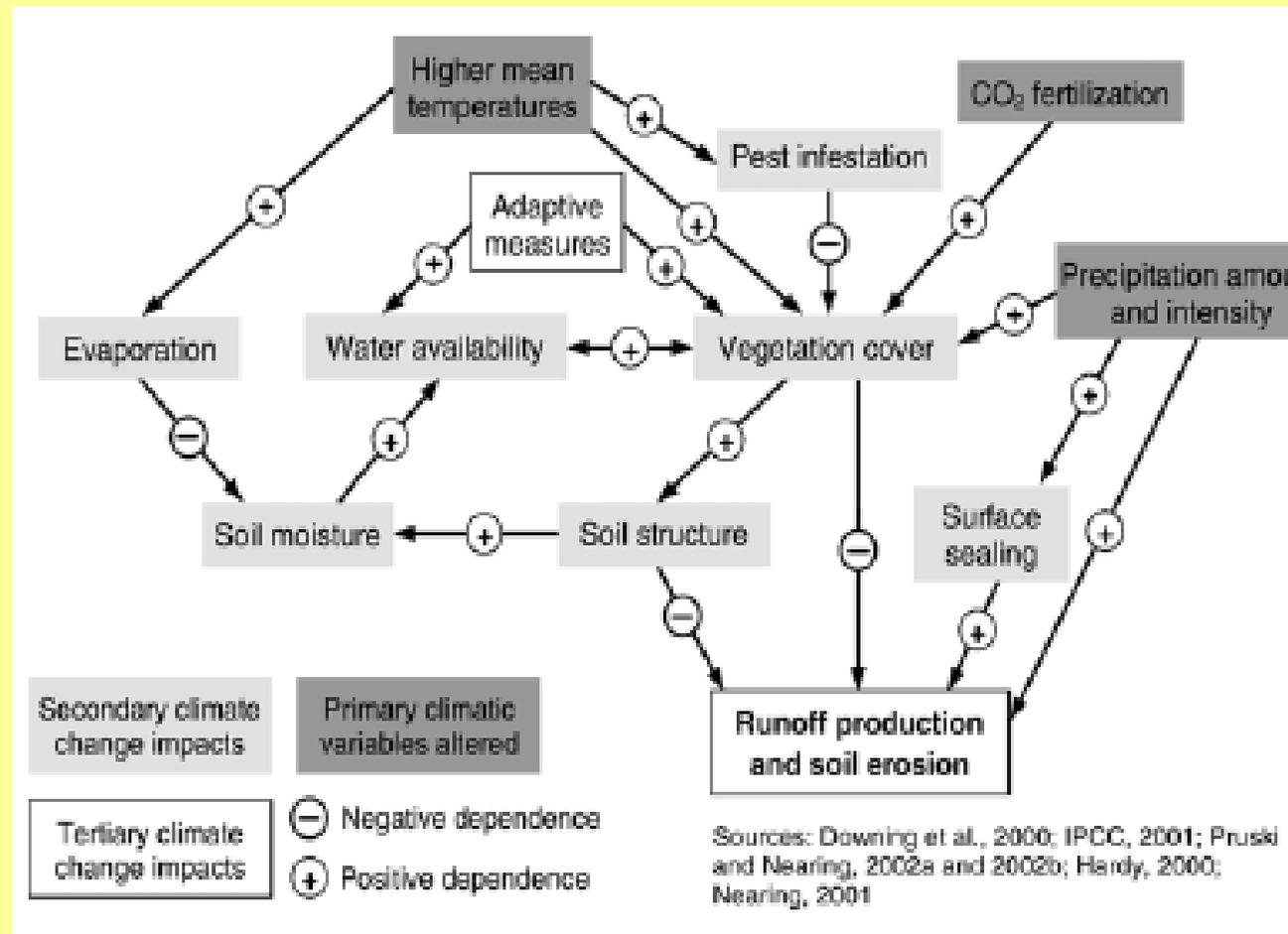
CREAMS (Chemical Runoff Erosion Assessment Management System)

EUROSEM (The European Soil Erosion Model)

Modelos de simulação de qualidade e quantidade de água:

MODELO	AUTOR ANO	FONTE
HSPF - <i>Hydrologic Simulation Program</i>	Bicknell <i>et al.</i> 1993	EPA-Athens
WQRRS - <i>Water Quality for River and Reservoir System</i>	USACE 1978	COE-HEC
QUAL2E - <i>Enhanced Stream Water Quality Model</i>	Brown e Barnwell 1987	EPA
SWMM - <i>Storm Water Management Mode</i>	Huber e Dickinson 1988	USEPA
AGNPS - <i>Agricultural NonPoint Source Pollution Modeling System</i>	Young <i>et al.</i> 1989	USDA
WASP5 - <i>Water-quality Simulation Program</i>	Ambrose <i>et al.</i> 1993	Hydroscience
SWAT - <i>Soil and Water Assessment Tool</i>	Arnold <i>et al.</i> 1998	USDA-ARS

MODELAGEM DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA EROÇÃO HÍDRICA



Impactos das mudanças climáticas agindo sobre os processos de erosão do solo e dinâmica da água são variadas e complexas. A figura mostra de forma qualitativa a mais importante dessas interações e reações, que dependem do clima regional, os atributos do solo, vegetação e uso do solo. Grandes incertezas são afiliadas à qualquer tentativa de prever a direção e a magnitude da mudança nestes parâmetros. O papel central da cobertura vegetal no controle da erosão torna-se evidente, assim como as dificuldades relacionadas à previsão desenvolvimento vegetativo sob a mudança climática.

Exigências para um modelo de simulação da degradação do solo pela erosão hídrica para o Brasil

- Simplicidade;
- Custo;
- Aplicações nas condições dos sistemas agrícolas, pastagens e florestais do Brasil;
- Aplicações nas condições dos sistemas ambientais do Brasil;
- Aplicações para as condições sociais e econômicas do Brasil;
- Exatidão e precisão;
- Reprodução das relações de causa e efeito;
- Considerar aspectos pedológicos e hidrológicos;
- Banco de dados originais e extenso;
- Modelagem integrada (seleção, validação e utilização);
- Organização das informações obtidas tanto para USLE, RUSLE como para a WEPP e outros;
- Desenvolvimento de modelos para o Brasil agregando aspectos positivos dos modelos existentes.

USLE (Universal Soil Loss Equation) **Wischmeier & Smith (1965 e 1978)**

Originalmente projetada de forma a subsidiar ações de planejamento de uso do solo pelos conservacionistas americanos.

FILOSOFIA:

Representada por um número apenas;
Calculada com dados meteorológicos e pedológicos;
Uso de parcela padrão em escala regional;
Fosse livre de qualquer base geográfica.

$$**A = R . K . LS . C . P**$$

Vantagens:

Modelo mais difundido no Brasil;

Uso de simulador. Primeira RBMCSA foi sobre o uso do simulador de chuva (1976);

Fácil compreensão e utilização;

Precisão razoável;

Estrutura fatorial facilitando a compreensão do erros nos fatores;

Erosividade da chuva (Fator R) para vários locais com mapeamentos;

Erodibilidade (Fator K) banco de dados (parcelas padrão) para solos do Brasil;

Equações disponíveis para prever a erodibilidade de modo direto:

Denardin (1990): Solos gerais (Cambissolos e outros);

Marques (1996): Solos com Bt (Argissolos)

Silva (1997): Solos com Bw (Latosolos)

Aplicabilidade:

Poucos dados publicados sobre os fatores C e P;
Modelagem do Fator LS e uso do MED e SIG;
Fator P necessita de mais estudos e validação;
Necessita de compilação dos dados existentes e aquisição de novos.

Limitações:

Não prediz a distribuição espacial e temporal da erosão hídrica;
Não prediz a deposição e aporte de sedimentos;
Não prediz a erosão pontual (localizada) a exemplo as voçorocas.

MODELAGEM DAS PERDAS DE SOLO PARA MICROBACIA PILOTO ESPACIALIZAÇÃO E SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS - USLE

S = Planimetria

L = Divisor - rede de drenagem

6.969 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

A > T
A < T

PA1: 0,008 t h MJ⁻¹ mm⁻¹
FX: 0,034 t h MJ⁻¹ mm⁻¹
PA8: 0,001 t h MJ⁻¹ mm⁻¹

*Floresta plantada *Eucalyptus* sp.: 0,0013
*Mata nativa mista: 0,0001
Pastagem bom estado: 0,010
Pastagem queimada/degradada: 0,10
Pinus densiflora nativo: 0,0045
Pinus densiflora nativo – incêndio: 0,30
Larix leptolepis plantio 32 anos: 0,0051
Abies firma plantio jovem: 0,0051
Cafeeiro: 0,6568
Milho: 0,110

USLE



Guaiba, RS



Vale do Rio Doce, MG



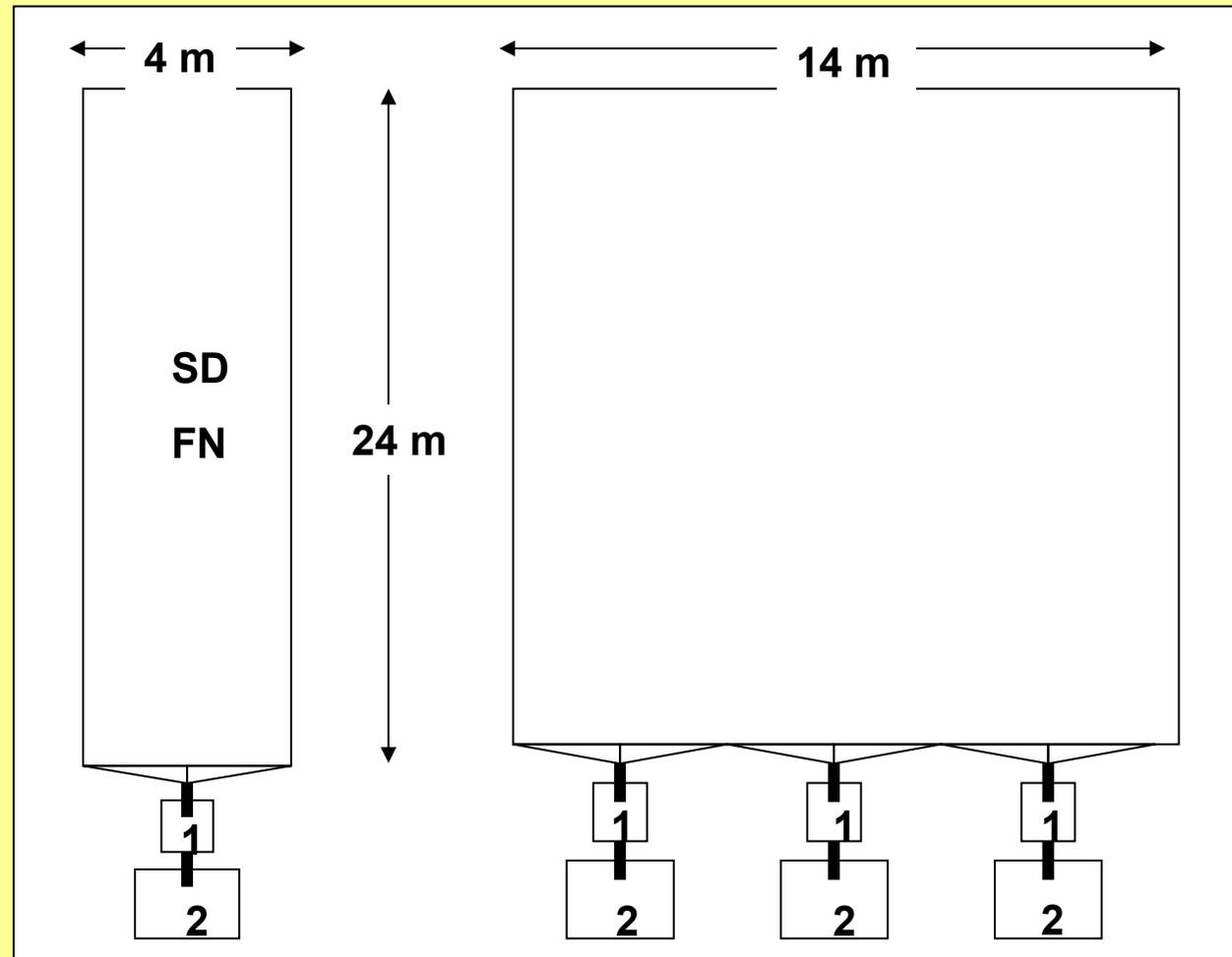
Lavras, MG

PARCELA – PADRÃO PARA COLETA ENXURRADA E SEDIMENTOS - USLE

CENIBRA – VALE DO RIO DOCE, MG

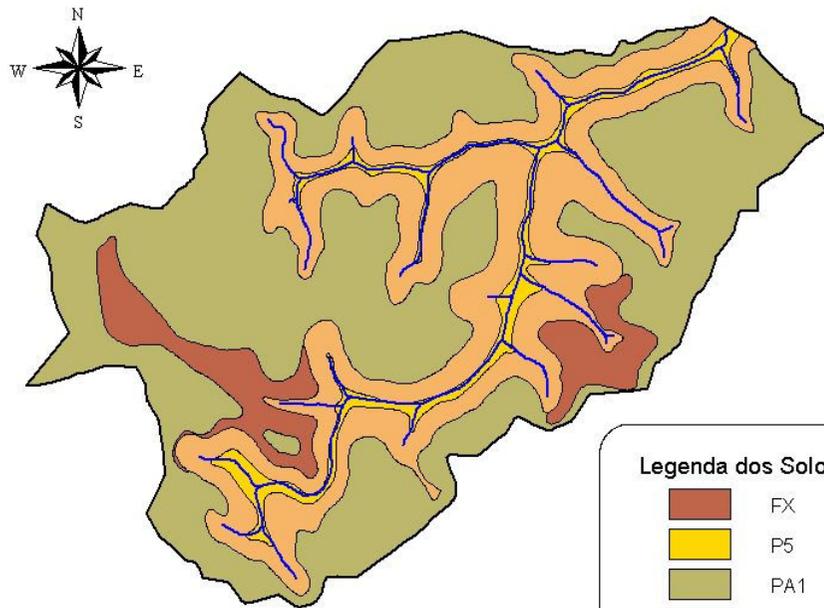
FIBRIA – TRÊS LAGOAS, MS; ARACRUZ, ES; PELOTAS, RS e JACAREÍ, SP

CMPC – GUAÍBA, RS



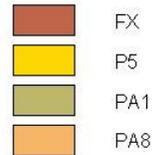
ESPAIALIZAÇÃO DAS PERDAS DE SOLO E SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS PARA MICROBACIA PILOTO – ARACRUZ (ES) USLE

Mapa de solos

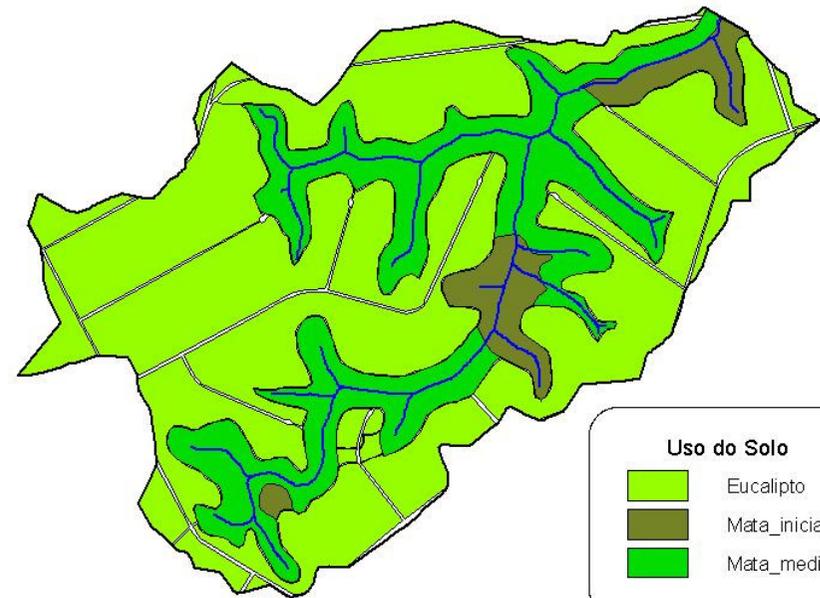


300 0 300 600 900 1200 Meters

Legenda dos Solos



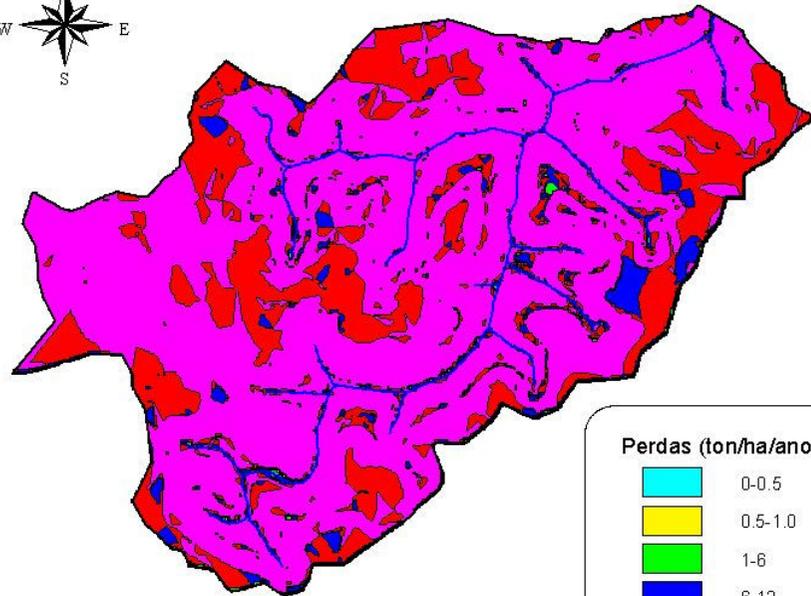
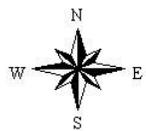
Uso do solo



Uso do Solo

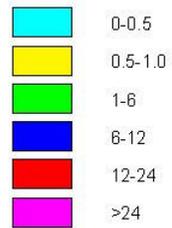


Potencial Natural de Erosão

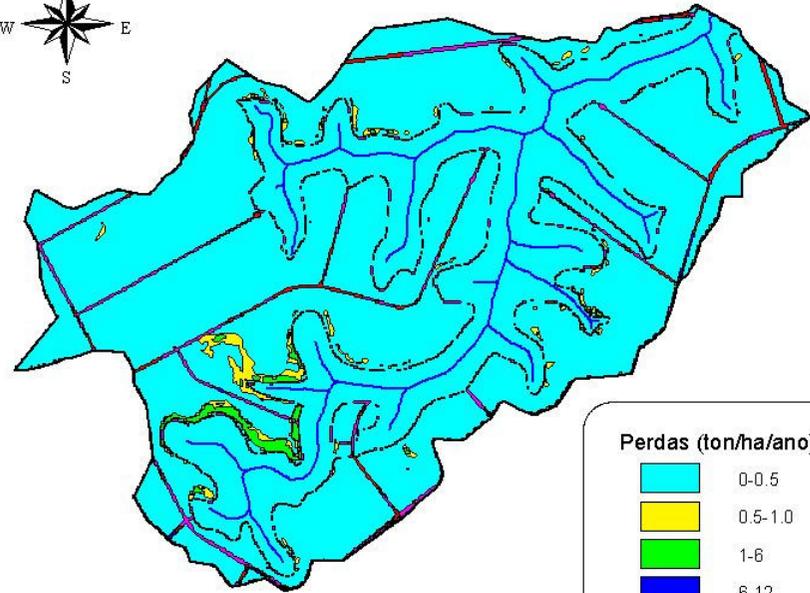
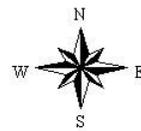


300 0 300 600 900 1200 Meters

Perdas (ton/ha/ano)

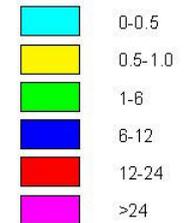


Situação atual

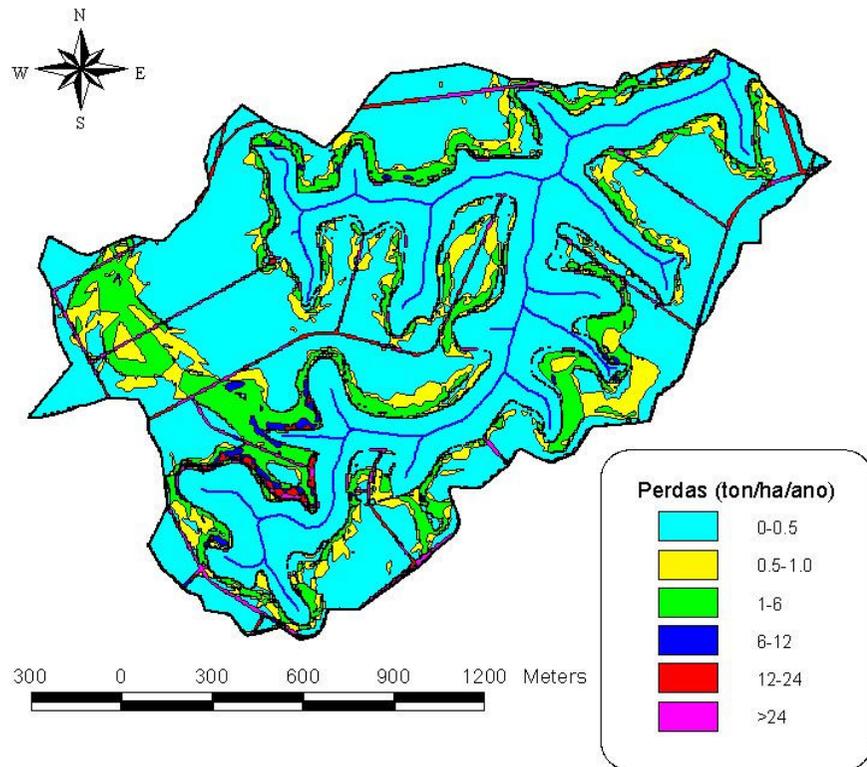


300 0 300 600 900 1200 Meters

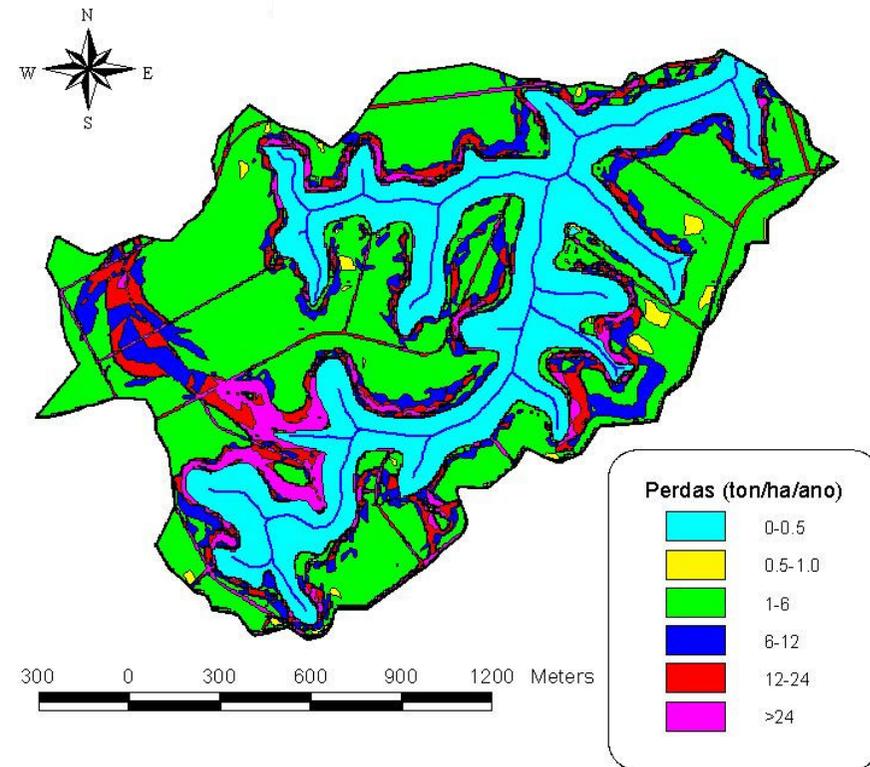
Perdas (ton/ha/ano)



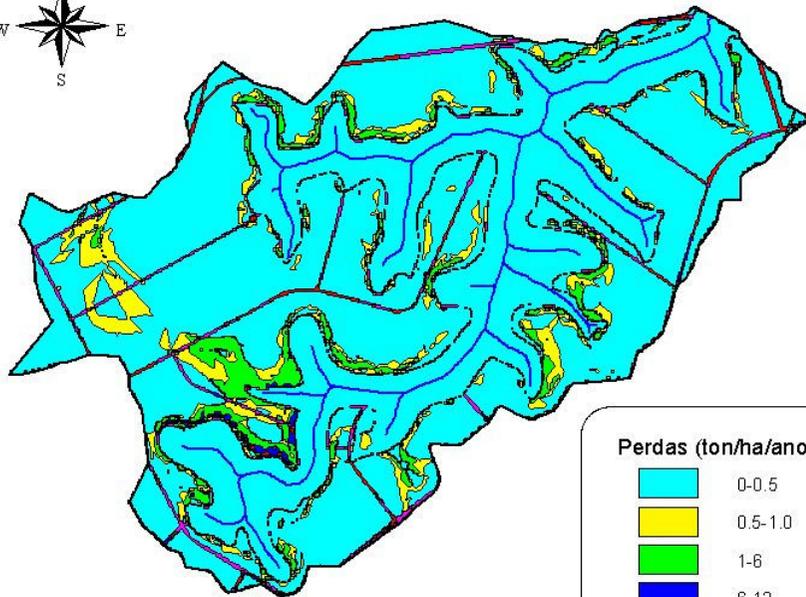
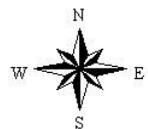
Pastagem em bom estado - sem pastoreio



Pastagem queimada e/ou degradada

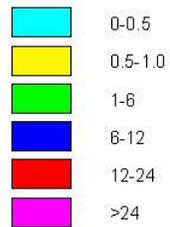


Floresta nativa - Pinus densiflora

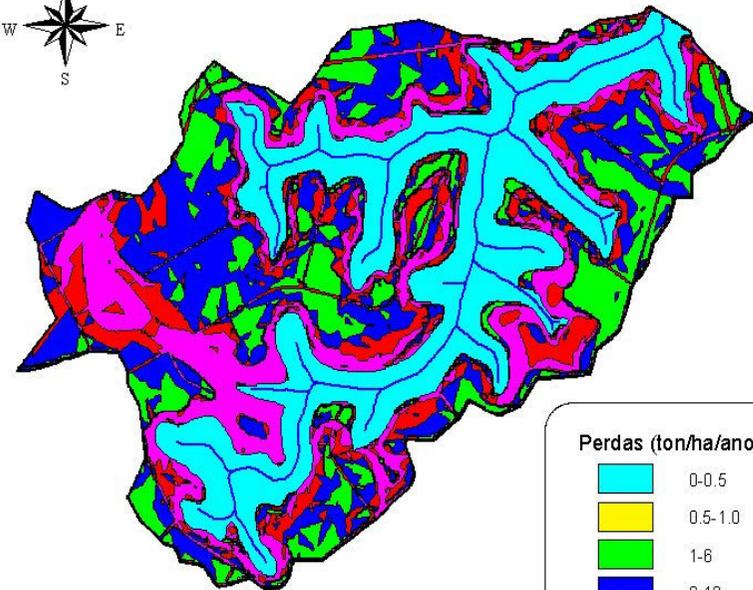
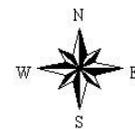


300 0 300 600 900 1200 Meters

Perdas (ton/ha/ano)

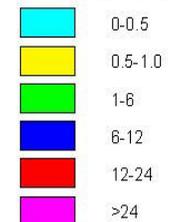


Floresta nativa após incêndio - Pinus densiflora

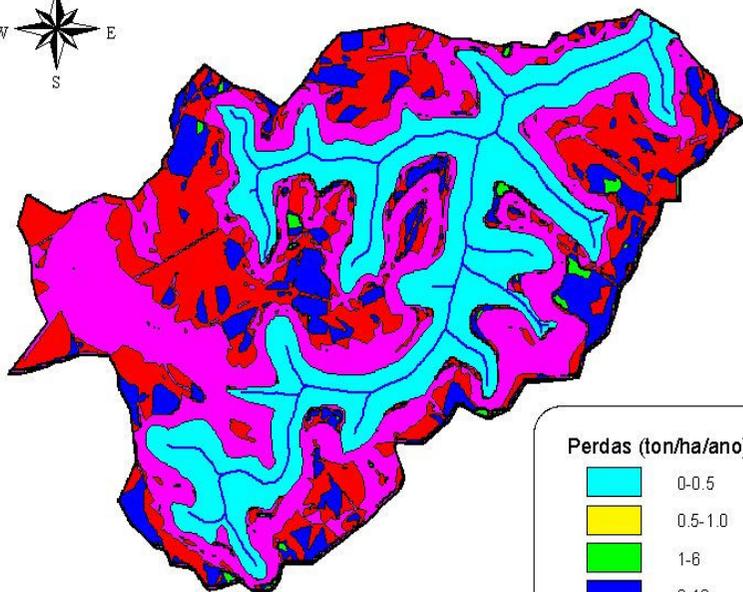
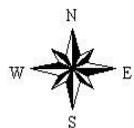


300 0 300 600 900 1200 Meters

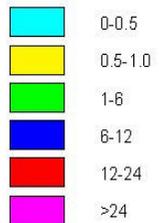
Perdas (ton/ha/ano)



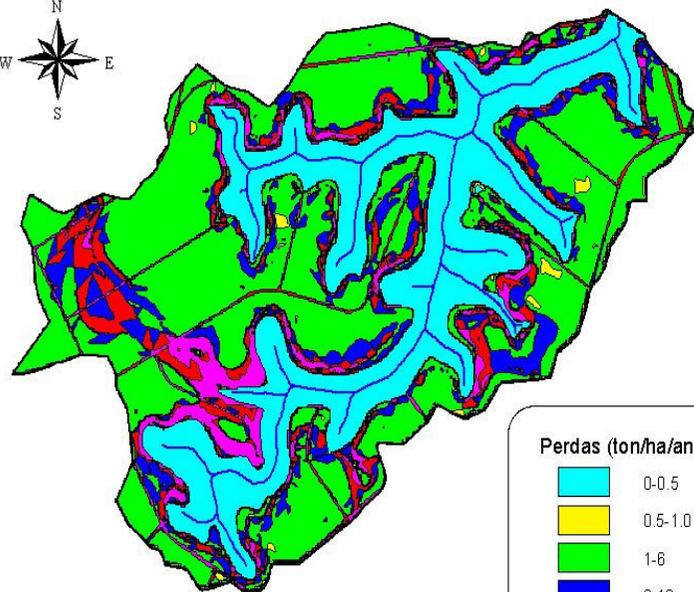
Cultura do cafeeiro Espaçamento tradicional



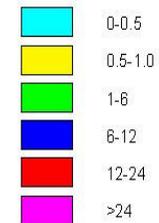
Perdas (ton/ha/ano)



Cultura do milho

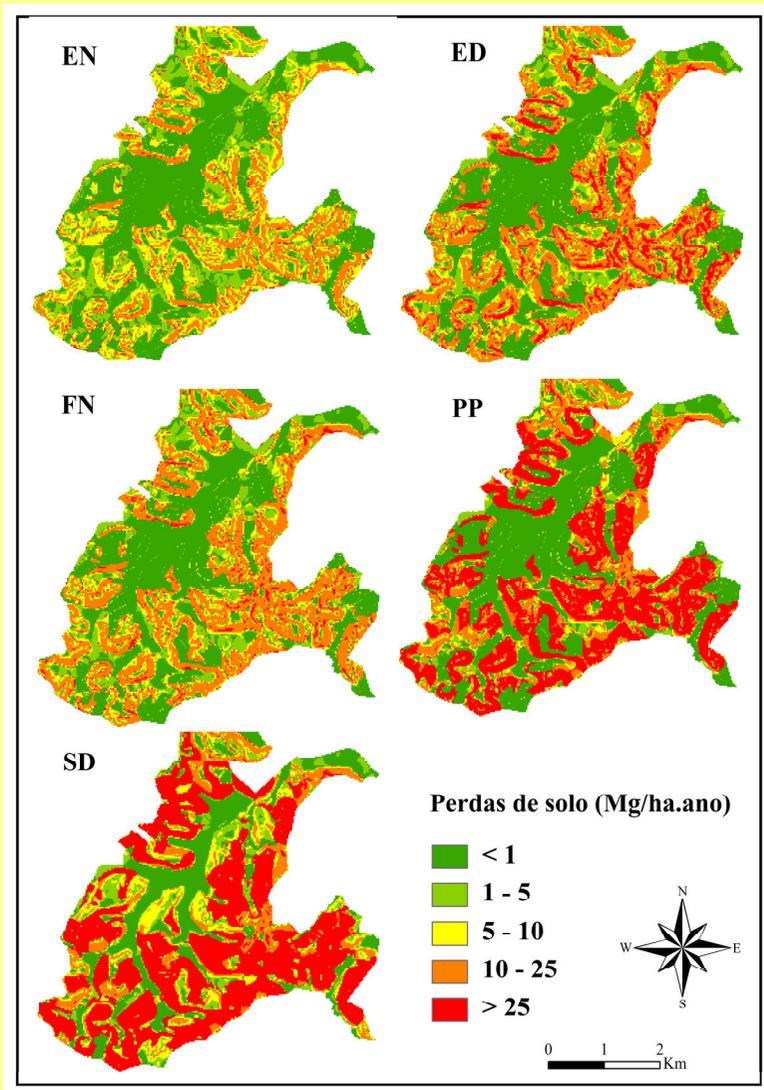


Perdas (ton/ha/ano)

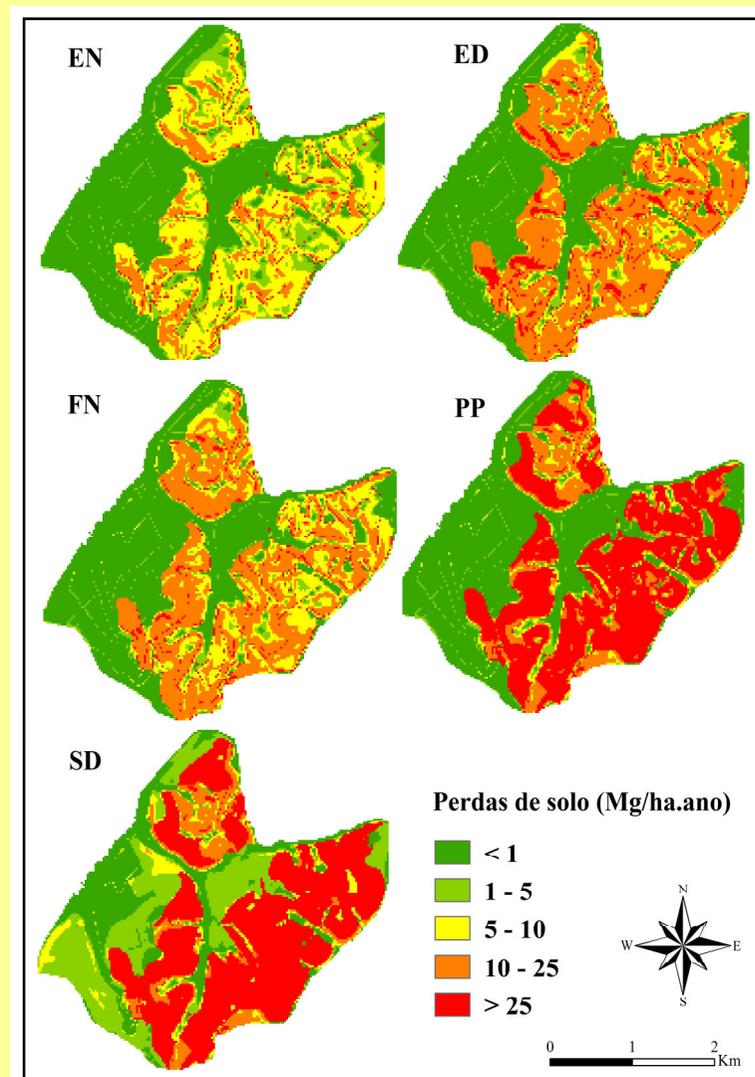


Erosão hídrica em áreas de florestas plantadas na região Centro Leste de Minas Gerais

Sub-bacia Belo Oriente



Sub-bacia Guanhães

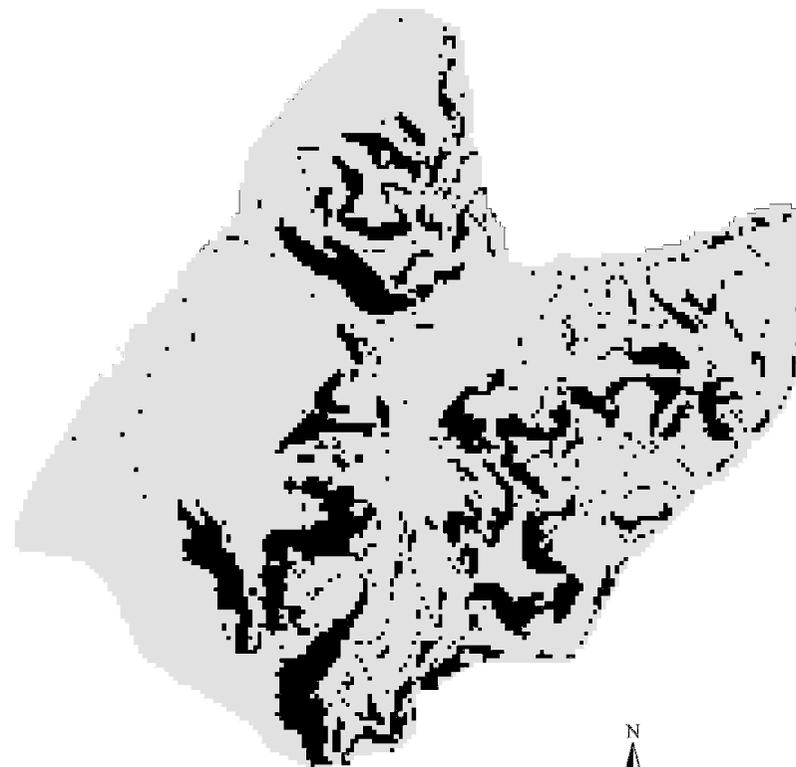


Silva (2009)

Belo Oriente



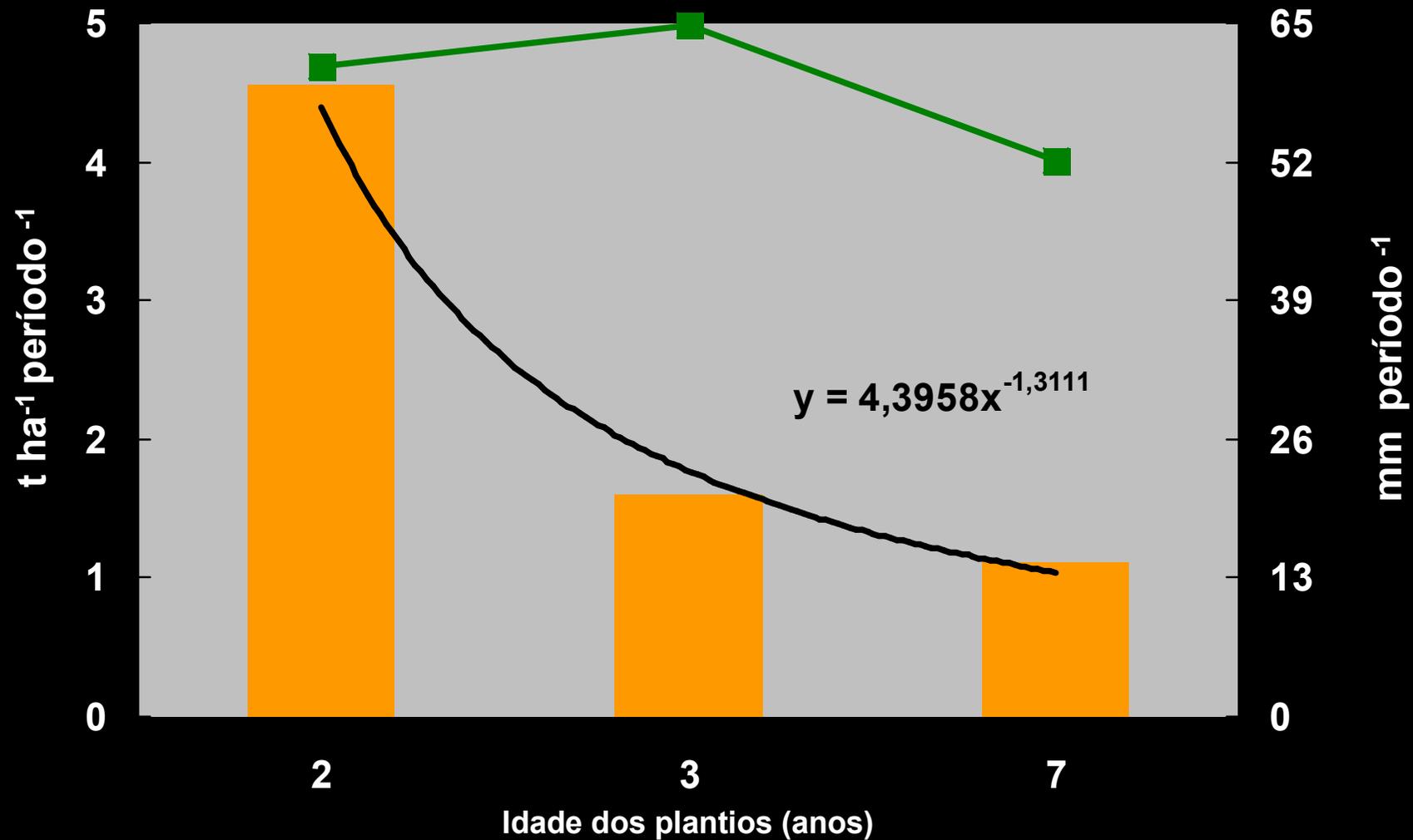
Guanhães

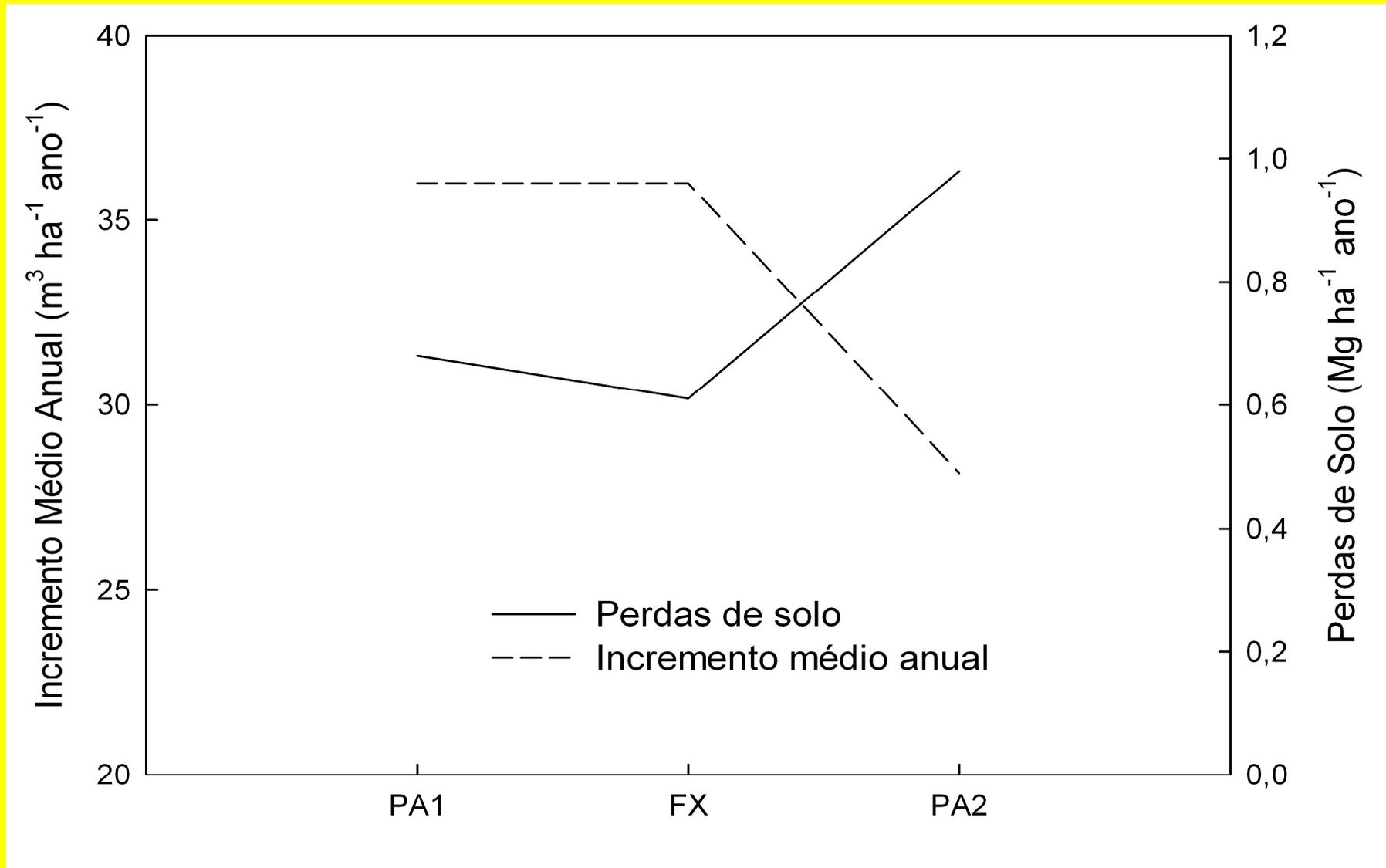


■ < Tolerância (Mg/ha.ano)
■ > Tolerância (Mg/ha.ano)



Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas com eucalipto de diferentes idades na região da Depressão Central, RS Período de nov/2006 a out/2007.



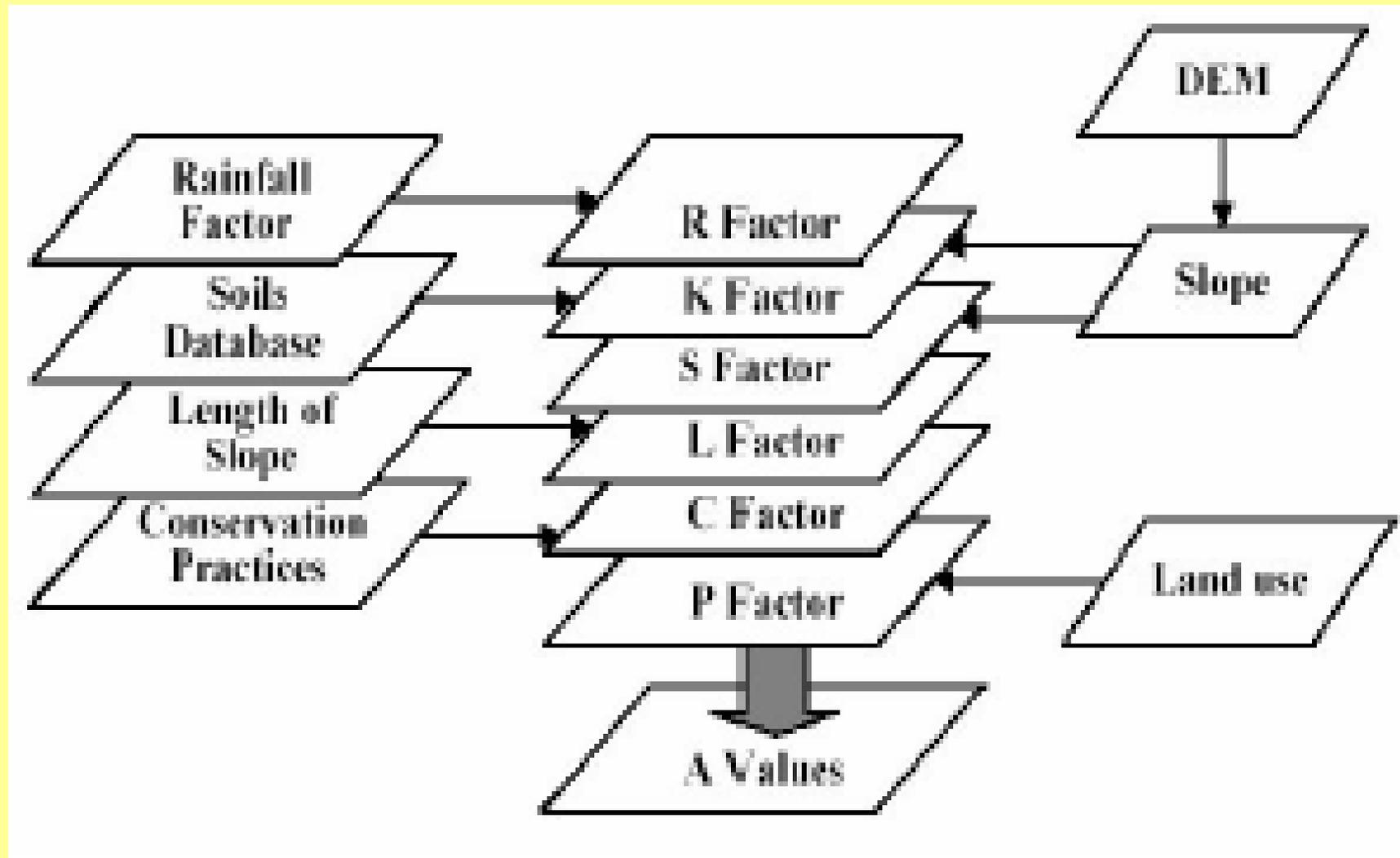


Perdas de solo por erosão hídrica e produtividade do eucalipto representada pelo Incremento Médio Anual (IMA). PA1: Argissolo Amarelo textura média/argilosa; FX: Plintossolo Háplico Distrófico; PA2: Argissolo Amarelo moderadamente rochoso (Aracruz/Fibria).

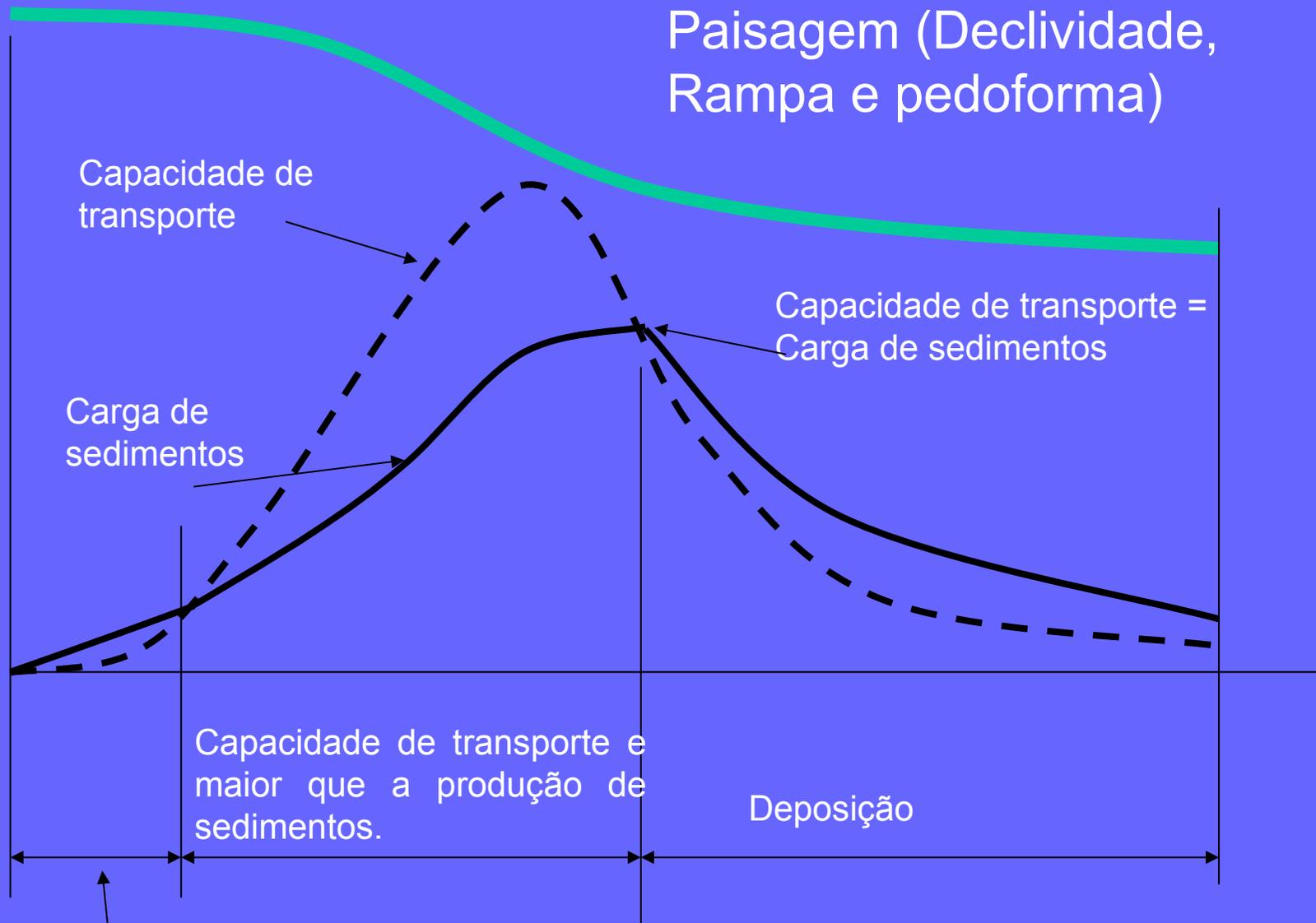
Martins, 2005

RUSLE - Revisad Universal Soil Loss Equation

(Renard et al. 1991)



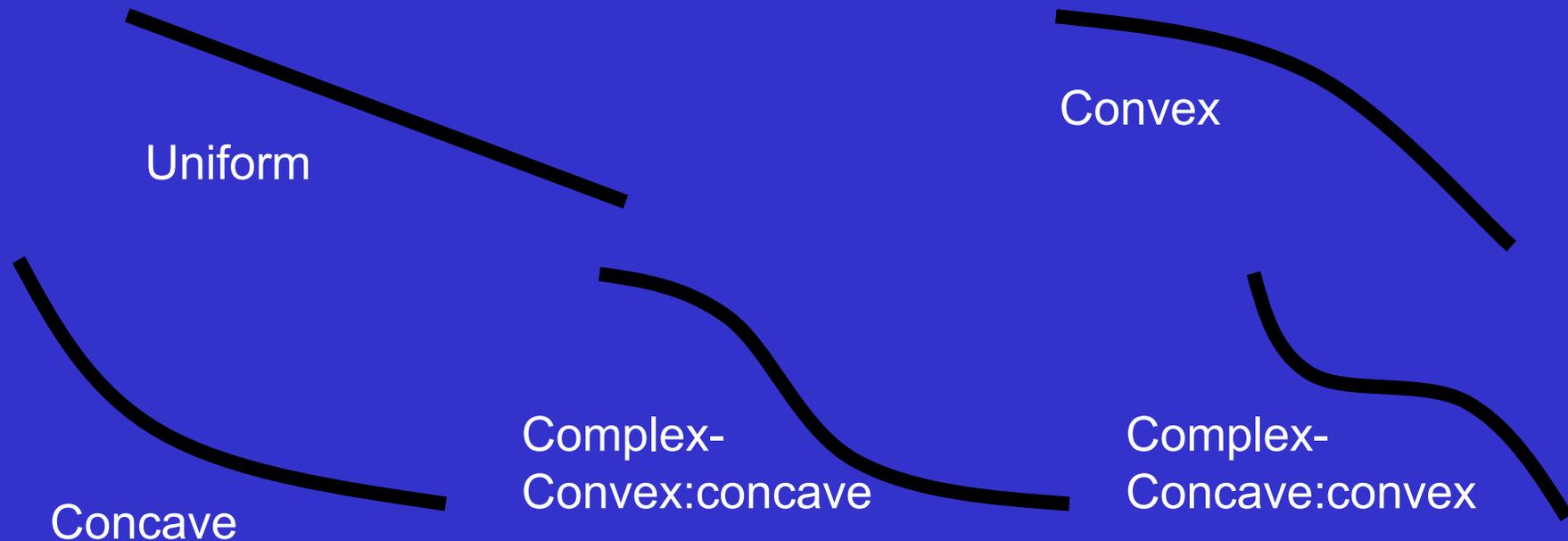
Paisagem (Declividade, Rampa e pedoforma)



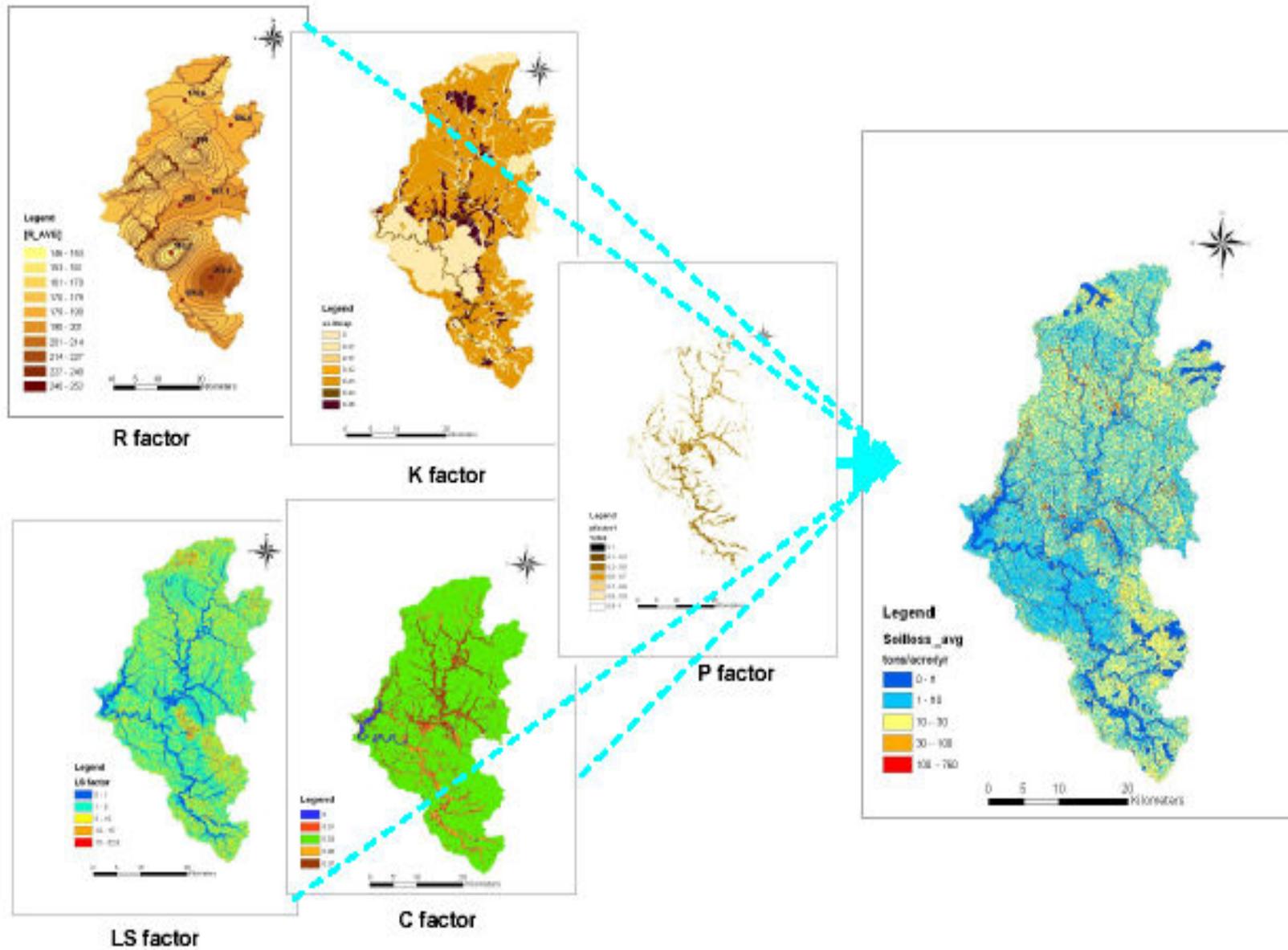
Deposição porque a produção de sedimentos excede a capacidade de transporte.

Características do modelo (RUSLE):

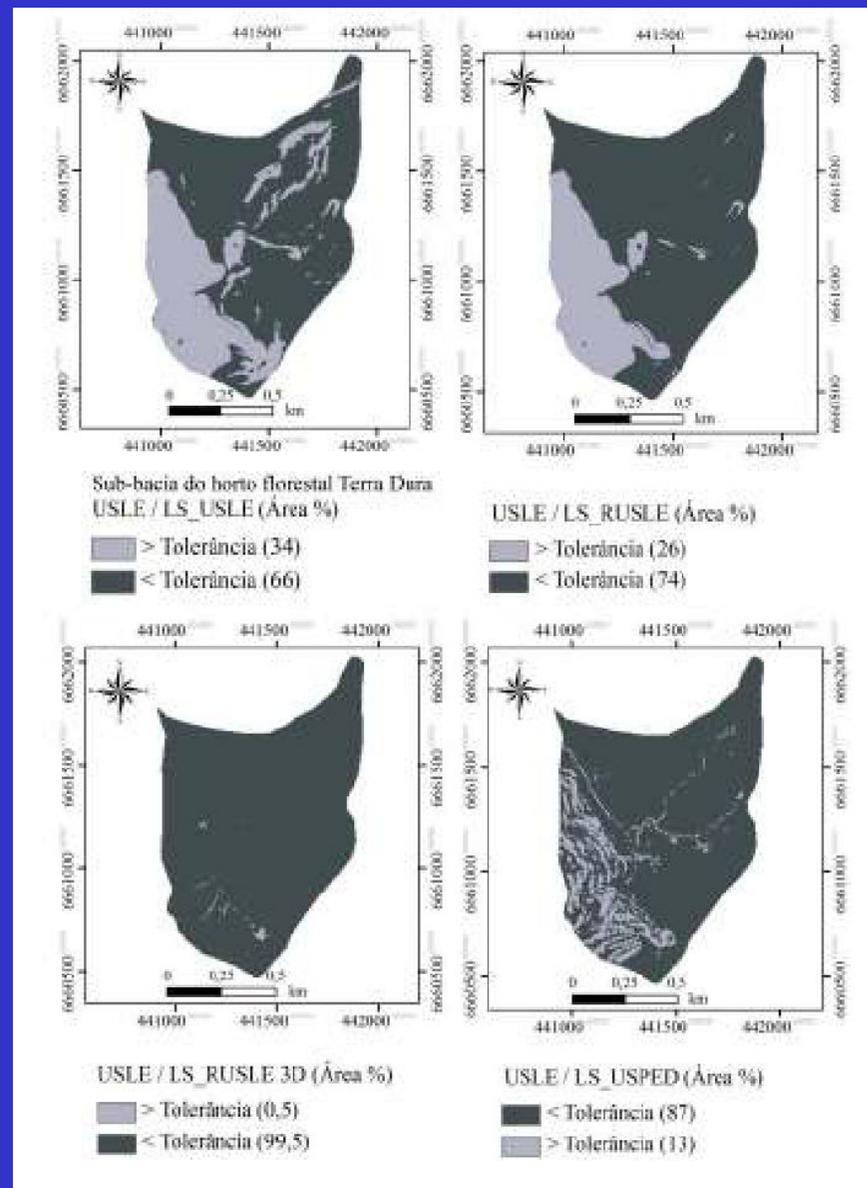
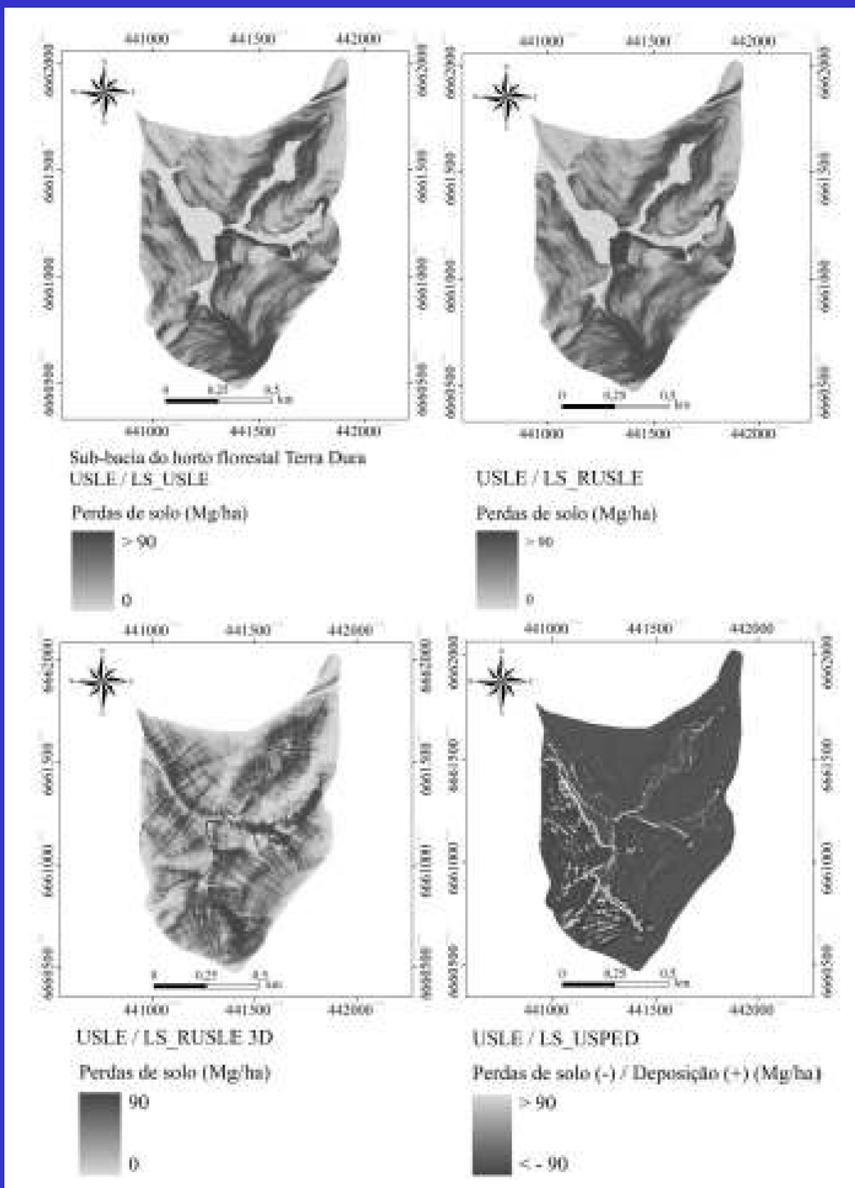
- Modificações na estimativa da erodibilidade (variabilidade no ano);
- Auxílio computacional para implementação dos subfatores de cobertura do solo;
- Fator topográfico considera a pedoforma;
- Desenvolvimento dos fatores para práticas de manejo e conservação do solo;
- Informatização do sistema de geração dos dados.



SOIL EROSION MODELING USING RUSLE AND GIS ON THE IMHA WATERSHED, SOUTH KOREA - Kim, 2006.



Tolerância de perdas de solo estimadas através do modelo USLE/RUSLE para cada fator topográfico avaliado na sub-bacia do horto florestal Terra Dura (RS) – Oliveira 2011



MUSLE - Modification Universal Soil Loss Equation

Vertedouro:

- ✓ Vazão máxima e mínima;
- ✓ Análise de elementos na água;
- ✓ Escorrimento superficial;
- ✓ Hidrogramas;
- ✓ Tempo de concentração;



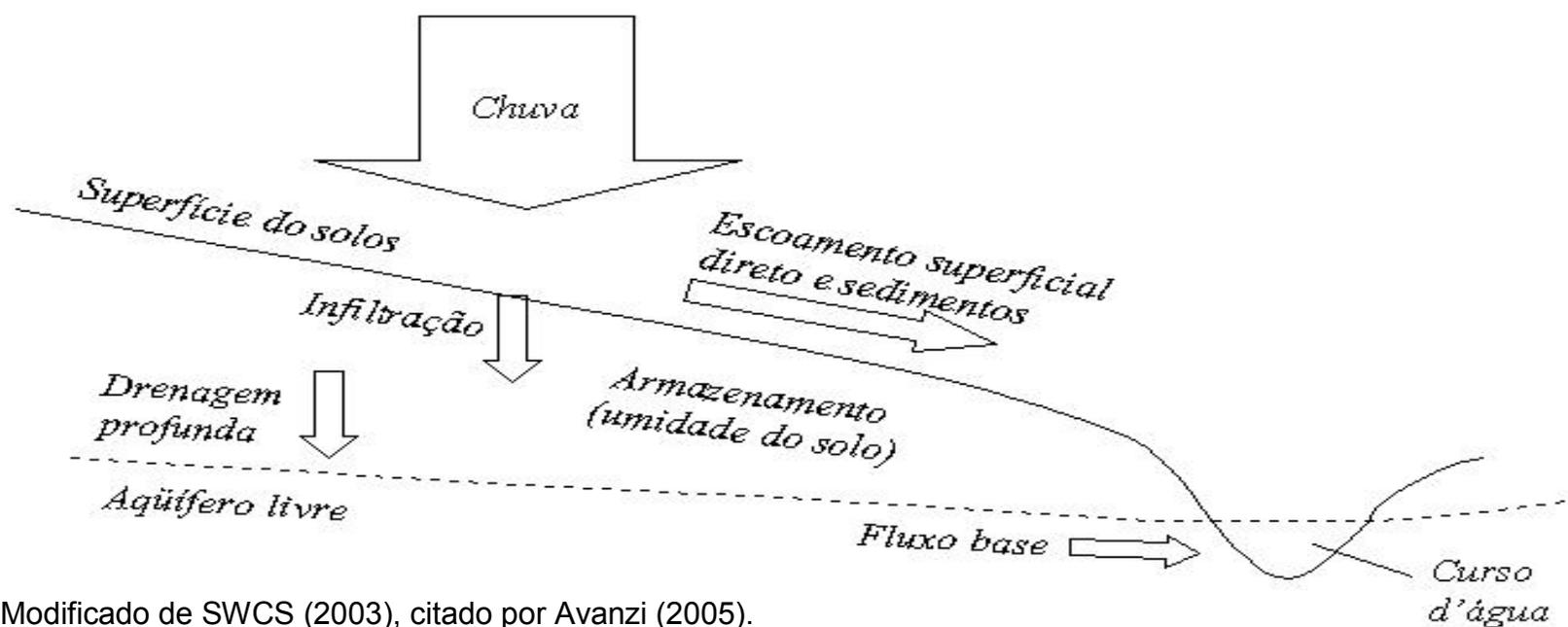
- ✓ Métodos de estimativa da erosão para bacias hidrográficas (Willians (1977))

Aracruz, ES

Característica do modelo:

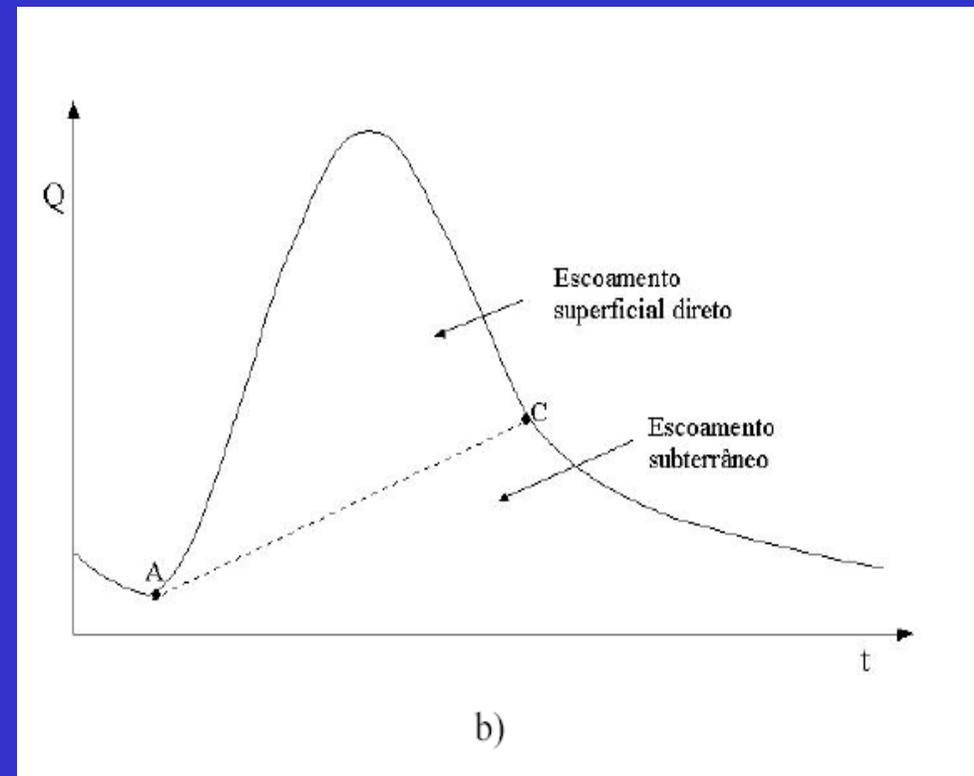
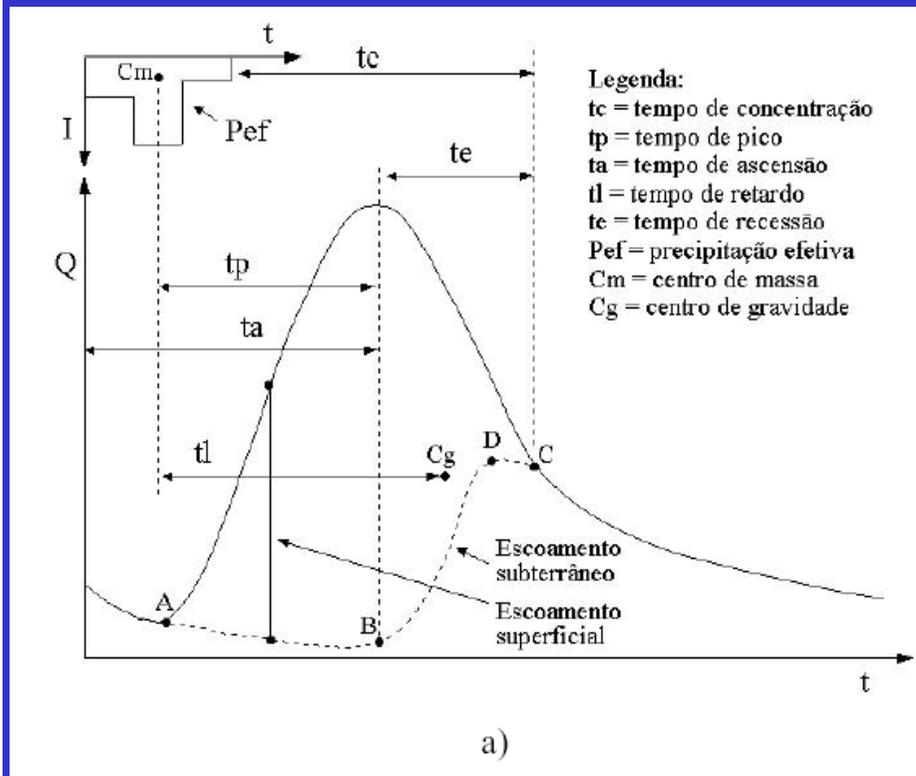
Erosividade da chuva é substituída pelo produto do volume de enxurrada e vazão de pico (Q_{qp}). A variável dependente nesta equação é o aporte de sedimentos Y no exutório da bacia em estudo.

$$Y = 89,6 (Q_{qp})^{0,56} K.L.S.C.P$$



Modificado de SWCS (2003), citado por Avanzi (2005).

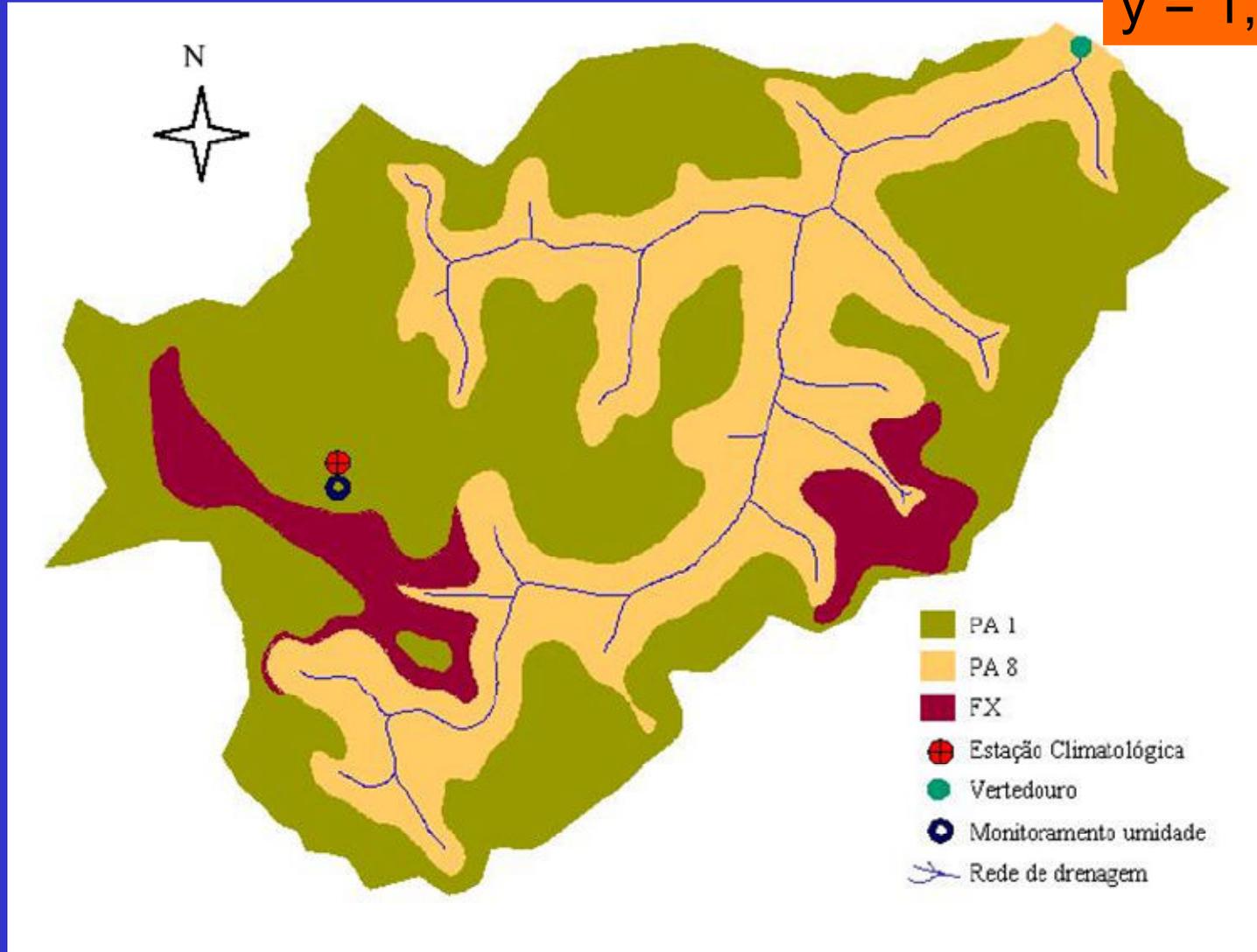
Escoamento superficial:



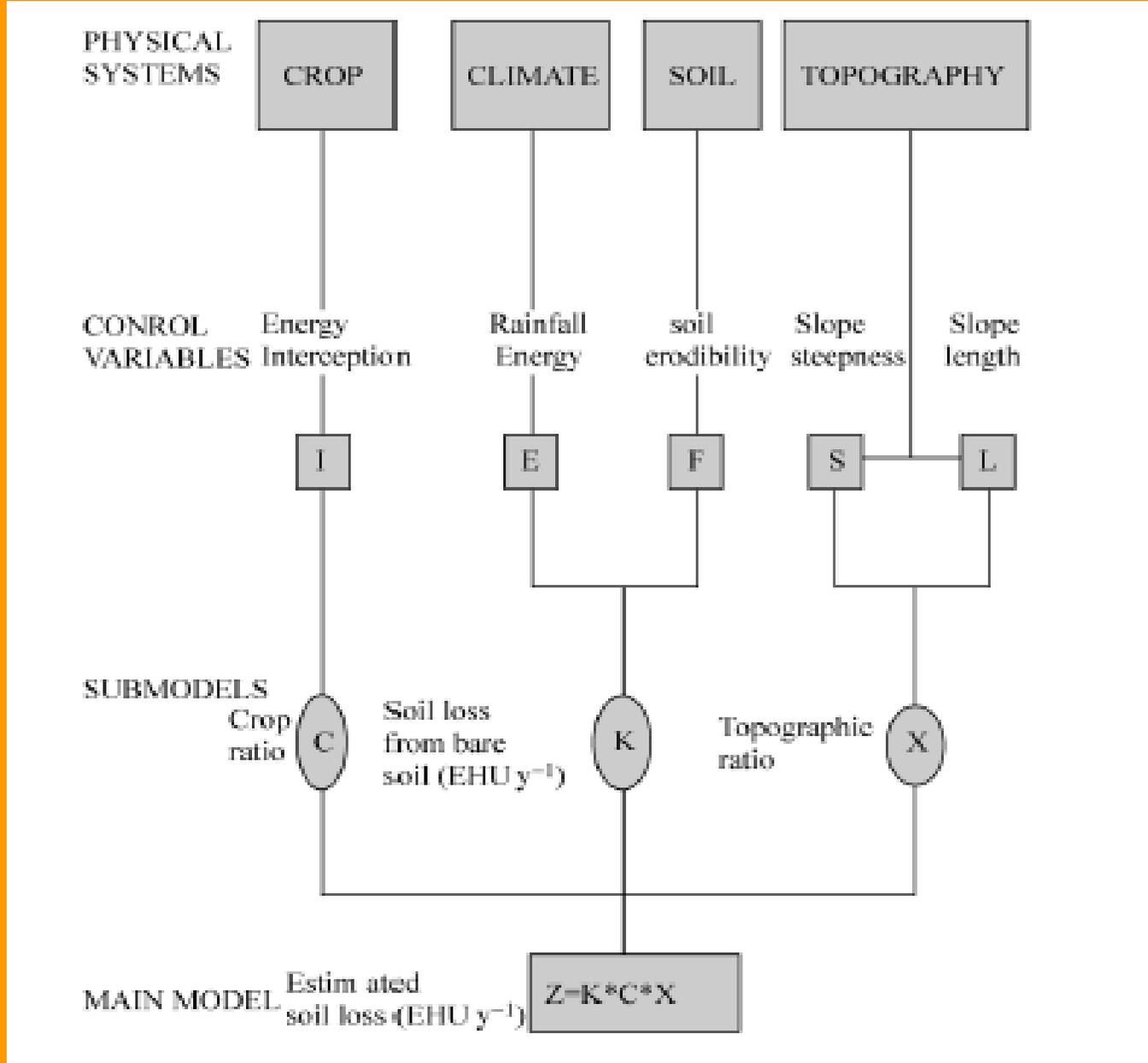
a) Hidrograma típico; b) separação do escoamento superficial direto (deflúvio) do escoamento base (subterrâneo), Fonte: modificado de Tucci (2004) citado por Avanzi (2005).

Mapa da sub-bacia experimental, com a reprodução da distribuição dos solos ocorrentes e a localização dos experimentos utilizados para o monitoramento dos parâmetros hidrológicos (Aracruz 1995, citado por Avanzi 2005).

$$y = 1,978 \text{ Mg ano}^{-1}$$



SLEMSA - Soil Loss Estimation Model for Southern Africa



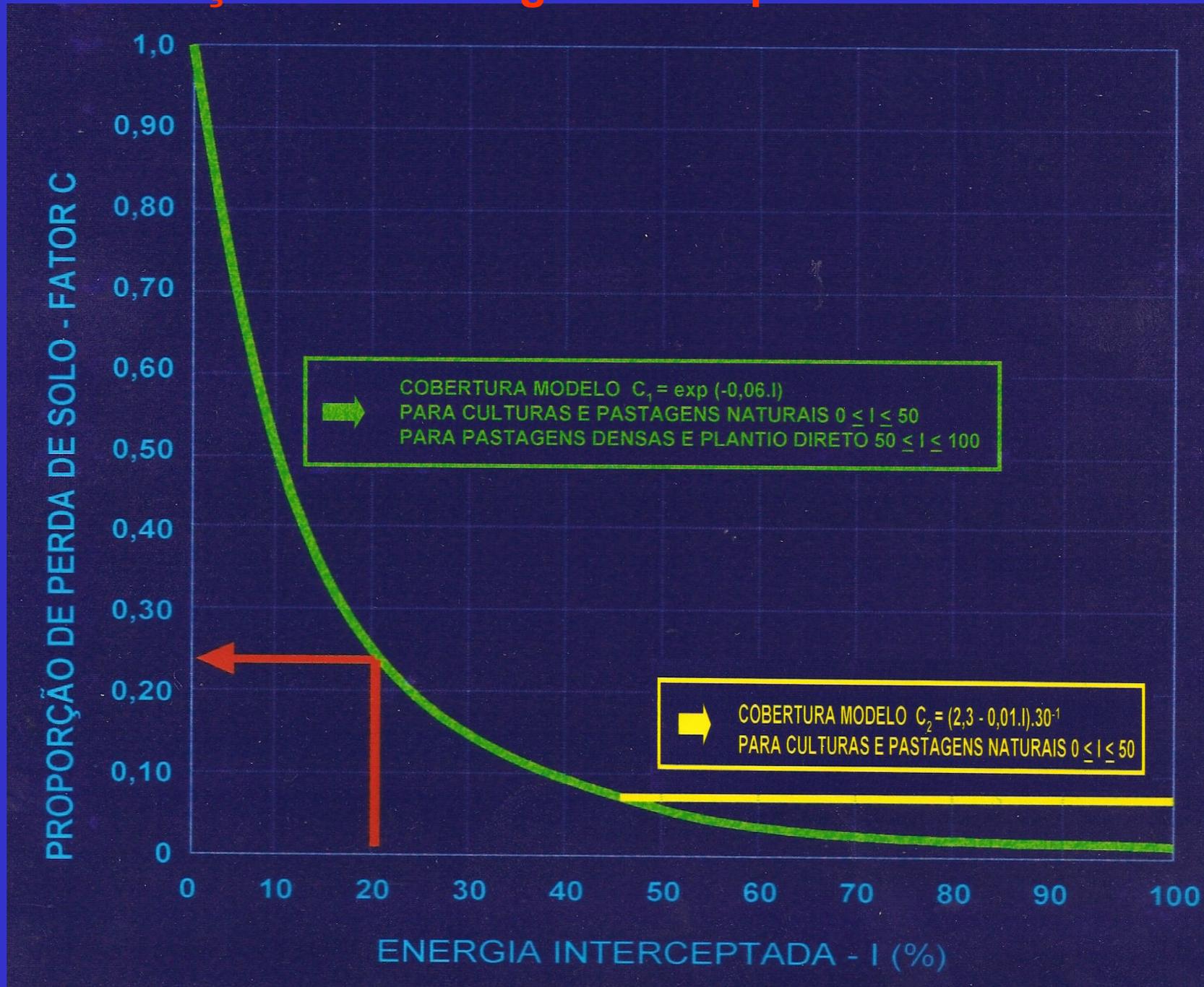
Características do modelo:

- Uma base competente de pesquisa;
- Um meio ambiente físico similar;
- Clima;
- Banco de dados com práticas de conservação do solo;
- Banco de dados com fator cobertura;
- Modelos relacionando fator C com energia interceptada.

Insucesso do uso do modelo no Brasil:

- Pesquisadores treinados nos USA;
- Pouca divulgação do modelo no Brasil;
- Testado no Nordeste Brasileiro e houve uma tentativa de introdução em MG por Michael Stocking no projeto PNUD/FAO BRA/82011;
- Dependência de dados gerados na USLE;
- Modelo empírico.

Relação entre energia interceptada e fator C



WEPP - Water Erosion Prediction Project

Lane & Nearing (1989), Flanagan (1990 e 1991)

Baseados em processos hidrológicos:

- Precipitação;
- Infiltração;
- Escoamento superficial.

Baseados em processos erosivos:

- Destacamento;
- Transporte;
- Deposição.

Conceitualmente dividido em seis componentes:

- Gerador de clima;
- Componente hidrológico;
- Componente de crescimento de plantas;
- Componente de solos;
- Componente erosão/deposição;
- Componente irrigação.

Para funcionamento utiliza quatro arquivos (software):

1. CLIMA

- Volume;
- Intensidade;
- Duração;
- Frequência de precipitação;
- Temperaturas (mínima e máxima);
- Radiação solar.

2. SOLO

- Considera a forma da vertente;
- Atributos físicos do solo;
- Comprimento de rampa
- Evapotranspiração;
- Profundidade dos horizontes;
- Atributos químicos (MO e CTC);
- Fator crítico de cisalhamento;
- erodibilidade em sulcos e entre – sulcos.

3. RELEVO

- Considera o número de elemento de escoamento;
- Largura das vertentes;
- Representação para vertentes retilíneas, côncavas, convexas e complexas.

4. USO E MANEJO

- Exige grandes quantidades de dados;
- Determinados para as grandes culturas nos USA (milho, soja, trigo e algodão);
- Modelo de simulação de cobertura do solo (mensal e anual);
- Modelos de simulação de decomposição dos restos de colheita.

Modelo WEPP e o futuro:

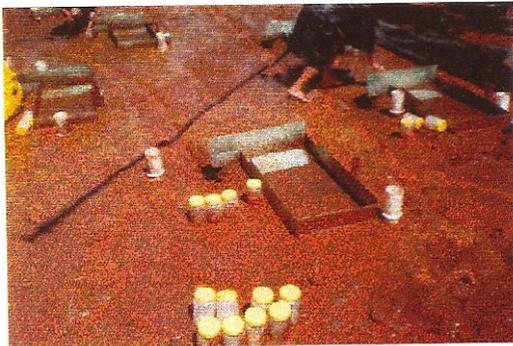
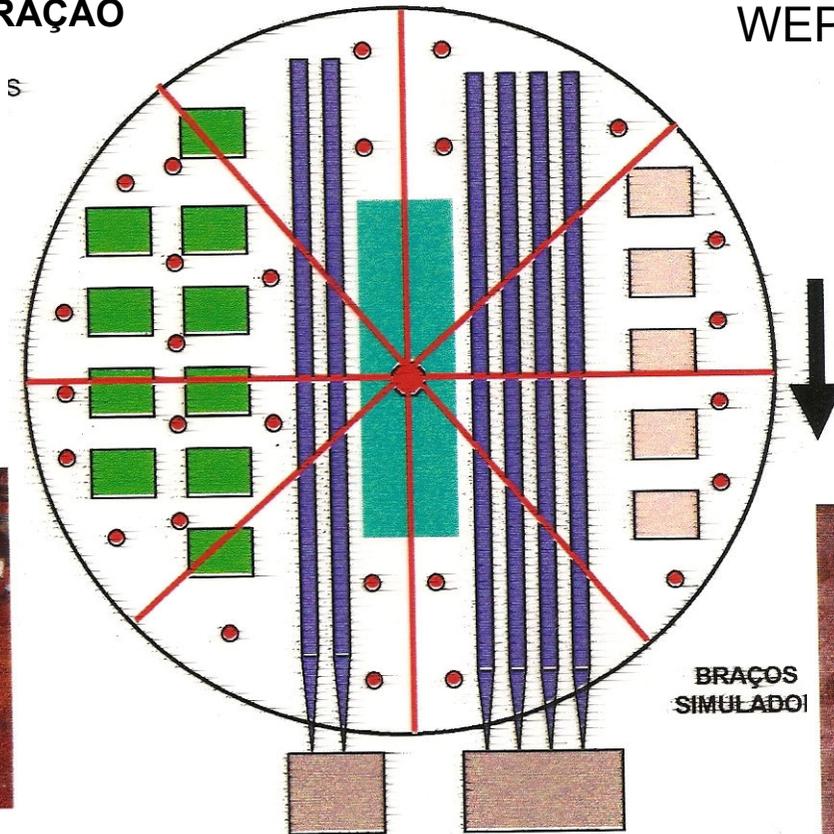
- Versão GEOWEPP;
- Versões florestas, pastagens, reservatórios e recuperação de áreas degradadas pela erosão hídrica.

Limitações do Modelo WEPP:

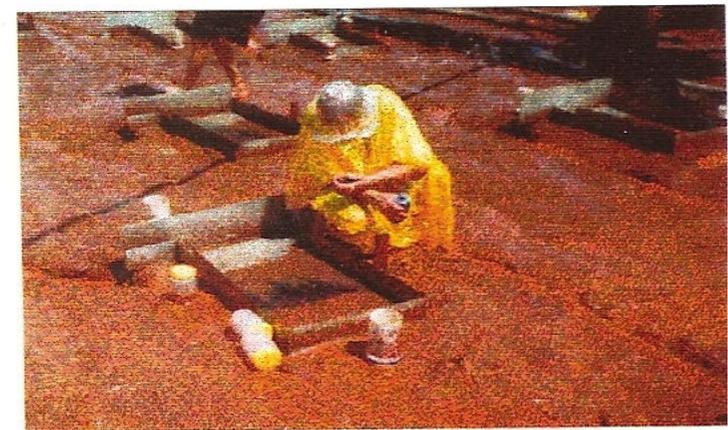
- Complexidade;
- Parcela padrão diferente da USLE;
- Sub processos importantes não explicitados;
- Grande ênfase nos processos hidrológicos e pouco nos pedológicos.

- PARCELA ERODIBILIDADE ENTRE-SULCOS
- PARCELA ERODIBILIDADE EM SULCOS
- PARCELA DE INFILTRAÇÃO
- SIMULADOR
- PLUVIOMETRO

Disposição do experimento WEPP no campo.



COLETORES



WEPP



Lavras, MG – UFLA/DCS

EPIC - Erosion Productivity Impact Calculator

Componentes principais

- HIDROLOGIA;
- EROSÃO E SEDIMENTAÇÃO;
- CICLAGEM DE NUTRIENTES;
- CRESIMENTO DE PLANTAS;
- PRODUTIVIDADE;
- ECONOMIA.

RELAÇÕES ENTRE PRODUTIVIDADE E CLASSES DE EROSÃO (Oropeza Mota et al., 1995)

SOLO - SÉRIES	CLASSE DE EROSÃO	PROD. (t.ha ⁻¹)	
		FEIJÃO	MILHO
LOMAS (4% DECLIVE)	PEQUENA	1,6	2,3
	MODERADA	1,3	1,8
	SEVERA	0,6	0,7
CHAPINGO (4% DECLIVE)	PEQUENA	1,9	2,8
	MODERADA	1,6	1,9
	SEVERA	0,9	0,8

RELAÇÕES ENTRE PRODUTIVIDADE, FORMA DO RELEVO E TEMPO DE CULTIVO (Perrens et al., 1985)

FORMA RELEVO	PRODUTIVIDADE RELATIVA EM FUNÇÃO DO TEMPO (ANOS)				
	10	20	50	100	200
UNIFORME	1,00	0,90	0,87	0,86	0,83
CONVEXO	0,88	0,87	0,85	0,83	0,78
CÔNCAVO	0,99	1,02	1,01	1,01	1,00
COMPLEXO	1,00	0,99	0,97	0,95	0,92

AGNPS (*Agricultural Nonpoint Source Pollution*)

O modelo AGNPS foi desenvolvido pelo *U.S. Department of Agriculture* em cooperação com a *Minnesota Pollution Control Agency (MPCA)* e com o *Soil Conservation Service* para a análise de bacias com uso agrícola.

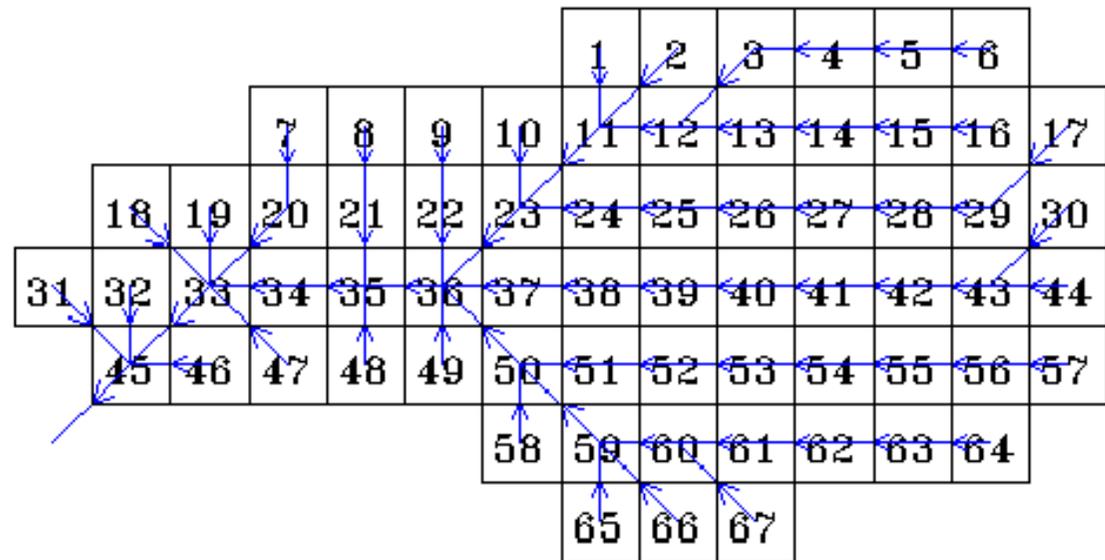
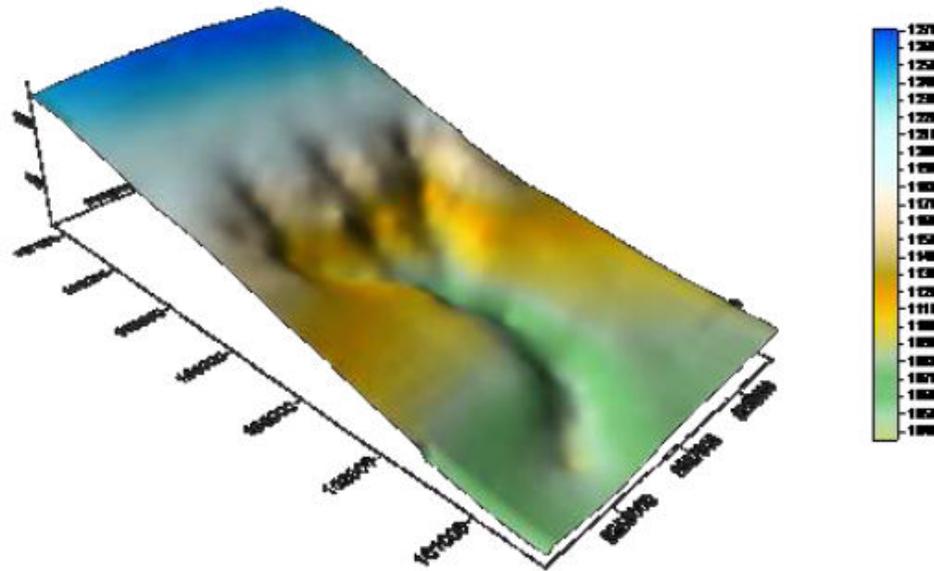
O AGNPS é um modelo que simula o escoamento e o transporte de sedimentos e poluentes em bacias agrícolas em um dado evento de chuva (Yoon, 1996).

Objetivos ((Young *et al.*, 1987):

Obter estimativas uniformes e acuradas da qualidade do escoamento dando ênfase principalmente aos sedimentos e nutrientes;

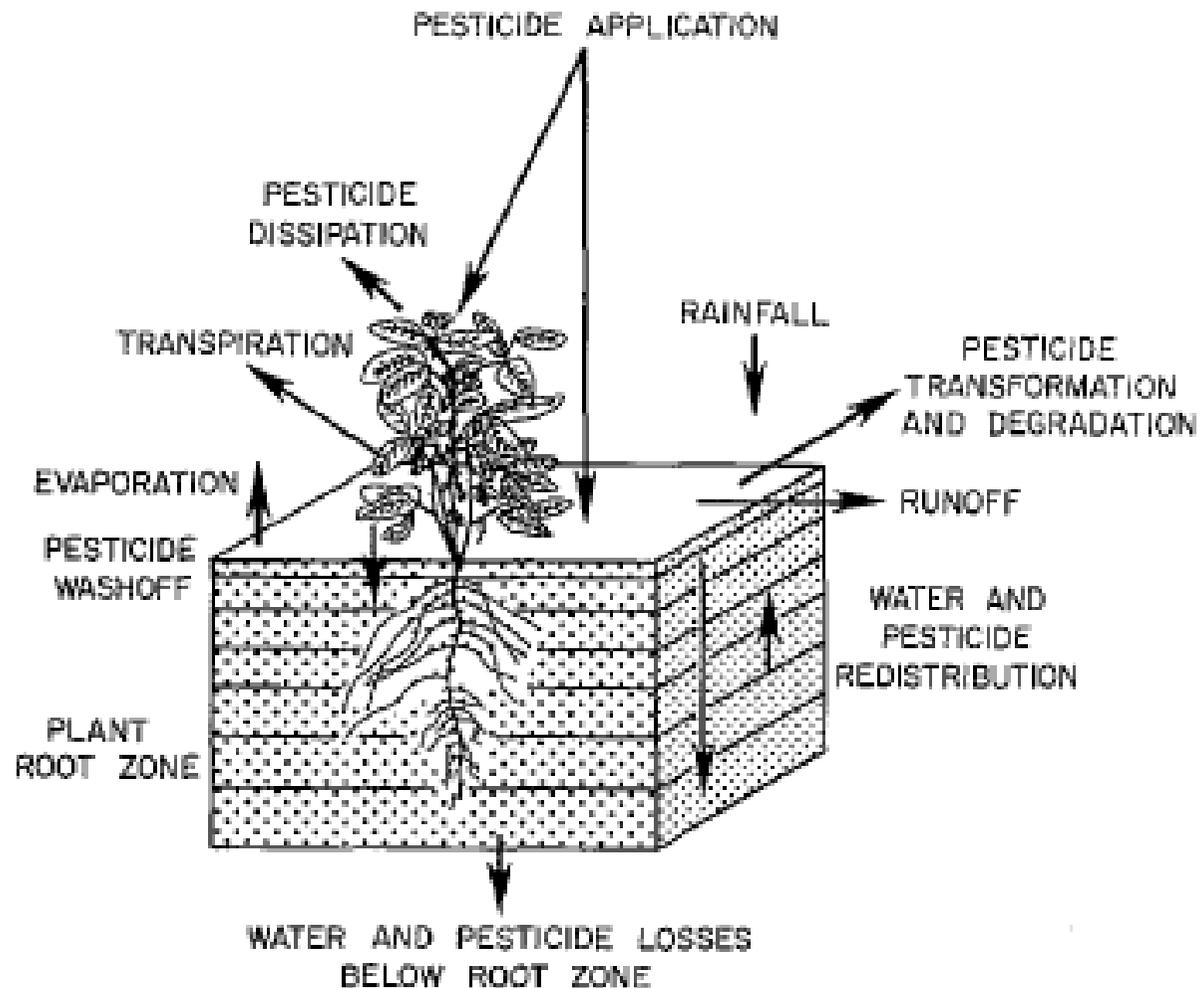
Comparar os efeitos de várias alternativas de conservação na implementação como parte das práticas de gerenciamento da bacia e desenvolver um modelo flexível e de fácil utilização

Direção de fluxo para cada célula da sub-bacia

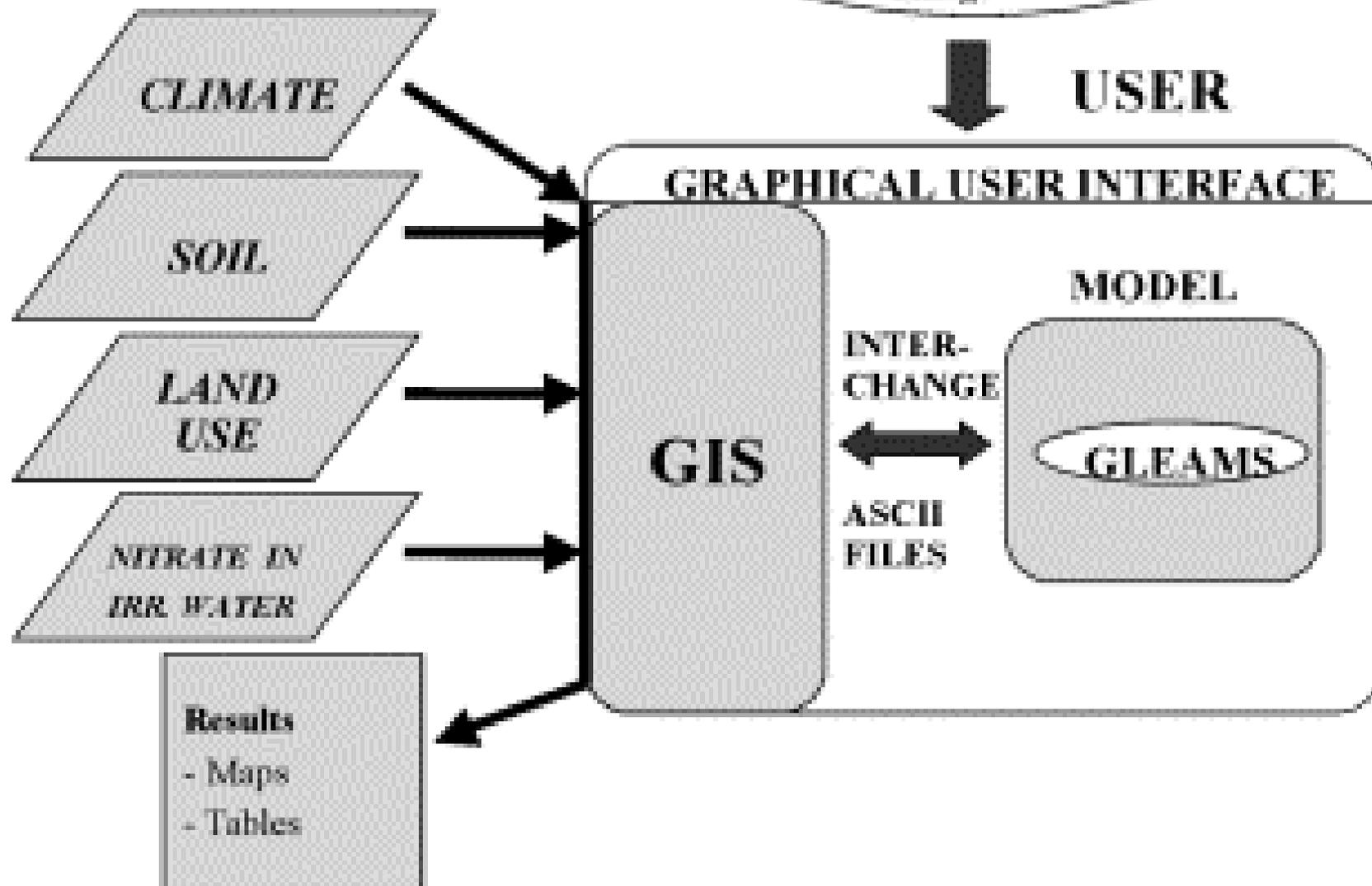


GLEAMS - Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems
CREAMS - Chemical Runoff Erosion Assessment Management System

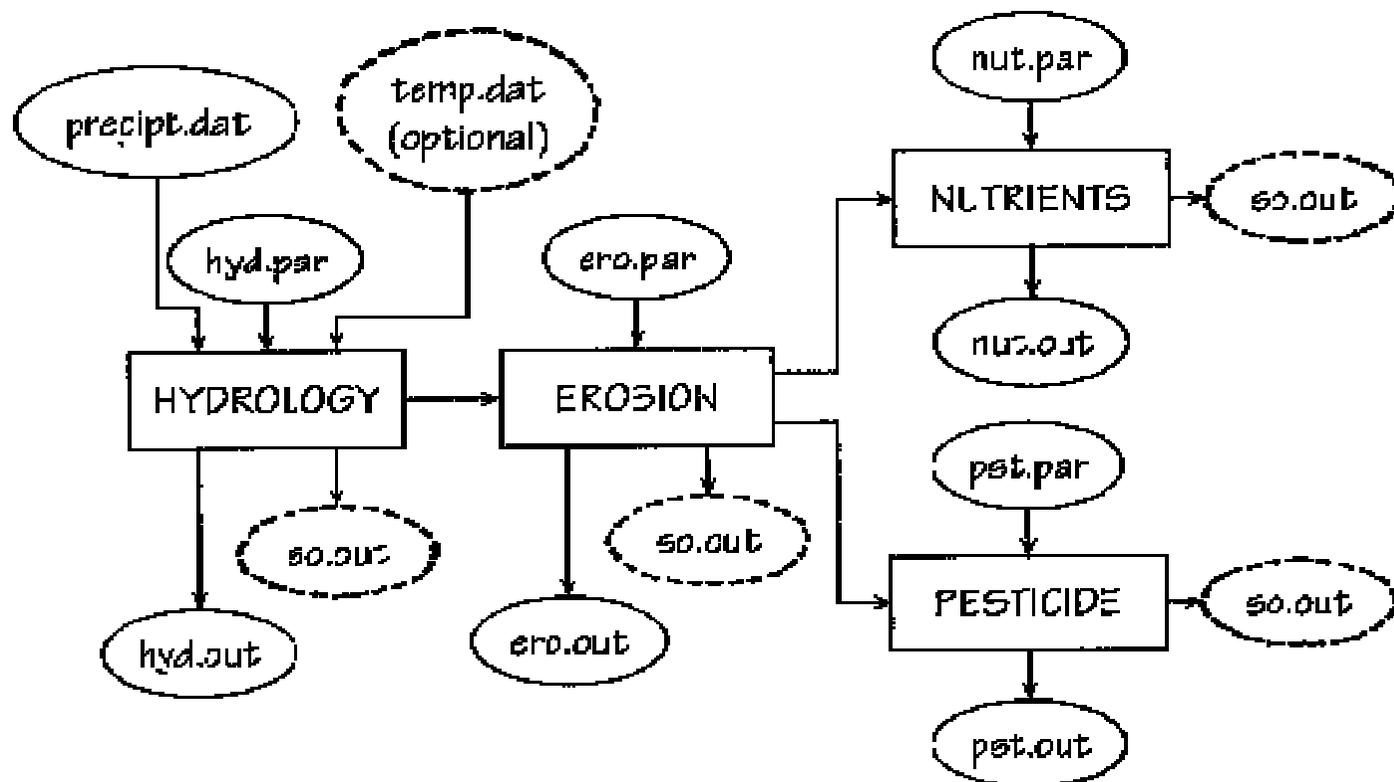
(Leonard et al. 1987)



**BASE MAPS +
ATTRIBUTE
DATABASE**



Schematic Representation of the GLEAMS (Knisel, et al., 1993) model



Input Files

Filename	Description
precipit.dat	Daily Precipitation Data
temp.dat	Daily Min. and Max. Temperature Data (optional)
hyd.par	Hydrology Parameter File
ero.par	Erosion Parameter File
nut.par	Nutrient Parameter File
pst.par	Pesticide Parameter File

Output Files

Filename	Description
hyd.out	Hydrology Output File
ero.out	Erosion Output File
nut.out	Nutrient Output File
pst.out	Pesticide Output File
so.out	Selected Output File

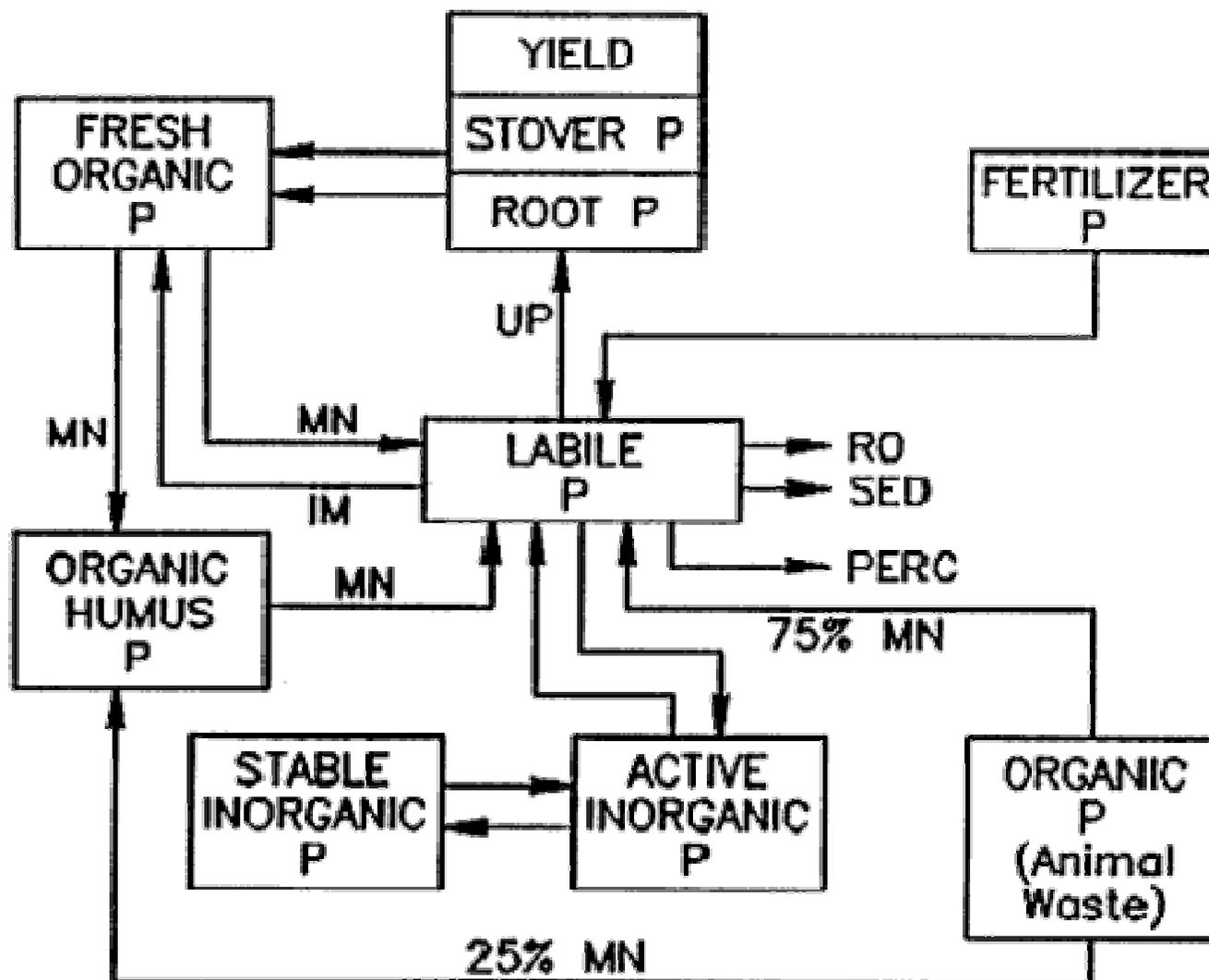


Fig. 2 Schematic representation of the GLEAMS nitrogen cycle. AM = ammonification; NI = nitrification; DN = denitrification; VL = volatilization; IM = immobilization; UP = uptake; FX = fixation.

Main terms of the simulated nitrogen balance for the different crops and N uptake efficiency

Crop	Min. fertilizer (kg N ha ⁻¹)	N leaching (kg N ha ⁻¹)	N volatilization (kg N ha ⁻¹)	N uptake (kg N ha ⁻¹)	N denitrification (kg N ha ⁻¹)	N uptake efficiency (N upt/Min. fert.)
Potato	445	254	130	207	58	0.47
Lettuce	0	58	0	107	17	–
Onion	340	154	29	201	66	0.59
Cauliflower	200	100	0	158	44	0.79
Artichoke (1st year)	645	198	0	330	63	0.51
Artichoke (2nd year)	405	158	0	371	29	0.91
Citrus	370	138	0	191	44	0.52

EUROSEM - The European Soil Erosion Model

