

**MODELAGEM DO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL E EROSÃO HÍDRICA EM
UMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA NA
REGIÃO DOS TABULEIROS COSTEIROS**

JUNIOR CESAR AVANZI

2005

JUNIOR CESAR AVANZI

**MODELAGEM DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E EROSÃO
HÍDRICA EM UMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA NA REGIÃO
DOS TABULEIROS COSTEIROS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Avanzi, Junior Cesar

Modelagem do escoamento superficial e erosão hídrica em uma
microbacia hidrográfica na região dos Tabuleiros Costeiros / Junior César
Avanzi. -- Lavras: UFLA, 2005.

68 p. : il.

Orientador: Marx Leandro Naves Silva.

Dissertação (Mestrado) –UFLA.

Bibliografia.

1. Hidrologia. 2. Microbacia hidrográfica. 3. Modelagem. 4.
Escoamento superficial. 5. Vazão de pico. 6. Erosão hídrica. 7. Perdas de
solo. 8. MUSLE. 9. Floresta de eucalipto. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD-551.48

JUNIOR CESAR AVANZI

**MODELAGEM DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E EROSÃO
HÍDRICA EM UMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA NA REGIÃO
DOS TABULEIROS COSTEIROS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 29 de julho de 2005

Prof. Dr. Nilton Curi

UFLA

Pesq. Dr. Carlos Rogério de Mello

UFLA

Prof. Dr. Mozart Martins Ferreira

UFLA

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

A Deus,
por todas as obras
realizadas em minha vida,
OFEREÇO

*“Dirige os meus passos nos teus caminhos,
para que minhas pegadas não vacilem” Sl 17, 5*

DEDICO

Aos meus pais, João Leonardo e Maria
Imaculada, pelo amor e incentivo em
minha carreira,

À minha noiva, Gabriela, pelo apoio
nos momentos difíceis e amor a mim
dedicado,

Amo-vos de coração.

AGRADECIMENTOS

A Deus, a Ti não cabem palavras, apenas o silêncio de um coração feliz. Obrigado por tudo.

Aos meus pais, João Leonardo e Maria Imaculada, por terem me apoiado sempre e por todos os valores que a mim ensinaram.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do mestrado, e à CAPES pela concessão da bolsa.

Ao professor Marx Leandro Naves Silva, pela confiança, amizade, ensinamentos e pela orientação desde o período de graduação.

Ao pesquisador Carlos Rogério de Mello, pelos ensinamentos transmitidos, pela disponibilidade em todos os momentos e pela amizade construída.

Ao professor Nilton Curi, pelos ensinamentos transmitidos, amizade e conselhos.

À Aracruz Celulose S.A., pela disponibilidade dos dados, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Ao Sebastião Fonseca e Auro Campi de Almeida, pela disponibilidade de sempre ajudar, e a todos os técnicos da Aracruz Celulose S. A. envolvidos na coleta de dados para realização desta dissertação.

Ao membro da banca examinadora, professor Mozart Martins Ferreira, pelas sugestões neste trabalho.

Ao professor Cláudio Gouvêa Botelho, por incentivar-me a trabalhar com pesquisa, pela amizade e pelos conselhos.

Aos meus irmãos, Keyla e Ronaldo, e meu cunhado Emerson, pelo apoio ao meu estudo e pelo carinho. Ao meu sobrinho Leonardo, pela alegria de viver.

Ao meu tio, Adão Belinato, pelo exemplo de vida e por sempre me incentivar.

À Gabriela por estar ao meu lado, fazendo-me feliz e possibilitando-me sonhar a cada dia mais com meu futuro.

A toda família da minha noiva, por me acolher, em especial ao Renan, pelos momentos de descontração proporcionados.

Aos amigos de sempre Túlio, Luciano, Carlos Vinício (Espeto), Rafael (Fael), Filipe, pelo agradável convívio e pelo dia-a-dia.

Aos amigos e irmãos em Cristo, do Projeto Universidades Renovadas, por todos os momentos vividos e pelas alegrias compartilhadas.

A todos funcionários do Departamento de Ciência do Solo e as secretárias Maria Alice e Joyce.

Aos colegas do curso Sérgio Martins, Antonio Marcos, Ricardo Carvalho, Kátia Costa, Jussara, Daniela Zuliani, Amanda, Antônio Claret, Regimeire, Vinícius Ferreira, José Zilton, Liziane Brito, Flávio Oliveira, Daniela Silva, Bruno Ribeiro, Ênio, Krisle, Sandro Hurtado, Aristides, Gislene (Gigi), Walfrido, José Geraldo, Amaury, Cezar, Evaldo Cardoso, pelos bons momentos de convivência.

Aos amigos Peter (Pan), Natalino Gomes, Sérgio Tapparo, Denis Pinheiro, Diego Vicente, João Astolfo, Tadeu Arre, Weverton (Batista), Rodrigo Rocha, Aguinaldo Menegasse, Sandro Barbosa, Josye, Adilson Machado, Paulo Ademar (Sussuca), Ivana Horta, Tadeu Queiroz.

A todos, que embora não citados, contribuíram para realização deste trabalho, meu muito obrigado.

BIOGRAFIA

JUNIOR CESAR AVANZI, filho de Maria Imaculada da Silva Avanzi e João Leonardo Avanzi, nasceu em Barbosa Ferraz - PR, em 18 de março de 1980.

Concluiu o curso primário na Escola Rural Municipal Tomé de Souza, em 1990. O curso ginásial foi cursado na Escola Estadual Machado de Assis - Ensino de Primeiro Grau, em Barbosa Ferraz - PR, em 1994.

Técnico em Agropecuária pela EAFI – Escola Agrotécnica Federal de Inconfidentes, em Inconfidentes - MG, em 1997.

Engenheiro Agrícola pela UFLA – Universidade Federal de Lavras, em Lavras - MG, em dezembro de 2003.

Em março de 2004, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, no Departamento de Ciência do Solo, concluído em julho de 2005.

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS.....	i
RESUMO.....	iv
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Ciclo hidrológico	3
2.1.1 Precipitação.....	4
2.1.2 Escoamento superficial.....	6
2.2 Erosão hídrica do solo.....	8
2.3 Bacias hidrográficas.....	10
2.4 Modelos hidrológicos	11
2.4.1 Modelo preditivo do deflúvio e vazão de pico.....	13
2.4.2 Modelos preditivos de perdas de solo.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Descrição da área de estudo.....	19
3.1.1 Localização	19
3.1.2 Clima.....	20
3.1.3 Solos	20
3.1.4 Caracterização hidrológica da microbacia.....	23
3.2 Obtenção dos dados	24
3.2.1 Precipitação.....	24
3.2.2 Escoamento superficial.....	24
3.2.3 Umidade do solo	25
3.3 Modelagem do deflúvio e vazão de pico	26
3.3.1 Aplicação do método do Número da Curva – Serviço de Conservação do Solo (CN-SCS) para estimativa do deflúvio e vazão de pico	26

3.3.2 Modelagem semi-empírica do deflúvio e vazão de pico.....	27
3.4 Ajuste da Equação Universal de Perda de Solo Modificada – MUSLE para a microbacia.....	28
3.4.1 Obtenção do fator topográfico	30
3.5 Verificação e comparação da precisão dos modelos ajustados.....	32
3.6 Perdas de solo na microbacia.....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Modelagem do escoamento superficial.....	35
4.1.1 Aplicação do Método CN-SCS para a microbacia.....	35
4.1.2 Modelagem semi-empírica do deflúvio e vazão de pico.....	37
4.2 Calibração e aplicação do modelo MUSLE para uma microbacia hidrográfica na região dos Tabuleiros Costeiros	42
5 CONCLUSÕES	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXOS	61

LISTA DE SÍMBOLOS

X	(D x Qp)
Y	(PS / (K x LS x CP))
Ai	Abstração inicial
A	Área
AF	Areia fina
AG	Areia grossa
AM	Areia média
AMF	Areia muito fina
AMG	Areia muito grossa
PA8	Argissolo Amarelo moderadamente rochoso
PA1	Argissolo Amarelo textura média/argilosa
S	Armazenamento potencial de água no solo
“a”	Coefficiente de ajuste da MUSLE
“b”	Coefficiente de ajuste da MUSLE
kc	Coefficiente de compacidade
kf	Coefficiente de forma
Le	Comprimento da encosta
λ	Comprimento de rampa
L	Comprimento do curso d'água principal
LC ₂₅	Comprimentos das curvas de nível a 25% de Z
LC ₅₀	Comprimentos das curvas de nível a 50% de Z
LC ₇₅	Comprimentos das curvas de nível a 75% de Z
CN	Número da curva
Se	Declividade da encosta
DL	Declividade do curso d'água principal
i	Declividade média da microbacia

D	Deflúvio
Ds	Densidade do solo
Z	Desnível entre o exutório e o ponto mais elevado da bacia
Dc	Duração da precipitação
CP	Fator cobertura e prática de manejo
K	Fator erodibilidade do solo
R	Fator erosividade da chuva
LS	Fator topográfico (comprimento de rampa e grau de declive)
θ	Grau de declive
HUT	Hidrograma unitário triangular
Hor	Horizonte do solo
ϕ	Índice fi
I	Intensidade da média da precipitação
Im	Intensidade máxima em 30 minutos
le	Largura do retângulo equivalente
EP	Número de pontos extremos
PS	Perda de solo
Per	Perímetro da microbacia
PERM	Permeabilidade do solo à água
FX	Plintossolo Háptico
P	Precipitação
Pef	Precipitação efetiva
Pu	Precipitação unitária
QME	Quadrado médio do erro
C	Razão de escoamento (D/P)
LC	Somatório dos comprimentos das curvas de nível da bacia hidrográfica
LB	Somatório dos comprimentos das curvas de nível de base da bacia hidrográfica

tb	Tempo base
ta	Tempo de ascensão da hidrógrafa
tc	Tempo de concentração
tch	Tempo de duração da precipitação efetiva
tp	Tempo de pico da hidrógrafa
te	Tempo de recessão da hidrógrafa
tl	Tempo de retardo
ti	Tempo para a intensidade máxima da chuva
U	Umidade do solo na base peso
Qp	Vazão de pico da hidrógrafa
qp	Vazão de pico da hidrógrafa unitária

RESUMO

AVANZI, Junior Cesar. **Modelagem do escoamento superficial e erosão hídrica em uma microbacia hidrográfica na região dos Tabuleiros Costeiros**. 2005. 68p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.¹

A erosão hídrica é um dos principais problemas ligados ao manejo de solos tropicais, sendo o escoamento superficial o responsável pelo transporte e deposição destes sedimentos. Neste sentido, este estudo teve como objetivos ajustar modelos matemáticos concentrados às variáveis hidrológicas do escoamento superficial e aplicar estes modelos ao modelo de perdas de solo “Equação Universal de Perda de Solo Modificada – MUSLE”, em uma microbacia hidrográfica, ocupada por plantações de eucalipto e floresta nativa, na região dos Tabuleiros Costeiros, município de Aracruz, ES. As classes de solo dominantes na microbacia são o Argissolo Amarelo textura média/argilosa (PA1), Argissolo Amarelo moderadamente rochoso (PA8) e Plintossolo Háptico (FX). O trabalho foi conduzido no período de 1997 a 2004. Foram coletados dados de precipitação, em estação climatológica automatizada, para obtenção de hietogramas. Os hidrogramas foram gerados com os dados de vazão, proveniente de um vertedouro, aparelhado com linígrafo, instalado na seção de controle da microbacia. A umidade do solo também foi monitorada até a profundidade de 1,6 m. Foi verificado que o método CN-SCS não produziu bons resultados quando aplicado a eventos isolados de precipitação, superestimando o valor de deflúvio e da vazão de pico. Foram ajustados modelos semi-empíricos, para o deflúvio e vazão de pico, com base nas características da precipitação, obtendo boas estimativas, podendo ser utilizados para simulação hidrológica. O modelo MUSLE mostrou-se adequado para predições das perdas de solo na microbacia, recomendando-se os coeficientes “a” e “b” igual a 14,96 e 0,59, respectivamente, com um fator topográfico de 1,28. O uso e manejo dos solos adotados para a microbacia hidrográfica mostraram-se conservacionistas, e isto pode ser confirmado pelo baixo valor obtido no balanço das perdas de solo e nas pequenas perdas na seção de controle da mesma.

¹ Comitê Orientador: Marx Leandro Naves Silva – UFLA (Orientador); Carlos Rogério de Mello –UFLA; Nilton Curi – UFLA.

ABSTRACT

AVANZI, Junior Cesar. **Runoff modeling and water erosion on a small watershed at Coast Plain region**. 2005. 68p. Dissertation (Master in Soils and Plant Nutrition) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.¹

Water erosion is one of the main problems linked to tropical soils management, being the surface runoff responsible for the most part of sediments transported and deposited. This study has as objectives to determine total surface runoff and peak discharge, and to generate concentrated semi-empirical hydrological models, applying these models to soil losses model “Modified Universal Soil Loss Equation – MUSLE”, on a watershed occupied by eucalyptus plantations and native forest, in the Coastal Plain region, Aracruz county, Espírito Santo state, Brazil. Yellow Argisol medium/clayey texture (PA1), Yellow Argisol moderately rocky (PA8), and Haplic Plinthosol (FX) are the main soil classes of the watershed. Hydrological data were monitored between 1997 and 2004, with rainfall data being collected by automated weather station for obtaining the hyetograms. Hydrographs were generated with discharge data from precalibrated weir, with water-sensor level, installed on the stream flow control section of the watershed. Soil moisture was monitored up to 1.6 m depth. CN-SCS method did not produce good accuracy, overestimating the runoff and peak discharge for individual rainfall events. Semi-empirical models, based on rainfall characteristics, showed good estimates, and can be used for hydrological simulation. MUSLE model showed to be appropriated for soil losses predictions on the watershed being recommended the “a” and “b” coefficients equal to 14.96 and 0.59, respectively, with a topographical factor of 1.28. Soil use and management adopted on the watershed showed to be conservative, and this can be confirmed by the low soil losses on the watershed balance and on the stream flow control section.

¹ Guidance Committee: Marx L-eandro Naves Silva –UFLA (Adviser); Carlos Rogério de Mello – UFLA; Nilton Curi – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

Dentre os fatores que contribuem para a perda de solo, a erosão hídrica é considerada a mais relevante na maior parte do país, pois é um dos principais fatores que contribuem para a diminuição da produtividade e sustentabilidade dos solos, acarretando a degradação dos mesmos.

O uso incorreto, pelo homem, dos recursos naturais, modificando o solo, cria condições para que o processo erosivo se intensifique. As condições mais favoráveis estão presentes em solos desprovidos de cobertura vegetal, compactados e recentemente movimentados através de cultivos intensivos, trazendo como efeitos o aumento na desagregação destes solos, diminuição da capacidade de infiltração de água e, conseqüentemente, aumento do escoamento superficial.

Os estudos em bacias experimentais são fundamentais para o entendimento da dinâmica da água e suas conseqüências ambientais, por constituírem elementos que proporcionam uma completa visão do ambiente solo, água e vegetação e os efeitos do uso e manejo do solo na sustentabilidade do sistema e do ciclo hidrológico.

Atualmente, há grande necessidade de desenvolvimento de modelos matemáticos que prevêm o aporte de sedimentos para os cursos d'água, pois permitem uma grande economia de tempo e recursos financeiros.

Dos modelos existentes, a Equação Universal de Perda de Solo Modificada – MUSLE possibilita a predição do comportamento hidrossedimentológico em pequenas e médias bacias hidrográficas, podendo ter outras aplicações como: balanço hídrico e qualidade ambiental; aplicação em modelos distribuídos de perdas de solo; inferência sobre a dinâmica da água na bacia e a conseqüente influência que um determinado evento de precipitação produzirá no contexto do impacto ambiental; predizer quais as influências que

mudanças no uso do solo poderão provocar em termos do escoamento superficial e erosão; geração de informações hidrometeorológicas e sedimentológicas que possam ser aplicadas em modelos de prognóstico da produtividade do eucalipto, por meio de simulações climáticas e balanço hídrico global da bacia.

Assim, este estudo teve como objetivos determinar as variáveis hidrológicas do escoamento superficial, ajustando modelos matemáticos concentrados para estimativa do deflúvio e vazão de pico, aplicando-os ao modelo de estimativa de perdas de solo MUSLE (Equação Universal de Perda de Solo Modificada). Também foi objetivo deste trabalho fazer um balanço das perdas de solo que ocorrem em uma microbacia hidrográfica, ocupada por plantações de eucalipto e floresta nativa, na região dos Tabuleiros Costeiros, no município de Aracruz, ES.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico, ou ciclo da água é o fenômeno global de circulação da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, constituindo-se em uma mudança constante de estado físico da água na natureza, sendo o grande motor deste ciclo o calor irradiado pelo sol.

Quando ocorre um evento de precipitação, uma parcela da água é retida pela cobertura vegetal, sendo maior quanto mais intensa for a vegetação (Mello, 2003). Outra parte da água se infiltra através dos espaços vazios que encontra no solo e nas rochas. Pela ação da força da gravidade, esta água vai se infiltrando até preencher os espaços porosos do solo, vindo a saturá-lo, começando então a se movimentar horizontalmente em direção às áreas mais baixas. Este excedente, escoar sobre a superfície do solo em direção às áreas de menor cota do terreno, indo alimentar diretamente os rios e lagos (Silveira, 2004).

A vegetação, o solo e os espelhos de água, formados pelos reservatórios, têm um papel importante neste ciclo, pois são os responsáveis pelo retorno da água à atmosfera, através da transpiração das plantas e ou evaporação, sendo estes fenômenos, quando associados, conhecidos unicamente como evapotranspiração.

De acordo com Silveira (2004), a evaporação direta dos oceanos para a atmosfera corresponde à cerca de 85% do total evaporado, sendo os 15% complementares devido à evapotranspiração dos continentes. No balanço das precipitações, os percentuais diferem um pouco, com a atmosfera devolvendo aos oceanos cerca de 77% do total precipitado, cabendo aos continentes receberem os 23% restantes. A diferença entre o que é precipitado nos continentes e o que é evapotranspirado corresponde à água infiltrada no solo e ao escoamento superficial. A erosão hídrica está intimamente relacionada ao

impacto da gota de chuva no solo, bem como na interação entre esta com a capacidade de infiltração de água dos solos, produzindo o escoamento superficial direto (deflúvio ou enxurrada). Na Figura 1 apresenta-se, resumidamente, este processo.

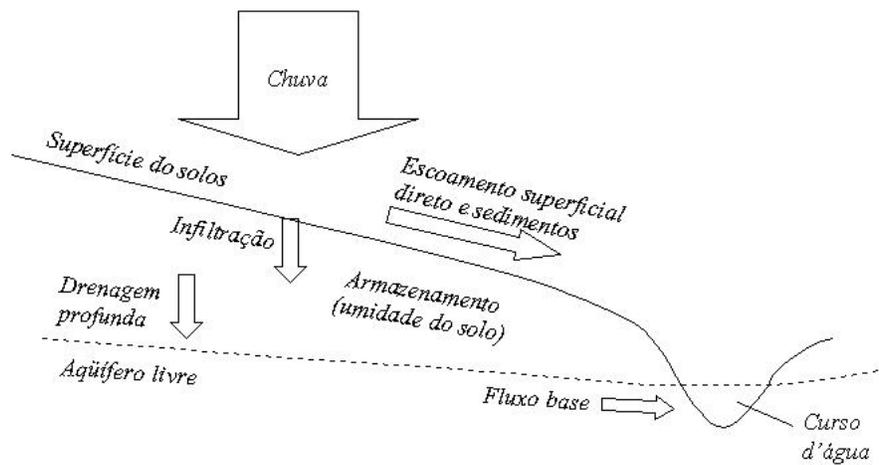


FIGURA 1 Interação entre erosão hídrica e atributos hidrológicos em uma bacia hidrográfica. Fonte: Modificado de SWCS (2003).

2.1.1 Precipitação

A precipitação constitui-se no principal componente do ciclo hidrológico. É por meio deste fenômeno que a água retorna para a superfície terrestre, entrando na bacia hidrográfica, especialmente na forma de chuva.

A chuva se forma pela condensação do vapor d'água em torno de núcleos higroscópicos, formando minúsculas gotas. A seguir, sofre coalescência,

formando gotas cada vez maiores e, após vencerem as forças de ascensão (resistência do ar), irão se precipitar.

Dependendo dos mecanismos de ascensão das massas de ar úmido, as chuvas se classificam em orográficas, convectivas e frontais. As chuvas orográficas resultam do resfriamento adiabático de massas de ar em ascensão ao longo de barreiras naturais, tais como montanhas. Geralmente são localizadas sobre uma certa área, apresentando características variáveis de intensidade e duração. As chuvas convectivas resultam de células de convecção térmica, apresentando, geralmente, grande intensidade, de curta duração e restrita a pequenas áreas. Assim, estas chuvas podem produzir enchentes em bacias de pequena área de drenagem, produzindo grande perda de solo. As chuvas frontais apresentam maior duração, podendo atingir extensas áreas; suas intensidades, entretanto, são relativamente baixas ou moderadas. Portanto, enchentes de bacias de grande área de drenagem estão vinculadas a este tipo de chuva.

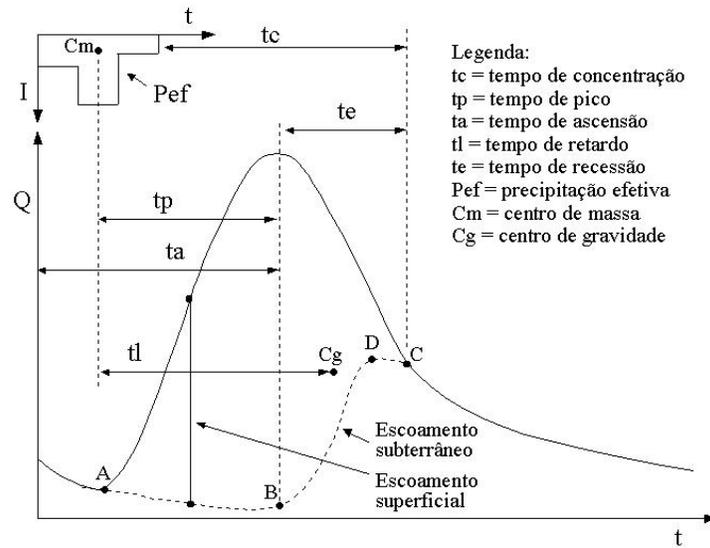
O volume e a velocidade do escoamento superficial dependem da intensidade, duração e frequência da chuva, sendo a intensidade o fator pluviométrico mais importante, estando intimamente ligada ao processo erosivo (Bertoni & Lombardi Neto, 1999).

Quando ocorre uma chuva, com menor intensidade, a água irá se infiltrar por um período, mais ou menos longo, dependendo das condições de umidade em que o solo se encontra. Depois, inicia o escoamento superficial, aumentando de volume ao longo da encosta (Bertoni & Lombardi Neto, 1999). Na ocorrência de um evento de chuvas de alta intensidade, esta intensidade pode ultrapassar a velocidade de infiltração de água do solo, ocasionando maior volume de enxurrada e maior quantidade de sedimentos transportados, conseqüentemente, maior taxa erosiva.

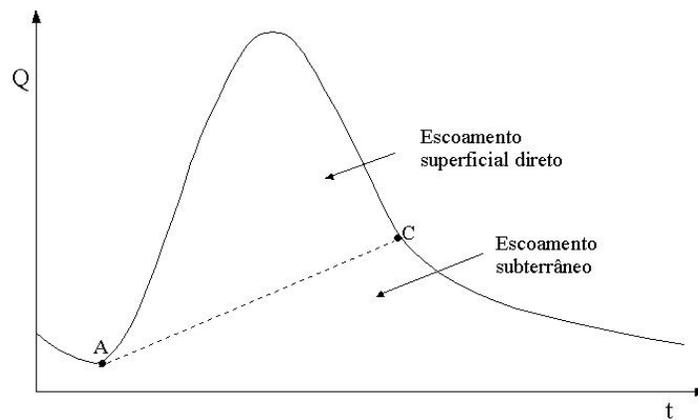
2.1.2 Escoamento superficial

Para o estudo do escoamento em bacias, geralmente recorre-se a hidrógrafas, onde os comportamentos do escoamento são melhor visualizados (Pozzebon, 2000). Trata-se de registros gráficos de vazões de um corpo d'água em relação ao tempo, refletindo o comportamento do escoamento total. Através destes hidrogramas, realiza-se a separação do escoamento superficial direto do escoamento total, determinando assim o deflúvio, a vazão de pico e tempos de resposta à excitação produzida pela chuva, os quais caracterizam a bacia. As hidrógrafas podem representar o escoamento em escala de anos, meses, dias ou apenas um evento de precipitação, este último mostrado na Figura 2.

A forma adquirida por este gráfico, depende da interação de vários fatores, tais como, uso da terra, relevo, atributos do solo, umidade do solo antecedente à precipitação, intensidade e duração da chuva, distribuição da precipitação sobre a bacia e obras hidráulicas construídas pelo homem (Tucci, 2004). Segundo Hewlett (1981), em situações de solo raso, declividade acentuada e sob chuvas fortes, são produzidos rápidos picos de vazão, estando florestados ou não, constituindo-se em uma situação de pequenos tempos de concentrações, com rápida resposta das interações hidrológicas.



a)



b)

FIGURA 2 a) hidrograma típico; b) separação do escoamento superficial direto (deflúvio) do escoamento base (subterrâneo). Fonte: Modificado de Tucci (2004).

Na Figura 2 são mostrados alguns tempos utilizados para caracterizar o hidrograma e o comportamento do escoamento na bacia. O tempo de retardo (t_l) é definido como o intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o centro de gravidade do hidrograma. O tempo do pico (t_p) é definido como o intervalo entre o centro de massa da precipitação e o tempo da vazão máxima. O tempo de concentração (t_c) é o tempo necessário para a água precipitada, no ponto mais distante na bacia, deslocar-se até a seção principal. Esse tempo é também definido como o tempo entre o fim da precipitação efetiva e o ponto de inflexão do hidrograma. O tempo de ascensão (t_a) é o tempo entre o início da chuva e o pico do hidrograma. O tempo base (t_b) é o tempo entre o início da precipitação e aquele em que a precipitação ocorrida já escoou através da seção principal, ou que o rio volta às condições anteriores à ocorrência da precipitação. O tempo de recessão (t_e) é o tempo necessário para a vazão baixar até o ponto C (Figura 2a), quando acaba o escoamento superficial direto. Além destas definições de tempo, tem-se também a vazão de pico (Q_p), que é o valor máximo do hidrograma; o deflúvio (D), que corresponde ao volume do escoamento superficial direto e a precipitação efetiva (P_{ef}), a qual corresponde à parcela da precipitação ou lâmina que gerou o escoamento superficial, sendo numericamente igual ao deflúvio.

No estudo de bacias hidrográficas, o entendimento das hidrógrafas constitui-se em uma análise fundamental, pois sua forma é devida às características físicas da bacia e aos eventos de precipitação.

2.2 Erosão hídrica do solo

A erosão hídrica ocorre atualmente em grandes áreas da superfície terrestre, uma vez que ela está inicialmente ligada a fatores de interferência antrópica. O homem, modificando o ecossistema natural, vem provocando uma intensa degradação dos recursos naturais, sobretudo o solo, refletindo na

deterioração do meio ambiente, no assoreamento de cursos d'água e na redução da capacidade produtiva dos mesmos, além de cheias de grande impacto sobre áreas urbanas e rurais.

De acordo com Hudson (1995), a erosão hídrica é, fundamentalmente, a ação erosiva da chuva sobre o solo. O impacto direto das gotas de chuva sobre o solo, causando a desagregação das partículas, e o escoamento superficial do excesso de água sobre o solo são os agentes ativos e o solo e a cobertura vegetal são os agentes passivos, no processo de erosão hídrica.

Os fatores do solo, que mais interferem no processo erosivo, estão ligados à declividade, à capacidade de infiltração de água do solo, à distância percorrida pelo escoamento superficial, rugosidade superficial, resistência do solo à ação erosiva da chuva e ao percentual de cobertura vegetal existente na ocasião do evento de precipitação (Pereira et al., 2003).

O problema da erosão hídrica tem uma abrangência muito maior, podendo causar a redução da fertilidade dos solos através do arraste de nutrientes e carbono orgânico pela água da enxurrada, o estabelecimento de grandes voçorocas e a deposição de sedimentos e poluição em lagos e rios (Guerra & Cunha, 1995). Além disso, as partículas transportadas pela água, no escoamento superficial, podem estar impregnadas de agroquímicos e causar a contaminação dos cursos d'água e lagos. O desmatamento e a erosão hídrica dos solos podem provocar o desaparecimento de mananciais, bem como acentuar os efeitos das inundações (Silva & Curi, 2001).

O escoamento superficial é o principal processo associado à erosão hídrica. Apesar do impacto das gotas de chuva desempenhar um papel importante na desagregação das partículas do solo, é o escoamento superficial que promove o transporte das partículas de solo liberadas, e dependendo da carga de sedimento e da capacidade de transporte do escoamento, ocorrerá a liberação ou a deposição dos sedimentos. Muitas práticas de controle da erosão

são, na verdade, práticas de controle da velocidade e do volume de escoamento superficial (Pruski et al., 2001).

A cobertura do solo possui considerável influência devido à interceptação causada pelas folhas dos vegetais, que reduz a energia cinética das gotas, diminuindo seu poder erosivo, notadamente em solos sob vegetação florestal. A existência de vegetação também aumenta a rugosidade do terreno e a capacidade de infiltração de água, diminuindo a velocidade do escoamento superficial (Ranieri et al., 1998), favorecendo à absorção rápida da precipitação.

2.3 Bacias hidrográficas

Em virtude destes vários fatores condicionantes do escoamento superficial, torna-se necessário que o planejamento conservacionista seja realizado ao nível de unidades fisiográficas, não sendo apenas executado ao nível de propriedade rural, uma vez que estas unidades mostram um panorama global do ecossistema afetado.

O termo bacia hidrográfica refere-se a uma área de captação natural da precipitação delimitada topograficamente por divisores de água. É composta basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e uma rede de drenagem constituída por cursos d'água que confluem e cujo escoamento converge para um mesmo ponto, denominado exutório ou seção de controle (Silveira, 2004).

O conceito de bacia e sub-bacia hidrográfica relaciona-se a ordens hierárquicas dentro de uma determinada malha hídrica (Fernandes & Silva, 1994). Cada bacia hidrográfica se interliga com outra de ordem superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia.

Os elementos que constituem uma bacia hidrográfica influenciam diretamente nas respostas aos eventos de precipitação, destacando-se, segundo Goldenfum (2001) e Righetto (1998), as suas unidades pedológicas, cobertura vegetal, características geomorfológicas (declividade, formato, área e rede de

drenagem) e também as características geológicas (Resende et al., 2002). Ambientalmente, pode se dizer que a bacia hidrográfica é a unidade ecossistêmica e morfológica que melhor reflete os impactos das interferências antrópicas (Baruqui & Fernandes, 1995; Fernandes & Silva, 1994; Jenkins et al., 1994), tais como a ocupação das terras com as atividades agrícolas e florestais (Ranzini & Lima, 2002).

A bacia hidrográfica deve ser utilizada como unidade básica para o planejamento conservacionista, pois visa um controle integrado da erosão do solo em toda a área que converge para uma mesma seção de deságüe (Calijuri et al., 1998; Passos, 1993).

Neste contexto, tendo as bacias hidrográficas como base para a compreensão global do efeito do escoamento, a simulação de eventos hidrológicos, através da modelagem matemática e estatística, auxiliam à tomada de decisão. Assim sendo, modelos que prevêm a produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas, permitem uma maior economia de recursos financeiros e otimização do tempo, bem como aplicação e simulação imediatas.

2.4 Modelos hidrológicos

A hidrologia é constituída por outras ciências, entre as quais, a matemática e a estatística. Estas são fundamentais para o desenvolvimento de uma área da hidrologia extremamente importante e de ampla aplicação, a de modelagem, cujo produto principal é a simulação de eventos hidrológicos, sendo fundamentais no contexto do gerenciamento dos recursos naturais solo e água.

Os modelos podem ser definidos, de acordo com Batchelor (1994), como uma proposição simplificada da natureza, com o propósito de conhecer e entender um fenômeno. Também podem se descritos como uma simplificação da realidade, tornando-se fundamentais para o conhecimento dos processos ambientais (Tim, 1996).

Basicamente, a modelagem matemática consiste em representar matematicamente o que acontece na natureza a partir de um modelo conceitual, idealizado com base nos dados de observação do sistema real (Machado, 2002). Os modelos podem ser usados para estabelecer mais conhecimentos sobre os sistemas ambientais, tanto como meio de testar hipóteses, como de ajustar um método para prever o manejo desses ecossistemas (Beven, 1989; Grayson et al., 1992). A modelagem, então, visa compreender melhor o sistema e prever situações futuras, antes mesmo da adoção de determinadas práticas agrícolas ou implantação de uma cultura.

Os tipos de modelos aplicados à hidrologia são classificados, segundo Tucci (1998), como determinísticos e não determinísticos. Modelos não determinísticos são do tipo probabilísticos e estocásticos. Os modelos determinísticos são divididos em empírico e conceitual. Este último, ainda se divide em outros dois, semi-conceituais e conceituais propriamente ditos (físicos). Segundo este mesmo autor, não existem modelos que sejam puramente físicos, pois sempre existem partes do modelo trabalhadas de forma empírica. Os modelos conceituais apresentam grandes vantagens pelo fato de poderem ser extrapolados para outras áreas. O grande empecilho destes modelos é o número de parâmetros, relativamente grande, a serem calibrados, necessitando de grandes séries históricas de dados para uma aproximação razoável destes, além de grande variabilidade espacial e temporal, notadamente de atributos físico-hídricos do solo em escala de bacia hidrográfica. Os modelos semi-conceituais são estruturados com base em variáveis físicas, que explicam o comportamento do fenômeno na natureza, apresentando possibilidades de atualização em tempo real. Estes modelos apresentam dificuldades de extrapolação para outras áreas (Tucci, 1998; Mello, 2003). Estas vantagens possibilitam um acompanhamento dinâmico dos processos hidrológicos em bacias experimentais.

Modelagens em bacias hidrográficas com grande cobertura vegetal, onde os processos hidrológicos são muito mais verticais (interceptação e evapotranspiração) do que horizontais (escoamento), são tratadas de forma ineficaz e incompleta. As limitações básicas dos modelos hidrológicos são a quantidade e qualidade dos dados hidrológicos requeridos por estes, além da dificuldade existente na formulação matemática de alguns processos e na simplificação do comportamento espacial de variáveis e fenômenos nestes processos (Tucci, 1998).

Ao contrario de outros países, no Brasil, a prática da modelagem ainda é incipiente, principalmente devido à ausência de informações qualitativas e quantitativas, geralmente em decorrência da falta de publicação e atualização de um banco de dados detalhados e consistentes, relativos às questões mais variadas relacionadas ao ambiente estudado (Pessoa et al., 1997).

2.4.1 Modelo preditivo do deflúvio e vazão de pico

O método denominado Número da Curva (CN), é a técnica mais utilizada para estimar o volume de escoamento superficial em bacias hidrográficas, desenvolvido pelo Serviço de Conservação de Solo (SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Este método foi utilizado por diversos autores, tais como Ferraz (2002), Machado (2002), Pozzebon (2000) e Silva & Oliveira (1999).

O método proposto pelo SCS é baseado na obtenção de curvas que relacionam a precipitação com o escoamento em muitas bacias norte-americanas. No sentido de padronizar essas curvas, foram definidos números adimensionais, os CN's. O CN pode variar na faixa de 0 a 100, sendo que o valor 0 é encontrado em áreas totalmente permeáveis, onde o potencial de armazenamento é elevado e não ocorre escoamento. O valor 100 é aplicado a

áreas totalmente impermeáveis, sem armazenamento ou outras perdas, onde o escoamento da chuva é total (Pozzebon, 2000).

Na modelagem do escoamento superficial, o método CN ao longo dos anos tornou-se o mais conhecido. Segundo Machado (2002), essa popularidade é devida à sua simplicidade, requerendo apenas algumas características hidrográficas. O método baseia-se em dados da relação entre intensidade da chuva, condições de superfície do solo e volume do escoamento, sendo, pois, o valor do número da curva uma função do uso, cobertura do solo, condições hidrológicas, grupo hidrológico do solo e condições de umidade antecedente. Cada um destes fatores pode apresentar altas variabilidades espaciais, dificultando a determinação precisa dos valores de CN para todas as áreas de uma bacia hidrográfica (Grove et al., 1998).

O número da curva, para diversas condições hidrográficas e cobertura de solo, está disponível em tabelas do SCS. A condição hidrológica descreve o tipo de solo (A, B, C, e D) e a cobertura descreve o uso e as condições de manejo. Os grupos hidrológicos de solo, segundo o SCS, têm as seguintes características (Tucci, 2004).

Solo A: solos que produzem baixo escoamento superficial e alta permeabilidade do solo à água. Solos arenosos, profundos, com pouco silte e argila;

Solo B: solos arenosos, menos profundos do que o tipo A e com permeabilidade do solo à água superior à média;

Solo C: solos que geram escoamento superficial acima da média e com permeabilidade do solo à água abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo;

Solo D: solos pouco profundos, argilosos contendo argilas expansivas e com permeabilidade do solo à água baixa, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Estes critérios adotados pelo SCS levam em consideração atributos físico-hídricos de solos das regiões temperadas, onde a textura exerce papel primordial no seu comportamento hidrológico, diferentemente de alguns solos das regiões tropicais, particularmente os Latossolos argilosos gibbsíticos, onde a estrutura é fundamental neste contexto. Portanto, diversos pesquisadores têm proposto, como critério para diferenciação dos grupos hidrológicos de solos, o estabelecimento de limites de taxas de infiltração. Entretanto, estes limites apresentam grandes variações, quando considerados diferentes autores, possivelmente relacionadas aos métodos e interpretações dos valores obtidos. Deste modo, torna-se difícil a adoção de um valor para o CN que represente o comportamento físico-hídrico real dos solos na bacia estudada.

As principais deficiências do método CN são: a) o modelo não considera os efeitos da rugosidade superficial, e b) uma vez que uma relação contínua entre a umidade do solo e o número da curva é usado no modelo, pequenas variações no conteúdo de água no solo podem resultar em uma mudança súbita no número da curva, o que pode acarretar uma variação irreal no valor do escoamento superficial calculado (Pathak et al., 1989).

2.4.2 Modelos preditivos de perdas de solo

A estimativa das perdas de solo por erosão em um dado local é o ponto de partida da investigação que tem por objetivos o diagnóstico e a proposição de ações corretivas (Schertz, 1983). Entretanto, há dificuldades para avaliar, de forma exata e precisa, a extensão e magnitude das taxas de erosão, bem como os impactos econômicos e ambientais dela decorrentes (Lal, 1994). Desta maneira, modelos de previsão de perdas de solo têm sido desenvolvidos para auxiliar o planejamento conservacionista.

Dentre os muitos modelos que tentam exprimir a ação dos principais fatores que exercem influência nas perdas de solo pela erosão hídrica, o que trata

o assunto de modo mais dinâmico é a chamada Equação Universal de Perda de Solo – EUPS (Wischmeier & Smith, 1965; 1978).

A EUPS é a equação de estimativa de erosão mais conhecida e aplicada até hoje. Seu objetivo básico é fazer previsões para várias situações de uso e manejo do solo, a médio e longo prazo, de erosão hídrica do solo com base em longos períodos de coleta de dados, objetivando promover o planejamento de práticas conservacionistas para minimizar as perdas de solo em níveis aceitáveis (Larson et al., 1997).

A EUPS foi inicialmente desenvolvida nos Estados Unidos em 1954 no Serviço de Pesquisa Agrícola, na Universidade de Purdue, East Lafayette, IN. Após anos, a equação evoluiu para o modelo revisado por Wischmeier & Smith (1978). O modelo EUPS é de utilização muito prática para o planejamento conservacionista do solo. Embora seja denominada “universal”, seus parâmetros devem ser determinados localmente (Wischmeier, 1976). A EUPS consiste de uma combinação linear expressa da seguinte forma:

$$PS = R K LS CP \quad (1)$$

em que, PS é a perda de solo por erosão ($Mg \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), R é o potencial erosivo médio anual da chuva ($MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), K é a erodibilidade do solo ($Mg \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), LS é o fator topográfico do solo, que representa o comprimento de rampa (m) e grau de declive (%) (adimensional), CP é o fator cobertura da cultura e práticas de manejo (adimensional).

A EUPS limita-se a estimativas de perdas de solo anuais médias, não estimando o processo de deposição e de transporte do sedimento ao longo da vertente e para fora desta, o que dificulta a sua aplicação na escala de bacias hidrográficas, pois estas, com frequência, possuem relevo complexo, deposição de sedimentos e áreas de perdas (Kresnor et al., 1992; Renard et al., 1991).

Uma importante limitação da EUPS, como uma equação com base empírica, é não apresentar explicitamente os processos hidrológicos

fundamentais na erosão hídrica. Por exemplo, o efeito do escoamento superficial, que é um componente importante de modelos hidrológicos, não é diretamente representado nesta equação. Por outro lado, se fosse incluída tal variável na equação, esta ganharia extrema complexidade (Renard et al., 1991).

A crescente preocupação com problemas de assoreamento e poluição de cursos d'água e de reservatórios contribuiu para o desenvolvimento de modelos matemáticos que prevêm o aporte de sedimentos em pontos específicos da bacia hidrográfica (Chaves, 1991). Deste modo, foi desenvolvido por Williams (1975), o modelo MUSLE (Equação Universal de Perda de Solo Modificada) para prever a produção de sedimentos em pequenas e médias bacias hidrográficas, por meio das análises de chuvas individuais.

A MUSLE é uma diferenciação do modelo proposto por Wischmeier & Smith (1965; 1978), cuja principal correção consiste da substituição do fator de energia cinética da chuva (R), por um fator de escoamento (Williams, 1975), com o parâmetro R sendo substituído pelo produto gerado entre o volume escoado e a vazão de pico. A MUSLE apresenta um grande potencial de aplicação no Brasil, devido à simplicidade de sua estrutura, ao número relativamente baixo de parâmetros empregados, à facilidade de calibração e de aplicação (Chaves, 1991). Outro aspecto importante está relacionado ao banco de dados relativamente grande, quando comparado a outros modelos, uma vez que grandes partes dos fatores são obtidas no modelo EUPS, amplamente difundida no Brasil.

Para se trabalhar com a MUSLE, os fatores hidrológicos necessários à estimativa do aporte de sedimentos nem sempre são de simples obtenção, uma vez que para se chegar aos valores finais de cada um destes fatores, que compõem o modelo, são necessárias informações de outros fatores necessários para aplicação do cálculo do volume de escoamento e da vazão de pico, tais como manejo, permeabilidade do solo à água e umidade do solo, tempo de pico

do hidrograma, entre outros, além daquelas necessárias ao uso da EUPS (Chaves, 1995).

Chaves (1991), avaliando a sensibilidade dos parâmetros da MUSLE, concluiu que o modelo é muito sensível aos parâmetros hidrológicos, medianamente sensíveis aos parâmetros erodibilidade e manejo, e pouco sensível aos parâmetros topográficos.

O modelo MUSLE tem apresentado boas correlações com os dados observados em campo, de produção de sedimentos, conforme demonstrado por Erskine et al. (2002), em estudo desenvolvido na Austrália, em solos derivados de arenito, com o propósito de avaliar a produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas, onde foram utilizados três métodos de predição de perdas (MUSLE, RUSLE e SoiLoss). A MUSLE mostrou-se o modelo mais preciso, com coeficiente de correlação igual a 0,947. Em estudos similares, conduzidos por Erskine et al. (2003), no oeste de Sidney, em diversos usos de solo derivado de rochas xistosas, o modelo MUSLE obteve um coeficiente de correlação de 0,971 com os dados observados em campo.

O modelo MUSLE também tem sido usado como entrada de dados de produção de sedimentos em modelos distribuídos, tais como: o modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), utilizado nos estudos de Chen & Mackay (2004) e Machado & Vettorazzi (2003); na integração com o modelo SPANS-GIS (*Spatial Analysis System-Geographic Information System*) na geração da produção de sedimentos (Nikkami et al., 2002; Nikkami et al., 1999); e, juntamente com o modelo OPUS, utilizado por Fontes et al. (2004).

Desta forma, acredita-se que seja possível gerar um bom ajuste do modelo MUSLE para predição das perdas de solo em bacias hidrográficas florestadas, a partir de uma modelagem própria para estimativa do deflúvio e vazão de pico, com perspectivas de sua aplicação, visando ao manejo integrado dos recursos naturais na bacia.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo

3.1.1 Localização

A área experimental da Aracruz Celulose S.A., onde foi conduzido o estudo, está situada no município de Aracruz, no estado do Espírito Santo, na mesorregião litoral norte do Estado (Figura 3), estando situada entre as coordenadas 19° 35' e 20° 15' S e 40° 00' e 40° 20' W de Greenwich.

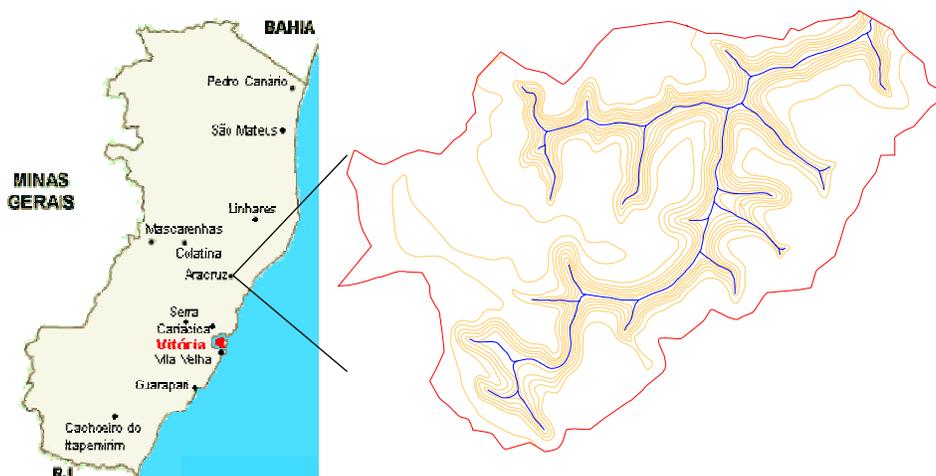


FIGURA 3 Localização do estado do Espírito Santo, do município de Aracruz e da área de estudo na microbacia hidrográfica experimental.

3.1.2 Clima

O clima da região é Aw, segundo a classificação de Köppen, clima tropical úmido, com estações chuvosas no verão e seca no inverno. Devido à proximidade do oceano (14 km da costa), as temperaturas são elevadas apresentando média anual de 23° C, mas suas oscilações são pequenas e no inverno verifica-se estiagem bem menos pronunciada que em outros locais. A precipitação média anual de 1.400 mm, havendo, nos meses de primavera e verão, 65 a 75% do total anual precipitado e, em apenas 1 ou 2 meses, as precipitações mensais são menores que 60 mm (Embrapa, 2000).

3.1.3 Solos

A região é recoberta predominantemente por sedimentos do Terciário, pertencentes à Formação Barreiras. Essa formação distribui-se ao longo do litoral, no Estado do Espírito Santo, sobre as rochas do Pré-Cambriano do embasamento cristalino (Brasil, 1970).

A microbacia experimental foi implantada em 1994 e possui uma área de 286 ha, dos quais 190 ha são de plantações de eucalipto e 86 ha estão cobertos por floresta nativa (Mata Atlântica) em estágio avançado e médio de regeneração. Os 10 ha restantes compreendem estradas florestais. As classes dominantes de solo são o Argissolo Amarelo textura média/argilosa (PA1), Argissolo Amarelo moderadamente rochoso (PA8) e Plintossolo Háptico (FX). O PA1 e FX apresentam relevo variando de plano a ondulado, sendo que o PA1 ocorre no topo das elevações e o FX ocorre em locais ligeiramente côncavos, distribuídos dentro das áreas de PA1, e o PA8 apresenta relevo forte ondulado, ocorrendo na encosta. A Figura 4 mostra a distribuição dos solos na microbacia piloto.

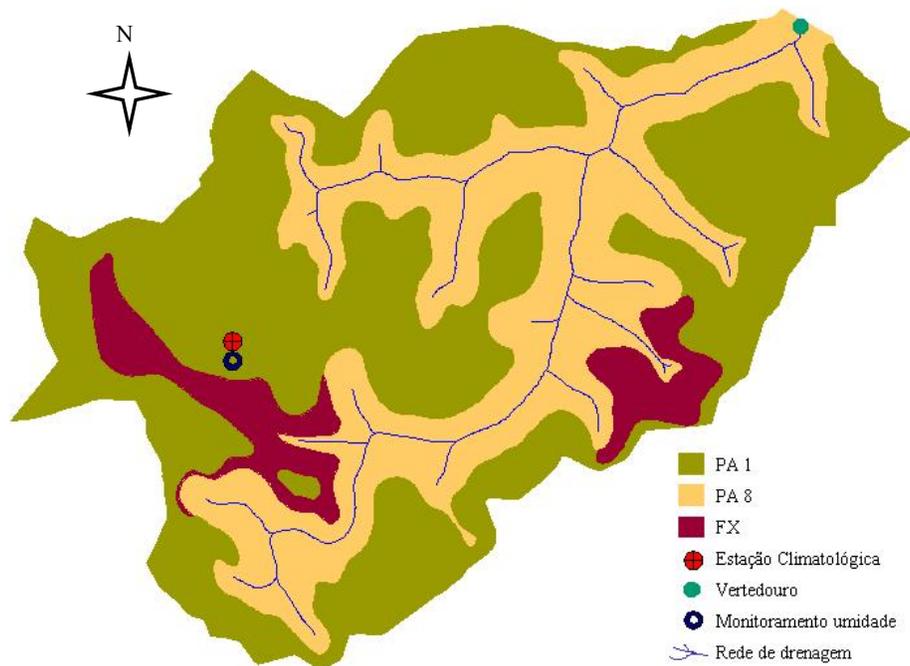


FIGURA 4 Mapa da microbacia hidrográfica experimental, com a representação da distribuição dos solos ocorrentes e a localização dos equipamentos utilizados para o monitoramento dos parâmetros hidrológicos. Fonte: Aracruz (1995).

Na Tabela 1 observam-se os atributos de solo e as declividades máximas dos solos estudados, bem como a classificação do relevo.

TABELA 1 Permeabilidade do solo à água (PERM), densidade do solo (Ds), declividade máxima e relevo para os diferentes usos e solos estudados na microbacia hidrográfica na região dos Tabuleiros Costeiros, ES.

Solo	Cobertura	PERM mm h ⁻¹	Ds Mg m ⁻³	Declividade %	Relevo ¹
PA1	Eucalipto	4,31	1,52	1,8	plano
	Mata	15,83	1,52	8,2	ondulado
	Descoberto	4,11	1,52	3,6	suave ondulado
FX	Eucalipto	6,57	1,47	1,3	plano
	Mata	35,35	1,24	12,4	ondulado
	Descoberto	10,89	1,47	2,6	plano
PA8	Eucalipto	19,53	1,52	28,8	forte ondulado
	Mata	53,03	1,27	35,5	forte ondulado
	Descoberto	17,27	1,52	33,2	forte ondulado

¹ Segundo Lemos & Santos (1996); PA1 = Argissolo Amarelo textura média/argilosa; PA8 = Argissolo Amarelo moderadamente rochoso; FX = Plintossolo Háptico. Fonte: Martins (2001).

Na Tabela 2 observa-se a distribuição de partículas do solo por classes de tamanho.

TABELA 2 Distribuição de partículas por tamanho dos solos estudados dos horizontes A e B.

Solo	Hor	Argila	silte	areia	AMG	AG	AM	AF	AMF
		----- g kg ⁻¹ -----							
Dispersão em NaOH 1N									
PA1	A	220	80	700	82	216	171	175	56
	B	450	60	490	60	110	160	120	40
FX	A	270	60	670	71	182	175	177	65
	B	320	200	480	62	116	105	135	62
PA8	A	410	110	480	201	126	69	65	19
	B	650	110	240	61	61	50	51	17
Dispersão em água									
PA1	A	50	220	730	70	210	180	180	90
	B	20	230	750	72	172	174	234	98
FX	A	30	90	880	110	263	214	212	81
	B	44	314	642	59	126	133	212	112
PA8	A	90	120	790	268	250	105	136	31
	B	174	115	711	149	189	174	154	45

PA1 = Argissolo Amarelo textura média/argilosa; PA8 = Argissolo Amarelo moderadamente rochoso; FX = Plintossolo Háptico Hor = horizontes; AMG = areia muito grossa; AG = areia grossa; AM = areia média; AF = areia fina; AMF = areia muito fina. Fonte: Martins (2001).

3.1.4 Caracterização hidrológica da microbacia

A microbacia piloto da Aracruz Celulose S.A. possui uma área drenada de 286 ha, com uma declividade média de 13,68%, com elevações variando de 53 m ao longo do divisor de água a menos de 11 m na seção de controle. O comprimento do curso d'água principal é de 2.866 m e do total de drenos é de 8.029 m, sendo a declividade do canal de 0,94% e a densidade de drenagem

igual a $2,81 \text{ km km}^{-2}$. O perímetro da microbacia hidrográfica corresponde a 8.214 m, com um coeficiente de compacidade (kc) igual a 1,37, sendo considerado como de mediana propensão para vazões de pico elevadas. Entretanto, de acordo com seu coeficiente de forma ($k_f = 0,45$), a bacia é classificada como de baixa capacidade de produção de enchentes.

3.2 Obtenção dos dados

3.2.1 Precipitação

Os dados coletados para o estudo compreendem o período de 1997 a 2004, sendo que para as medições da precipitação pluviométrica foi utilizada estação climatológica automatizada, conduzida pela Aracruz Celulose S.A., a qual, para este estudo, gerou dados de 30 em 30 minutos. Esta estação recebeu a denominação de “torre”. A partir da precipitação monitorada, foram gerados os hietogramas, nome dado ao gráfico de intensidade de precipitação em função do tempo, para cada evento de chuva que se constatou a existência de uma hidrógrafa referente àquela precipitação. Com a combinação hietograma-hidrografa, determinaram-se as precipitações efetivas que produziram os respectivos deflúvios e vazões de pico.

3.2.2 Escoamento superficial

Por meio de um vertedouro na saída da microbacia, aparelhado com linígrafo (Figura 5), foram monitoradas as medições alturas de lâmina de água, a qual por meio de sua curva-chave foi transformada em vazão correspondente a esta lâmina, a cada 30 minutos, produzindo-se os respectivos hidrogramas de escoamento. Através destes hidrogramas, realizou-se a separação do escoamento superficial direto do escoamento total, determinando assim o deflúvio, vazão de pico e dos tempos que caracterizam a microbacia. A separação do escoamento superficial direto foi realizada seguindo metodologia proposta por Tucci (2004),

onde durante a existência deste, o comportamento do escoamento subterrâneo é considerado linear, a partir da determinação dos pontos de inflexão A e C (Figura 2b).

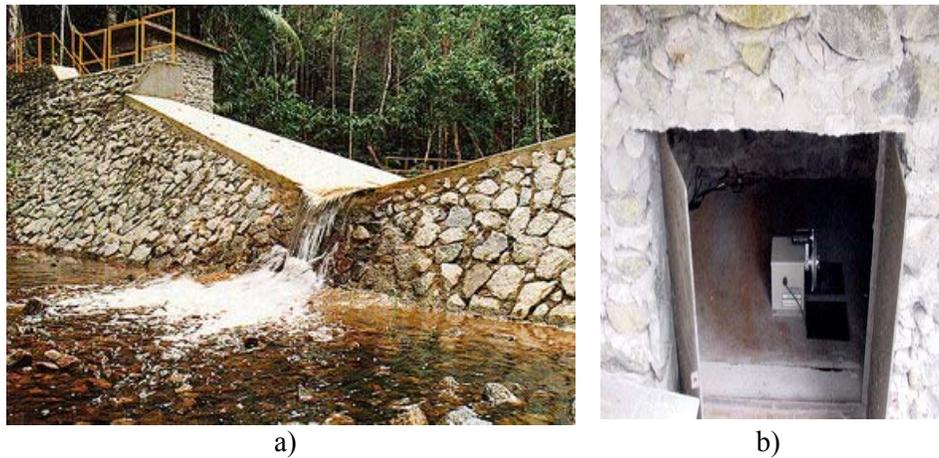


FIGURA 5 a) Vertedouro instalado na saída da microbacia; b) linígrafo utilizado para realização das leituras das lâminas escoada para os eventos de chuva.

3.2.3 Umidade do solo

O monitoramento da umidade do solo na microbacia foi realizado através de sonda de nêutrons. Após definição dos pontos, foram instalados tubos de acesso com 50 mm de diâmetro, instalados a 3 m de profundidade, os quais cobrem as características mais representativas do material genético plantado, topografia, tipo de solo e vegetação da área de reserva. Estes tubos estão localizados nas entrelinhas de plantas, próximos às trincheiras que foram utilizadas para calibração da sonda de nêutrons (Aracruz, 1995). Neste estudo, utilizou-se a umidade monitorada pelo tubo 24 até a profundidade de 1,6 m, por

ser este o ponto de monitoramento mais representativo na microbacia piloto, devido à sua boa calibração, refletindo a melhor consistência dos dados.

3.3 Modelagem do deflúvio e vazão de pico

3.3.1 Aplicação do método do Número da Curva – Serviço de Conservação do Solo (CN-SCS) para estimativa do deflúvio e vazão de pico

Através do método CN-SCS, pode-se estimar o volume do escoamento superficial direto a partir de dados de precipitação e outros parâmetros da bacia. O método foi originalmente desenvolvido para geração da hidrógrafa de projeto em bacias hidrográficas, estimando-se o armazenamento potencial de água do solo adotando-se um número da curva (CN), o qual reflete as condições de cobertura vegetal, atributos físico-hídricos do solo e condições de umidade antecedente, esta considerada apenas com base na precipitação antecedente nos últimos 5 dias (Machado, 2002).

A equação geral do método para estimativa do deflúvio é a seguinte:

$$D = \frac{(P - A_i)^2}{(P - A_i + S)} \quad (2)$$

em que D é o deflúvio (mm), P é a precipitação total (mm), A_i é a abstração da precipitação (mm) e S, é o armazenamento potencial do solo (mm).

O número da curva é associado ao armazenamento potencial de água no solo pela equação:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

em que CN representa o número da curva médio para a bacia, extraído de tabelas conforme as condições de solo, cobertura vegetal e umidade antecedente.

O método preconiza que haja uma relação entre A_i e S da seguinte forma:

$$A_i = 0,20 \cdot S \quad (4)$$

A vazão de pico pode ser estimada com base no hidrograma unitário triangular (HUT), e com base no valor de D:

$$q_p = \frac{0,208 \cdot P_u \cdot A}{t_m} \quad (5)$$

em que q_p é a vazão de pico ($m^3 s^{-1}$), P_u é a precipitação unitária (1 ou 10 mm), A é a área da bacia (km^2) e t_m é o tempo de ascensão do HUT (horas).

$$t_m = t_p + \frac{t_{ch}}{2} \quad (6)$$

em que t_{ch} é o tempo de duração da chuva efetiva (horas), e t_p é o tempo de pico do hidrograma (horas), estimado por:

$$t_p = 0,6 \cdot t_c = \frac{2,6 \cdot L^{0,80} \cdot \left(\frac{S}{25,4} + 1\right)^{0,70}}{1900 \cdot DL^{0,50}} \quad (7)$$

em que t_c é o tempo de concentração da bacia (horas), L o comprimento do curso d'água principal (m), e DL a sua declividade (%).

Com base nos princípios das equações de convolução, a vazão de pico final foi obtida por:

$$Q_p = q_p \cdot \frac{D}{P_u} \quad (8)$$

Assim, este modelo, sem nenhum ajuste, foi primeiramente aplicado à microbacia e ao modelo MUSLE, para predição do transporte de sedimentos.

3.3.2 Modelagem semi-empírica do deflúvio e vazão de pico

Uma outra etapa do trabalho consistiu no desenvolvimento de modelos estatísticos para estimativa do deflúvio e vazão de pico para a microbacia hidrográfica. Estes modelos têm, como variáveis independentes, às características da precipitação que produziram significância estatística. Assim, o deflúvio e a vazão de pico foram modelados em função das seguintes variáveis:

$$D, Q_p = f(P, I, I_m, D_c, t_i),$$

em que P é a precipitação total (mm), I a intensidade média da precipitação (mm h^{-1}), I_m , intensidade máxima de 30 minutos (mm h^{-1}), D_c , a duração da chuva (horas), t_i o tempo de pico da chuva (horas). Estas variáveis combinadas entre si, geram variáveis mais complexas fundamentais para maioria dos modelos. O procedimento empregado foi o *Backward*, o qual seleciona as variáveis significativamente diferentes de 0 ao nível de significância de 5%, pelo teste t de *Student*, analisando a existência de possíveis co-variância entre as variáveis. Assim, foram ajustados modelos lineares por meio de regressão múltipla, estimando os respectivos coeficientes das variáveis significativas, com base no método de mínimos quadrados. Para tanto, o programa utilizado foi o pacote estatístico SAS for Windows (SAS Institute, 1985).

Estes modelos permitem que o comportamento hidrológico da microbacia seja avaliado em tempo real, reajustando os modelos à medida que se dispuser de mais informações hidrológicas e meteorológicas. No entanto, não podem ser extrapolados para outras microbacias sem os devidos ajustes.

3.4 Ajuste da Equação Universal de Perda de Solo Modificada – MUSLE para a microbacia

Os parâmetros da EUPS, gerados por Martins (2001; 2005), nesta microbacia, foram ajustados para a Equação Universal de Perda de Solo Modificada, sendo este modelo, aplicável para avaliar perdas de solo provenientes de eventos de chuvas individuais. A MUSLE é uma modificação da EUPS, através da substituição do fator de energia cinética da chuva (R), por um fator de escoamento (Williams, 1975). Na MUSLE o fator R é substituído pelo produto gerado entre o volume escoado e a vazão de pico. Sendo a MUSLE expressa pela seguinte equação:

$$PS = a \times (D \times Q_p)^b \times K \times LS \times CP \quad (9)$$

em que PS representa as perdas de solo (Mg), “a” e “b”, os coeficientes de ajuste (calibração), K a erodibilidade média da bacia ($\text{Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$), LS o fator topográfico (adimensional), CP os fatores cobertura do solo e práticas conservacionistas (adimensional), D é o deflúvio ou escoamento superficial direto (mm) e Qp, é a vazão de pico ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

A calibração dos coeficientes “a” e “b” foi efetuada com base em dados de monitoramento hidrológico do deflúvio e vazão de pico, extraídos diretamente das hidrógrafas, correspondendo à 2/3 das informações de monitoramento. Para isso, os coeficientes foram estimados com base em regressão linear, fazendo-se:

$$Y = aX^b \quad (10)$$

em que:

$$Y = \frac{PS}{K \times LS \times CP} \quad (11)$$

$$X = (D \times Qp) \quad (12)$$

sendo “a” e “b” obtidos por linearização da Equação 10, conforme Johnson et al. (1985).

O fator erodibilidade do solo (K) foi obtido de Martins (2001; 2005), que trabalhou e gerou este parâmetro para os solos ocorrentes na microbacia hidrográfica, sendo 0,007; 0,017 e 0,0004 $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$ para o PA1, FX e PA8, respectivamente. O fator K para a microbacia foi obtido por meio da média ponderada da área de cada classe de solo, sendo este valor na ordem de 0,00545 $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$.

Os valores de cobertura do solo e práticas conservacionistas (CP) foram obtidos conforme Martins (2001; 2005). Os valores obtidos, para a cultura do eucalipto e mata nativa, foram de 0,0025 e 0,00013, respectivamente. Para as áreas de estrada e carreadores, o valor cobertura do solo e práticas conservacionistas adotado foi 1,0. O fator CP para a microbacia foi obtido por

meio da média ponderada da área de cada cobertura de solo, sendo este valor na ordem de 0,037.

3.4.1 Obtenção do fator topográfico

O fator topográfico (LS), comprimento de rampa e grau de declive, foi obtido por duas diferentes metodologias, citadas na literatura, devido à grande importância deste parâmetro na geração da lâmina escoada superficialmente.

a) Método de Wischmeier & Smith (1978)

Uma das maneiras utilizadas para estimar o fator topográfico (LS), foi através da equação proposta por Wischmeier & Smith (1978).

$$LS = \left(\frac{Le}{22,1} \right)^m \cdot (0,065 + 0,0454 \cdot Sd + 0,0065 \cdot Sd^2) \quad (13)$$

sendo $m = 0,2$ para $Sd < 1\%$; $m = 0,3$ para $1\% \leq Sd \leq 3\%$; $m = 0,4$ para $3\% < Sd < 5\%$; $m = 5$ para $Sd \geq 5\%$, Sd é a declividade da encosta (%) e Le , é o comprimento da encosta (m).

A obtenção da declividade da microbacia foi estimada pela seguinte equação (Williams & Berndt, 1977):

$$Sd = 0,25 \cdot Z \cdot (LC_{25} + LC_{50} + LC_{75})/A \quad (14)$$

em que Z é o desnível entre o exutório e o ponto mais elevado da bacia (m), LC_{25} , LC_{50} e LC_{75} , os comprimentos das curvas de nível a 25, 50 e 75% de Z e A , é a área da bacia (m^2).

A determinação do parâmetro Le , a ser aplicado na equação do fator topográfico (Wischmeier & Smith, 1978), foi obtido com base em duas metodologias.

a.1) Método de Williams & Berndt (1977)

A primeira metodologia utilizada, para estimar o parâmetro Le na equação de Wischmeier & Smith (1978), foi proposta por Williams & Berndt (1977), a saber:

$$Le = \frac{LC \cdot LB}{2 \cdot EP \cdot (LC^2 \cdot LB^2)^{0,5}} \quad (15)$$

em que LC é o somatório dos comprimentos das curvas de nível da bacia hidrográfica (m), LB é o somatório dos comprimentos das curvas de nível de base (m) e EP , o número de pontos extremos (aqueles que ocorrem quando um canal ou talvegue principal corta as curvas de nível da bacia).

a.2) Método de Paiva et al. (1995) citado por Paiva (2001)

A segunda forma para obter o parâmetro Le foi através do retângulo equivalente (Paiva et al., 1995, citado por Paiva, 2001), onde se admite que uma bacia hidrográfica pode ser representada por uma área retangular, com um único curso d'água passando pelo seu centro e o percurso médio do escoamento superficial corresponde à quarta parte da largura deste retângulo, ou seja.

$$Le = le/4 \quad (16)$$

em que le é a largura do retângulo equivalente.

Esta largura é dada por:

$$le = \frac{kc \cdot \sqrt{A}}{1,12} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{kc} \right)^2} \right] \quad (17)$$

em que kc é o coeficiente de compacidade da bacia hidrográfica (adimensional) e A , a área da bacia (m^2).

$$kc = 0,282 \cdot Per/\sqrt{A} \quad (18)$$

em que Per é o perímetro da bacia hidrográfica (m).

b) Método de McCool (1982)

O fator topográfico ainda foi obtido pela equação proposta por McCool (1982).

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^{0,5} \cdot 11,16 \text{sen}(\theta) \quad (19)$$

em que λ é o comprimento de rampa e θ , o grau do declive.

3.5 Verificação e comparação da precisão dos modelos ajustados

Para validação da modelagem hidrológica proposta foi utilizada uma Função Objetivo, denominada coeficiente de Nash (Tucci, 1998).

$$r^2 = \frac{\sum (y - \bar{y})^2 - \sum (y - \hat{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}, \quad (20)$$

em que y é o deflúvio ou vazão de pico medidos, \bar{y} é a média dos valores de deflúvio ou vazão de pico medidos, e \hat{y} é o deflúvio ou vazão de pico estimados.

Por este coeficiente, os modelos podem ser classificados como de ótima qualidade quando $r^2 > 0,75$, boa qualidade quando $0,45 < r^2 < 0,75$ e ruim a regular quando $r^2 < 0,45$.

Para avaliação da qualidade do método CN e também dos parâmetros da MUSLE, foi utilizada o quadrado médio do erro (QME).

$$QME = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{\hat{y} - y}{y} \right)^2}{n}} \quad (21)$$

em que y é o deflúvio ou vazão de pico medidos e, \hat{y} é o deflúvio ou vazão de pico estimados.

Foram utilizados 2/3 dos dados de monitoramento para gerar os modelos e calibrar os coeficientes da MUSLE. O modelo também foi avaliado em termos da sua precisão para eventos de precipitação não utilizados na modelagem, ou seja, os outros 1/3 dos dados foram utilizados para fins de verificação da precisão destes coeficientes. Esta etapa foi de fundamental importância para validação bem como melhoria da qualidade dos modelos, qualificando-os para predição do comportamento hidrossedimentológico da microbacia, demonstrando sua sensibilidade e precisão.

Após análise do coeficiente de Nash e do QME, fez-se uma abordagem comparativa dos modelos de escoamento superficial e do fator topográfico no impacto da predição da perda de solo. O modelo de escoamento superficial, juntamente com o fator topográfico que melhor ajustou aos dados de perdas monitorados, foi empregado no modelo MUSLE.

3.6 Perdas de solo na microbacia

A quantificação das perdas de solo na microbacia foi realizada por Martins (2001; 2005), instalando parcelas-padrão nas principais classes de solo ocorrentes na microbacia: Argissolo Amarelo textura média/argilosa (PA1), Plintossolo Háptico (FX) e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso (PA8).

Dentro de cada classe de solo, foram estudados três tratamentos: solo descoberto, solo sob cultivo mínimo de eucalipto (clone híbrido naturais do *Eucalyptus grandis*), ao longo do ciclo de sete anos, e solo sob floresta nativa (Mata Atlântica) em estágio avançado e médio de regeneração.

Foram utilizados dados de perdas de solo e de água, ocorridos no período de novembro de 1997 a maio de 2004. A avaliação das perdas de solo foi realizada em parcelas instaladas no campo com dimensões de 12,0 x 24,0 m

para o solo cultivado com eucalipto e 4,0 x 12,0 m para o solo sob floresta nativa e solo descoberto. As parcelas foram contornadas com chapas galvanizadas com 0,4 m de altura que foram enterradas a 0,2 m. O maior comprimento obedeceu ao sentido do declive.

Na parte inferior das parcelas foram colocadas calhas coletoras, com cano plástico de 75 mm de diâmetro, para conduzirem a enxurrada até os tanques coletores. O sistema de coleta foi constituído de dois tanques, o primeiro de 250 L e o segundo de 500 L, interligados por um divisor tipo Geib com 15 janelas, sendo que a coleta no segundo tanque corresponde a 1/15 da enxurrada total. Para quantificar as perdas de solo foram coletadas amostras, segundo Cogo (1978a,b), após cada evento de chuva considerada erosiva.

A quantificação da produção de sedimento da microbacia foi obtida mediante coletas e análises de sedimento no vertedouro, localizado na seção de controle da microbacia (Figura 5).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Modelagem do escoamento superficial

4.1.1 Aplicação do Método CN-SCS para a microbacia

Em função dos atributos físicos dos diversos tipos de solo que ocorrem na microbacia (Tabela 1 e 2), e do uso dos solos, foram adotados valores para o número da curva. O uso do solo considerado foi floresta esparsa, uma vez que a microbacia possui grande área com cultivo de eucalipto e o uso do restante da área está sob floresta natural.

O grupo hidrológico de solo adotado para a microbacia foi realizado com base em estudos anteriores e do conhecimento acumulado sobre os solos da microbacia (em superfície e subsuperfície), recaindo sobre os valores situados entre os solos B e C.

Na Tabela 3 apresenta-se o quadrado médio do erro (QME), do deflúvio e vazão de picos estimados pelo método CN-SCS, com base nos valores de CN adotados.

TABELA 3 Quadrado médio do erro (QME) do deflúvio (D) e da vazão de pico (Qp) estimado pelo método CN-SCS em relação ao medido com base em alguns números da curva adotados para a microbacia hidrográfica, região dos Tabuleiros Costeiros, ES.

Parâmetro	Estimados pelo CN							
	60		65		70		75	
	D	Qp	D	Qp	D	Qp	D	Qp
QME (Mg)	34	1122	65	984	83	939	13	1125

Na Tabela 3, pode-se observar os altos valores obtidos para o QME, tanto para o deflúvio como para a vazão de pico. A adoção destes valores de número da curva para estimativa do deflúvio e da vazão de pico na microbacia não produziu resultados satisfatórios. Pode-se perceber que quanto maior o CN adotado (piores condições de infiltração), maior foi a imprecisão nas estimativas dos parâmetros de escoamento. Entretanto, a partir de um certo CN, os erros do deflúvio tenderam a diminuir, porém continuaram elevados. O modelo superestimou o deflúvio e a vazão de pico para todos os CN's adotados. Verifica-se também que os resultados foram altamente comprometedores, demonstrando a baixa aplicabilidade do método para estimativas de eventos isolados de escoamento. Silva & Oliveira (1999) também encontraram discrepâncias usando o método CN, em uma microbacia sob vegetação natural, no Distrito Federal, recomendando cautela no uso do mesmo.

A grande dificuldade na adoção de um CN representativo para uma microbacia pode estar comprometendo sua precisão. Neste sentido, uma revisão do método deveria ser feita, propondo características físico-hídricas que melhor representasse estes solos, além de criar maiores quantidades de grupos hidrológicos do mesmo. A inconsistência pode estar associada à adoção de um número da curva constante para a microbacia, uma vez que, conforme Mello (2003), este valor apresenta variações, notadamente com as condições de umidade do solo e precipitação, tendo o autor obtido correlação estatística significativa entre estes valores. Assim, o deflúvio gerado será somente em função da precipitação ocorrida, uma vez que as variáveis, abstração inicial e armazenamento potencial do solo, ficam prefixadas por meio do CN adotado. Outras variáveis, não previstas pelo método, podem estar influenciando diretamente este escoamento, como a umidade antecedente do solo, a qual exerce influência direta na quantidade de água armazenada e na velocidade de

infiltração. O valor do CN deve ser variável com as condições físico-hídricas antecedentes ao evento de precipitação.

4.1.2 Modelagem semi-empírica do deflúvio e vazão de pico

Na Tabela 4 apresentam-se os modelos desenvolvidos para predição das variáveis deflúvio e vazão de pico, baseados nas características da precipitação, extraídas diretamente do hietograma, bem como suas qualidades estatísticas, expressas pelo coeficiente de determinação, significância estatística dos parâmetros ajustados pelo teste t e pelo coeficiente de Nash. Ambos os modelos apresentaram elevados coeficientes de determinação, com o coeficiente de Nash caracterizando os modelos como de alta qualidade e havendo alta significância estatística das estimativas dos parâmetros ao nível de 1 e 5%.

A modelagem semi-empírica segue uma regressão múltipla geral, na forma de um modelo linear, da seguinte forma:

$$D, Q_p = a + b.x + c.y^2 - d.z.w + e.x^2.w^2 \dots$$

Esta regressão pode ser melhor visualizada juntando as variáveis com seus respectivos parâmetros, demonstrados na Tabela 4.

TABELA 4 Modelo ajustado para as variáveis deflúvio e vazão de pico para a microbacia, região dos Tabuleiros Costeiros, ES.

Deflúvio			Vazão de Pico		
Variável	Parâmetro ¹	Sig. Est.	Variável	Parâmetro ¹	Sig. Est.
Intercepto	0,24213	0,0103*	Intercepto	4,78805	0,0341*
P ² x Im ²	-2,22x10 ⁻⁷	0,0028**	P x I	-0,163	0,0050**
Log (I)	0,90087	0,0015**	P x ti	0,1008	0,0001**
Log (I x P)	-0,39443	0,0002**	Im x I	0,22323	0,0001**
P ²	-0,00102	0,0001**	Im x ti	-1,0477	0,0001**
Im ²	0,00223	0,0001**	I x ti	2,46942	0,0001**
I ²	0,01201	0,0001**	P ² x I	0,003652	0,0001**
ti ²	-0,00215	0,0312*	Im ² x I	-0,003298	0,0001**
Im x I	-0,01220	0,0001**	Im ² x ti	0,02405	
P ² x Im	1,74x10 ⁻⁵	0,0003**			
P ² x I	8,606x10 ⁻⁵	0,0001**			
P ² x ti	0,000104	0,0001**			
Im ² x ti	-0,00033	0,0001**			
R ²	0,9206			0,9565	
Coef. Nash	0,9237			0,9562	

R² = coeficiente de determinação; Sig. Est. = significância estatística; 1 = parâmetros estimados; ** = significativo a 5%; * = significativo a 1%.

Nas Figuras 6 e 7, observam-se o comportamento do deflúvio e da vazão de pico predito pela modelagem semi-empírica ao longo do tempo e a dispersão dos valores estimados do deflúvio e da vazão de pico em torno da reta 1:1. A distância entre os pontos e a reta 1:1 mostram o erro dos valores estimados, verificando-se pequenas distâncias entre os pontos e a reta, significando boa precisão da modelagem proposta. Nas Figuras 6 e 7, na primeira situação, é possível analisar o grau de aderência e sensibilidade que a modelagem proporcionou. Nota-se que além de boa precisão, com os valores estimados próximos aos observados, há um acompanhamento das oscilações entre os maiores e menores valores. A modelagem mostrou-se mais eficaz na predição

dos maiores valores, tanto do deflúvio como da vazão de pico, portanto, precipitações que produzem os maiores deflúvios e vazões de pico e, conseqüentemente, as maiores perdas de sedimento, são modeladas com maior precisão.

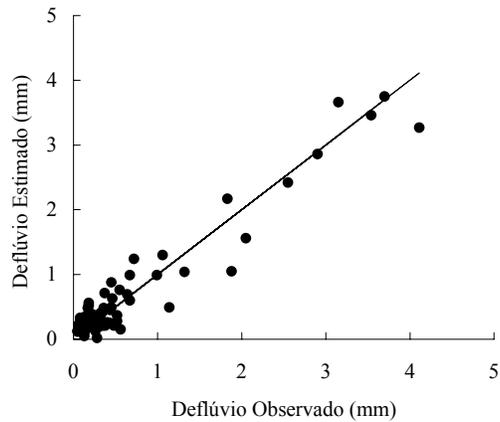
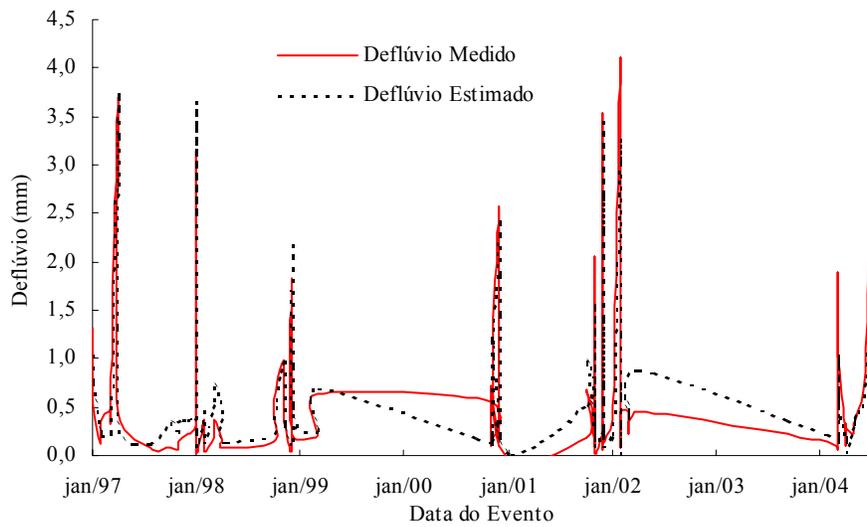


FIGURA 6 Comportamento do deflúvio estimado em relação ao medido ao longo do tempo e dispersão dos valores estimados pela modelagem semi-empírica em torno da reta 1:1.

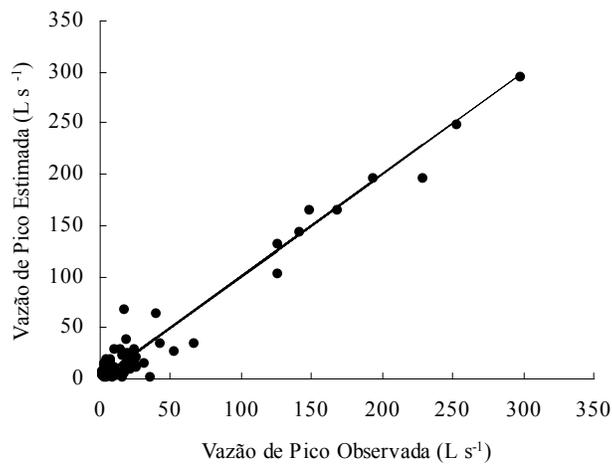
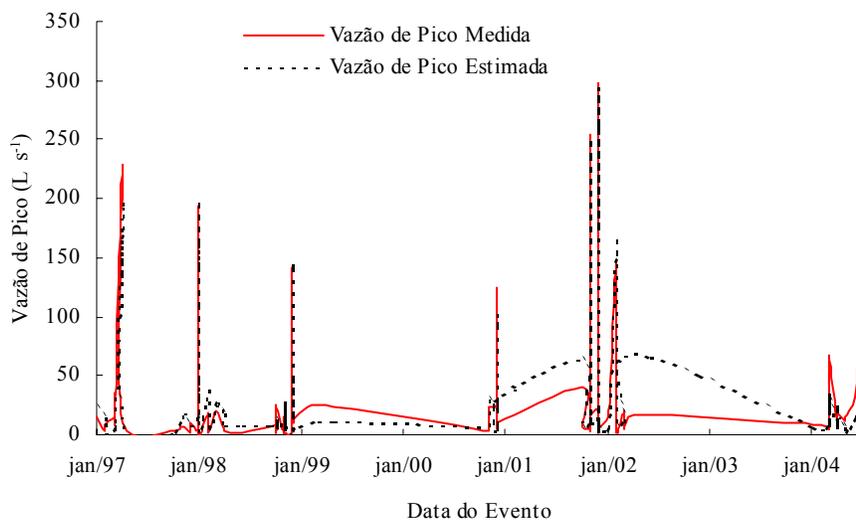


FIGURA 7 Comportamento da vazão de pico estimada em relação à medida ao longo do tempo e dispersão dos valores estimados pela modelagem semi-empírica em torno da reta 1:1.

Na Figura 8 observam-se os valores de precipitação que geraram os eventos de escoamento superficial no período de estudo, podendo-se observar que as precipitações concentram-se no período de novembro a março. Neste período de maior ocorrência de chuvas, também se verifica um maior valor na umidade do solo (Tabela 1B). Esta associação, das maiores quantidades de chuvas juntamente com os maiores valores de umidade do solo, foi a grande responsável por provocar os maiores valores de arraste de sedimentos.

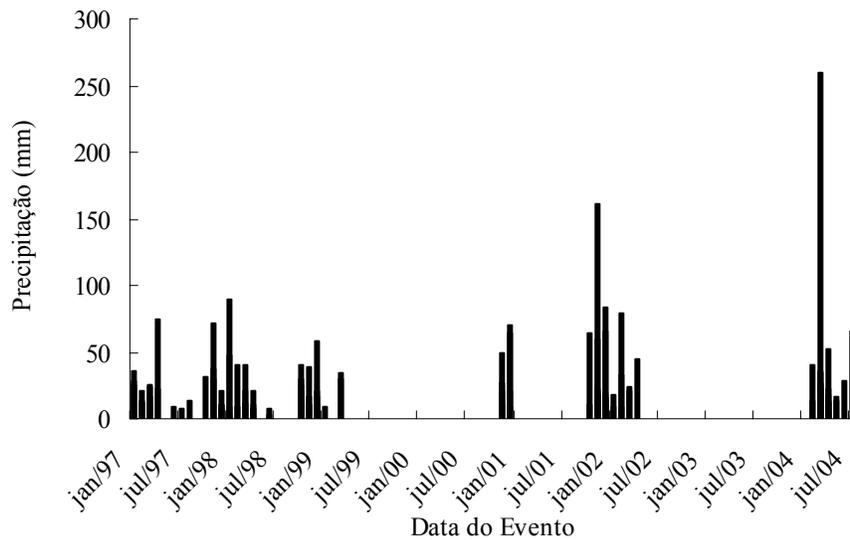


FIGURA 8 Precipitações que geraram os valores de escoamento superficial no período de 1997 a 2004 na microbacia estudada.

Os valores de umidade do solo nas diversas profundidades tiveram comportamentos similares, não existindo grande variação ao longo do perfil, sendo a umidade na camada de 0,0 a 0,2 m a que registrou uma pequena diferença com as demais profundidades, apresentando os menores valores (Tabela 1B). Isso pode ser explicado pelos seguintes aspectos: elevada ação evaporativa, por estar mais próximo da superfície, e também a maior densidade de raízes, aumentando a taxa de transpiração (Saxton & McGuinness, 1982).

Pela análise dos dados de umidade do solo (Tabela 1B), pode-se perceber que eles são sazonais, ou seja, em épocas chuvosas a umidade do solo encontra-se com maiores valores que em períodos de estiagens. Esta umidade apresenta grande importância na produção do deflúvio na microbacia. Isto é comprovado através dos dados, que, de modo geral, revelaram os maiores valores de deflúvios, ocorrendo com os maiores valores de umidade antecedente do solo, conforme registrado também por Mello (2003), trabalhando com uma microbacia experimental na região de Lavas, MG. Os dados ainda mostraram que mesmo com elevados valores de intensidade de precipitação (Tabela 1A), estes quando associados como menores valores de umidade do solo (Tabela 1B), as produções de escoamento superficiais (Tabela 1A) não foram tão expressivas.

4.2 Calibração e aplicação do modelo MUSLE para uma microbacia hidrográfica na região dos Tabuleiros Costeiros

Na Tabela 5 apresentam-se os resultados da calibração dos parâmetros “a” e “b” do modelo MUSLE, após regressão linear, utilizando-se diferentes equações para obtenção do fator LS. O valor do fator erodibilidade do solo, juntamente com o fator CP, gerado para o ciclo de sete anos da cultura do eucalipto, foram extraídos de Martins (2001; 2005), conforme já comentados.

TABELA 5 Calibração dos parâmetros da MUSLE utilizando vários métodos de obtenção do fator LS para a microbacia, região dos Tabuleiros Costeiros, ES.

Obtenção do LS	Parâmetros		Fatores			QME (Mg)
	“a”	“b”	K	LS	CP	
Williams & Berndt (1977)	14,96	0,59	0,00545	1,28	0,037	0,1646
Paiva et al. (1995) ¹	85,35	0,59	0,00545	0,22	0,037	0,1697
McCool (1982)	1,19	0,59	0,00545	16,17	0,037	0,1633

¹ Citado por Paiva (2001); ‘a’ e ‘b’ = parâmetros de ajuste da MUSLE; K = erodibilidade do solo média na microbacia ($\text{Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$) Martins (2001; 2005); LS = fator topográfico (comprimento de rampa e grau de declive); CP = cobertura vegetal média na microbacia e práticas conservacionistas, Martins (2001; 2005); QME = quadrado médio do erro.

Pela Tabela 5 pode-se observar que as diferentes formas de obtenção do fator topográfico não alteraram a precisão ajustada do modelo, o que pode ser verificado pelo QME. Isso pode ser explicado devido ao fato de que o fator LS, ao entrar como uma constante no ajuste do modelo, irá deslocar somente os pontos e, assim, o coeficiente linear do ajuste (coeficiente “a”) e sua inclinação permanecem inalterados (coeficiente “b”).

Na Figura 9, apresentam-se as dispersões das perdas de solo, previstas pelos diversos métodos de estimativa do fator topográfico (Tabela 5), utilizando os dados de deflúvio e vazão de pico, obtidos pela hidrógrafa não utilizados na geração dos parâmetros “a” e “b” da MUSLE. Pode-se perceber pela Figura 9 que todos os modelos calibrados tiveram comportamentos muito semelhantes quanto à predição das perdas de solo, sendo que estes modelos apresentaram um quadrado médio do erro, ao redor, de 0,17 Mg (Tabela 5). Grande parte deste

erro foi em razão de dois eventos de precipitação muito semelhantes terem gerado, na microbacia, perdas de sedimentos de dimensões bem distintas.

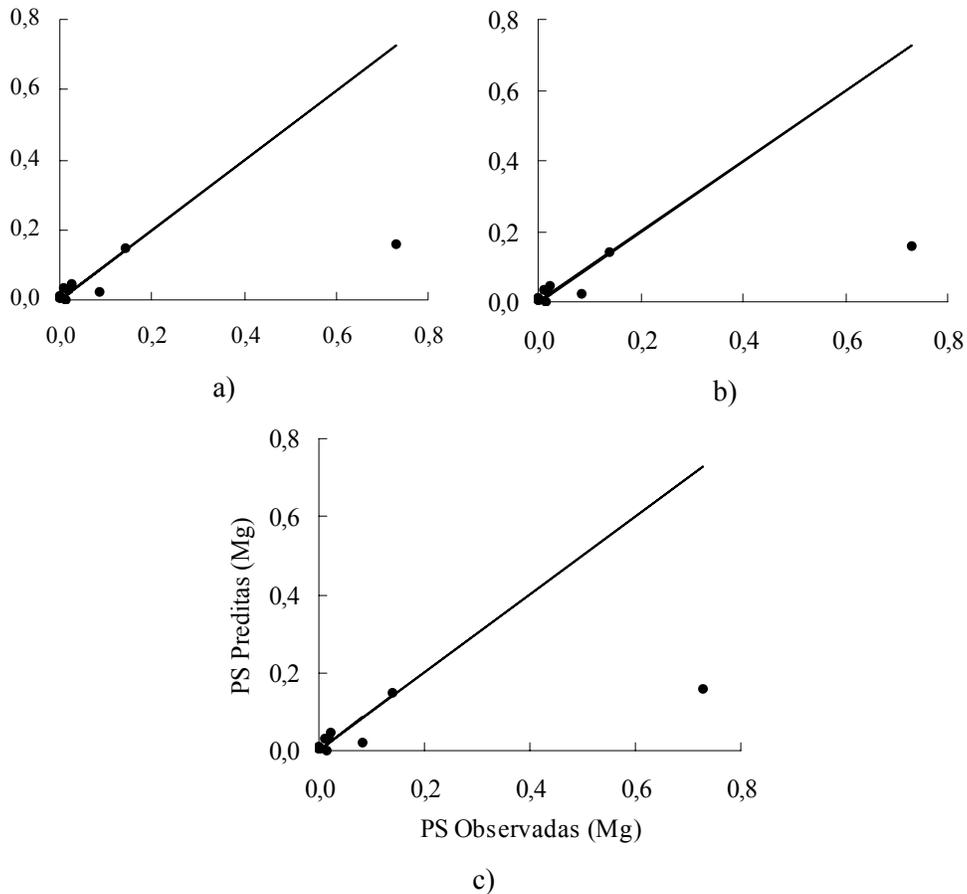


FIGURA 9 Dispersão dos valores de perdas de solo estimados pelos dados não utilizados na geração dos parâmetros “a” e “b”, por diferentes métodos de determinação do fator topográfico. a) McCool (1982); b) Paiva et al. (1995) citado por Paiva (2001); c) Williams & Berndt (1977).

O evento de chuva ocorrido no dia 02/02/2002 (Tabela 1A) produziu uma perda de solo no exutório de 0,729 Mg (Tabela 1C), ao passo que em um outro evento, com valores de vazão de pico e deflúvio semelhantes (Tabela 1A), ocorrido no dia 18/07/2004, a perda de solo produzida foi de 0,141 Mg (Tabela 1C). A perda de solo ocorrida em fevereiro foi 5,17 vezes maior que no evento de julho e o deflúvio gerado foi apenas 1,42 vez maior. Este erro pode ter ocorrido pelo fato dos modelos de predição de perdas de solo, baseados no modelo EUPS, não levarem em consideração as condições de umidade antecedente do solo na determinação do fator erodibilidade.

No evento ocorrido no mês de julho, devido ao período de estiagem, o solo se encontrava com menor umidade (Tabela 1B), portanto, permitindo maior infiltração de água até que o mesmo se saturasse e iniciasse o escoamento superficial. Assim, sugere-se que diferentes valores de umidade antecedente do solo podem induzir variações no fator erodibilidade. Trabalho realizado em Quebec no Canadá mostrou que o fator erodibilidade do solo foi sazonal, sendo os maiores valores encontrados durante o período de degelo do solo (Kirby & Mehuys, 1987). Trabalho similar a este, realizado por Wall et al. (1988), em Ontário, no Canadá, também verificou esta sazonalidade no valor de erodibilidade devido ao degelo, situações extremas que não se aplicam as nossas condições de solo. Na região tropical, o efeito de congelamento do solo não ocorre, entretanto, as variações na quantidade precipitada ao longo do ano têm efeito considerável na oscilação da umidade do solo, influenciando na infiltração de água e, conseqüentemente, no deflúvio. Deste modo, pode-se inferir que existe uma sazonalidade dos valores de erodibilidade em função da umidade antecedente do solo.

Na camada superficial (0,0 a 0,2 m), a umidade sete dias antes da precipitação ocorrida no dia 02/02/2002 era de 0,2717 g g⁻¹ (Tabela 1B), sendo que três dias após esta medição de umidade, houve um pequeno evento de

precipitação na ordem de 6,4 mm (não visualizado na Tabela 1A por não ter gerado escoamento superficial), podendo ter ocasionado um aumento no valor da umidade no solo. A umidade, quatro dias antes do evento do dia 18/07/2004, era de 0,2675 g g⁻¹ (Tabela 1B). O valor de umidade na camada subsuperficial também era superior no evento do mês de fevereiro (Tabela 1B). Analisando estes valores de umidade antecedente, pode-se inferir que, no momento de ocorrência do evento, a umidade do solo estava consideravelmente mais elevada no dia 02/02/2002 em relação ao outro evento. Esta análise explica a discrepância em relação aos valores estimados pela MUSLE.

Wischmeier (1976), analisando a influência da umidade na determinação do fator K para chuvas individuais, verificou que eventos ocorridos em períodos extremos, solo muito seco ou muito saturado, provocam variações no valor de erodibilidade. Caso o evento do dia 02/02/2002, que ocasionou grande valor de perdas de solo, não tivesse ocorrido, a precisão do modelo MUSLE calibrado, para os diversos métodos de obtenção do fator topográfico, teria aumentado em mais de 10 vezes, sendo que o quadrado médio do erro nesta nova situação seria menor que 0,013 Mg para todas as ocasiões (Tabela 6).

TABELA 6 Valores do quadrado médio do erro (QME), produzidos pela aplicação da MUSLE aos dados não utilizados na geração dos parâmetros da microbacia hidrográfica, com e sem exclusão do evento do dia 02/02/2002, região dos Tabuleiros Costeiros, ES.

Modelo utilizado ²	Sem exclusão ¹	Com exclusão ¹
	QME (Mg)	QME (Mg)
Williams & Berndt (1977)	0,1646	0,0120
Paiva et al. (1995) ³	0,1697	0,0123
McCool (1982)	0,1633	0,0119

¹ valores obtidos sem e com exclusão do evento do dia 02/02/2002; ² modelos utilizados com seus respectivos coeficientes “a” e “b”; ³ citado por Paiva (2001).

Pela Tabela 6 pode-se verificar a precisão dos modelos obtidos, através da análise do QME. Os valores de deflúvio e vazão de pico, empregados na averiguação da precisão dos modelos, não foram utilizados para calibração dos mesmos. Portanto, as predições das perdas de solo na microbacia através destes modelos foram confiáveis, sendo que em um único evento este valor predito não foi satisfatório.

O modelo MUSLE foi proposto para utilização de previsões de perdas de solo para chuvas individuais; deste modo, a exclusão de um evento de chuva não compromete sua confiabilidade. Além disso, o evento de chuva do dia 02/02/2002, pode ter sido influenciado por outros atributos não previstos pelo modelo MUSLE.

Na Figura 10 apresentam-se os valores de dispersão aos dados não utilizados na geração dos coeficientes da MUSLE, após exclusão do evento ocorrido em fevereiro de 2002.

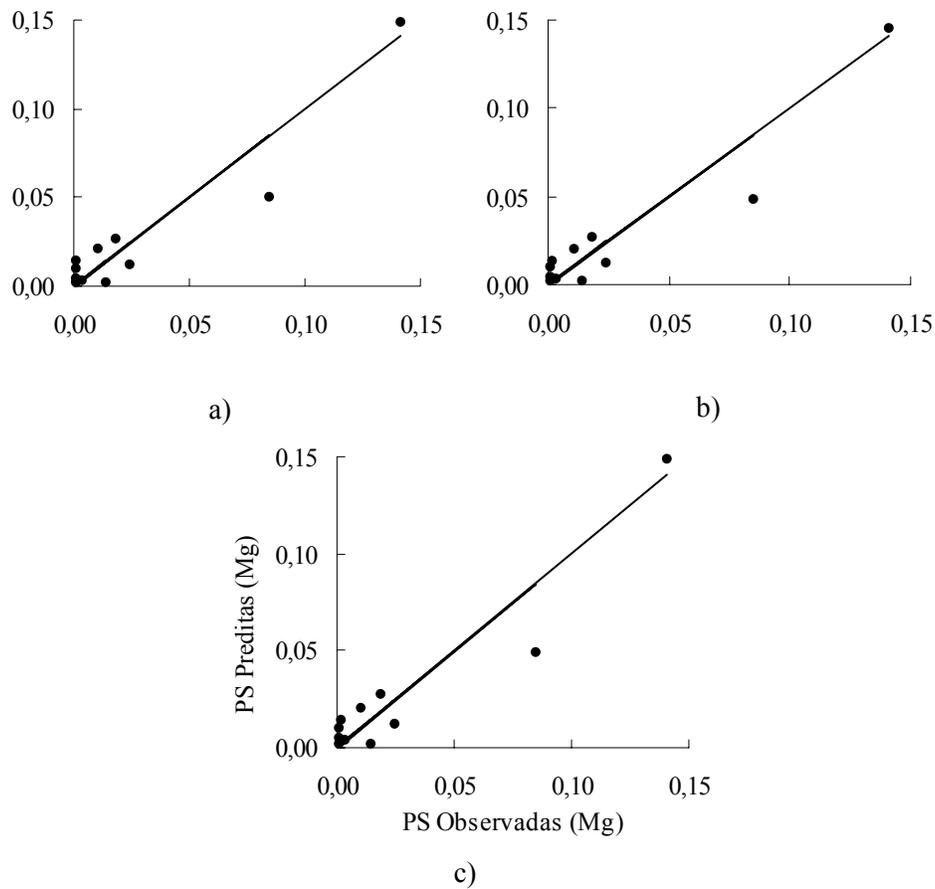


FIGURA 10 Dispersão dos valores de perdas de solo estimados pelos dados não utilizados na calibração do modelo MUSLE por diferentes métodos de determinação do fator topográfico, após exclusão do evento de precipitação do dia 02/02/2002. a) McCool (1982); b) Paiva et al. (1995) citado por Paiva (2001); c) Williams & Berndt (1977).

Ao se analisar a Figura 10, em comparação com a Figura 9, constatam-se pequenas dispersões dos valores, portanto, maior proximidade dos valores preditos aos medidos. Isso também pode ser verificado pelos menores valores do quadrado médio do erro apresentados na Tabela 6.

O modelo MUSLE poderia ser melhorado, caso fossem realizados estudos mais detalhados da dependência da umidade do solo com o fator erodibilidade. Além disso, é necessário realizar um estudo espacializado da umidade do solo em toda a microbacia, uma vez que esta apresenta grande variabilidade devido a fatores múltiplos, empregando-o à modelagem hidrológica, conforme relatado por Mello (2003).

Na Tabela 7 apresentam-se os valores do QME, obtidos pela aplicação da MUSLE aos dados não utilizados na geração de seus parâmetros com diversos métodos de obtenção do fator topográfico, utilizando-se os coeficientes “a” e “b” igual a 11,8 e 0,56, respectivamente, conforme proposto por Williams (1975) para bacias hidrográficas nos EUA. A equação proposta por Williams (1975) foi utilizada por ser de conhecimento e uso já preconizados na literatura. Através das informações descritas na Tabela 7, pode-se avaliar a sensibilidade ao fator topográfico da equação proposta por Williams (1975), tornando imprescindível uma correta determinação desde fator para a microbacia.

TABELA 7 Valores do quadrado médio do erro (QME), dos diferentes fatores topográficos (LS), aplicado no modelo MUSLE proposto por Williams (1975), para a microbacia hidrográfica, região dos Tabuleiros Costeiros, ES.

Método de obtenção de LS	Sem exclusão	Com exclusão
	QME (Mg)	QME (Mg)
Williams & Berndt (1977)	0,3069	0,0199
Paiva et al. (1995) ¹	2,4630	0,2733
McCool (1982)	0,1957	0,1846

¹ citado por Paiva (2001).

Pode-se verificar, pela Tabela 7, que os valores do fator topográfico, obtidos segundo Paiva et al. (1995) citado por Paiva (2001), não se mostraram adequados para aplicação no modelo de estimativa de perdas de solo proposto por Williams (1975).

A obtenção do fator topográfico pela equação de McCool (1982), mostrou que o QME foi inferior a 0,20 Mg (Tabela 7). Isso se deve ao fato deste modelo de LS ter superestimado as perdas de solo, em razão do maior valor de LS (Tabela 5), desde modo, o divisor do QME foi maior (Equação 21).

O valor de LS mais consistente, na aplicação da MUSLE (Tabela 7), foi obtido através do modelo proposto por Williams & Berndt (1977). Essa melhor qualidade do fator topográfico pode ser devido ao fato deste modelo considerar, em seu cálculo (Equações 14 e 15), grande quantidade de características topográficas da microbacia e conseqüentemente, o fator comprimento de rampa e grau de declive foi predito com maior precisão.

Na Tabela 8 apresentam-se os valores observados das perdas de solo na seção de controle da microbacia e as perdas estimadas pelo modelo MUSLE, considerando o melhor modelo de predição das variáveis do escoamento, a modelagem semi-empírica desenvolvida e o fator topográfico, obtido segundo metodologia de Williams & Berndt (1977). Os valores da modelagem semi-empírica utilizados correspondem aos valores preditos para os dados não utilizados na geração dos parâmetros de calibração da MUSLE.

TABELA 8 Valores de perdas de solo observados no exutório e preditos pelo modelo MUSLE para a microbacia, região dos Tabuleiros Costeiros, ES.

Data do evento	Perda de solo (Mg)	
	Observado	Predito ¹
15/11/2000	0,0103	0,0323
04/12/2000	0,0182	0,0280
20/12/2000	0,0006	0,0032
26/10/2001	0,0036	0,0042
18/02/2002	0,0140	0,0024
05/03/2002	0,0013	0,0094
29/04/2002	0,0243	0,0434
17/02/2004	0,0004	0,0039
31/03/2004	0,0847	0,0204
23/05/2004	0,0009	0,0029
18/07/2004	0,1410	0,1458
QME	-	0,0273

¹ perdas de solo preditas considerando as variáveis de escoamento obtidas pela modelagem semi-empírica e fator topográfico (LS) igual a 1,28.

Analisando a Tabela 8 pode-se confirmar que a modelagem semi-empírica mostrou-se eficiente na predição dos parâmetros de escoamento, uma vez que os valores de perdas de solo preditos pela MUSLE, para eventos não considerados em sua calibração, mostraram-se consistentes, com valor do QME inferior a 0,03 Mg.

O modelo MUSLE apresenta grandes vantagens de uso prático para a microbacia estudada, podendo ser utilizado em simulações das perdas de sedimentos, devido às condições de exposição do solo (corte do eucalipto) em determinado talhão. Além disso, o modelo permite ser atualizado em tempo real,

ou seja, à medida que mais dados de deflúvio, vazão de pico e perdas de solo forem sendo obtidos, estes dados podem ser incorporados ao modelo, aumentando a sua precisão.

Fazendo uma ponderação da área ocupada por cada uso e manejo, nas diferentes classes de solo, das perdas de solo determinadas por Martins (2001; 2005), nas parcelas-padrão, obteve-se uma quantidade média de solo perdido da ordem de $0,609 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Este valor de solo perdido está muito abaixo do limite de tolerância de perdas, indicando que o uso e manejo do solo adotados para a microbacia mostram-se conservacionistas. Isso também pode ser evidenciado pelos valores extremamente baixos de sedimentos perdidos na seção de controle da microbacia, sendo a média igual a $1,978 \text{ Mg ano}^{-1}$.

Com o modelo MUSLE ajustado, por este apresentar característica de um modelo concentrado, não foi possível separar ambientes onde está havendo arraste e deposições de solo na microbacia. Uma melhor análise das perdas de solo ocorridas na microbacia deve ser realizada através de modelos distribuídos, analisando os pontos mais críticos em relação à erosão hídrica e os locais de maior potencial de deposição, sedimentação e assoreamento na microbacia, o que pode ser conseguido implementando-se a modelagem proposta a recursos de sensoriamento remoto e geoprocessamento no futuro.

5 CONCLUSÕES

O método CN-SCS não produziu bons resultados quando aplicados a eventos isolados de precipitação, superestimando o valor de deflúvio e da vazão de pico.

A modelagem semi-empírica para o deflúvio e vazão de pico com base nas características da precipitação mostrou boa coerência com os dados observados, podendo ser utilizada para simulação do deflúvio e vazão de pico para a microbacia estudada, visando ao seu planejamento ambiental.

O modelo MUSLE mostrou-se adequado para predições das perdas de solo na microbacia, recomendando-se os coeficientes “a” e “b” iguais, respectivamente, a 14,96 e 0,59, com um fator topográfico de 1,28.

O uso e manejo dos solos adotados para a microbacia hidrográfica mostraram-se conservacionistas e isto pode ser confirmado pelo baixo valor obtido no balanço das perdas de solo e nas pequenas perdas na seção de controle.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARACRUZ CELULOSE. **Projeto monitoramento de microbacia**: relatório anual das atividades realizadas em 1994. Aracruz, 1995. 128 p.
- BARUQUI, A. M.; FERNANDES, M. R. Práticas de conservação do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 128, p. 55-69, ago. 1985.
- BATCHELOR, P. Models as metaphors: The role of modeling in pollution prevention. **Water Management**, Oxford, v. 14, n. 3/4, p. 243-251, 1994.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355 p.
- BEVEN, K. Changing ideas in hydrology-the case of physically based models. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 105, n. 1/2, p. 157-172, 1989.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisas e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. **Levantamento exploratório dos solos da região sob influência da Cia. Vale do Rio Doce**. Rio de Janeiro, 1970. 148 p. (Brasil. Ministério da Agricultura – EPE – EPFS, Boletim Técnico, 13)
- CALIJURI, M. L.; MEIRA, A. D.; PRUSKI, F. F. Geoprocessamento aplicado aos recursos hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Cartografia, Sensoriamento e Geoprocessamento**. Lavras: UFLA, SBEA, 1998. p. 167-225.
- CHAVES, H. M. L. Análise global de sensibilidade dos parâmetros da Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 345-350, set./dez. 1991.
- CHAVES, H. M. L. Aplicação de modelos na previsão da erosão. Resumo da mesa redonda. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5., Bauru, 1995. **Anais...** Bauru: SBEA, 1995. p. 49-54.
- CHEN, E.; MACKAY, D. S. Effects of distribution-based parameter aggregation on a spatially distributed agricultural nonpoint source pollution model. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 295, n. 1/4, p. 211-224, Aug. 2004.

COGO, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural: I – Sugestões gerais, medição do volume, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada (1ª Aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. **Anais...** Passo fundo: EMBRAPA-CNPT, 1978a. p. 75-97.

COGO, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural: II – Alguns conceitos básicos e modelos de uma ficha para registro das características da chuva e perdas de solo e água (1ª Aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. **Anais...** Passo fundo: EMBRAPA-CNPT, 1978b. p. 99-107.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Levantamentos generalizado e semidetalhado de solos da Aracruz Celulose S. A. no Estado do Espírito Santo e no extremo sul do Estado da Bahia e sua aplicação aos plantios de eucalipto.** Rio de Janeiro, 2000. parte 3.

ERSKINE, W. D.; MAHMOUDZADEH, A.; BROWNING, C. M.; MYERS, C. Sediment yields and soil loss rates from different land uses on Triassic shales in western Sydney, NSW. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 41, n. 1, p. 127-140, 2003.

ERSKINE, W. D.; MAHMOUDZADEH, A.; MYERS, C. Land use effects on sediment yields and soil loss rates in small basins of Triassic sandstone near Sydney, NSW, Australia. **Catena**, Amsterdam, v. 49, n. 4, p. 271-287, Nov. 2002.

FERNANDES, M. R.; SILVA, J. C. **Programa estadual de manejo de sub-bacias hidrográficas: fundamentos e estratégias.** Belo Horizonte: EMATER-MG, 1994. 24 p.

FERRAZ, F. F. B. **Dinâmica dos sedimentos em suspensão na bacia do Rio Piracicaba.** 2002. 112 p. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP.

FONTES, J. C.; PEREIRA, L. S.; SMITH, R. E. Runoff and erosion in volcanic soil of Azores: simulation with OPUS. **Catena**, Amsterdam, v. 56, n. 1/3, p. 199-212, Apr. 2004.

GOLDENFUM, J. A. Pequenas bacias hidrográficas: conceitos básicos. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 3-14.

GRAYSON, R. B.; MOORE, I. D.; McMAHON, T. A. Physically-based hydrologic modeling: II. Is the concept realist? **Water Resources Research**, Washington, v. 26, n. 10, p. 2659-2666, Oct. 1992.

GROVE, M.; HARBOR, J.; ENGEL, B. Composite Vs. Distributed Curve Number: effects on estimates of storms runoff depths. **Journal of the American Water Resources Association**, Herndon, v. 34, n. 5, p. 1015-1023, Oct. 1998.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de base e conceitos. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. 472 p.

HEWLETT, J. D. **Principles of forest hydrology**. Athens: University of Georgia, 1981. 191 p.

HUDSON, N. **Soil conservation**. 3. ed. Ames: Iowa State University Press, 1995. 391 p.

JENKINS, A.; PETERS, N. E.; RODHE, A. Hydrology. In: MOLDAN, B.; CERNY, J. **Biogeochemistry of small catchments**: a tool for environmental research. Chichester: John Wiley, 1994. p. 31-54.

JOHNSON, C. W.; GORDON, N. D.; HANSON, C. L. Northwest rangeland sediment yield analysis by the MUSLE. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 6, p. 1889-1895, Nov./Dec. 1985.

KIRBY, P. C.; MEHUYS, G. R. Seasonal variation of soil erodibilities in southwestern Quebec. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 42, n. 3, p. 211-215, May/June 1987.

KRESNOR, W. R.; OLSON, K. R.; JOHNSON, D. L. Fields evaluation of methods to estimate soil erosion. **Soil Science**, Baltimore, v. 153, n. 1, p. 69-81, Jan. 1992.

LAL, R. Soil erosion by wind and water: problems and prospects. In: LAL, R. (Ed.). **Soil erosion research methods**. Delray Beach: St. Lucie Press, Soil and Water Conservation Society, 1994. p. 1-9.

LARSON, W. E.; LINDSTROM, M. J.; SCHUMACHER, T. E. The role of severe storms in soil erosion: A problem needing consideration. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 52, n. 2, p. 90-95, Mar./Apr. 1997.

LEMOES, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição de coleta de solos no campo**. 2. ed. Campinas: SBCS, 1996. 83 p.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002. 152p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 735-741, jul./ago. 2003.

MARTINS, S. G. **Erosão hídrica em povoamento de eucalipto sobre os solos coesos nos Tabuleiros Costeiros, ES**. 2005. 106 p. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MARTINS, S. G. **Erosão hídrica em sistemas florestais, nos Tabuleiros Costeiros da região de Aracruz – ES**: primeira aproximação. 2001. 59 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

McCOOL, D. K. Effects of slope length and steepness on soil erosion from rangelands. In: WORKSHOP ON ESTIMATING EROSION AND SEDIMENT YIELD ON RANGELANDS, 1982, Washington. **Proceedings...** Washington D. C.: USDA. ARS. ARM-W-26, 1982. p. 73-95.

MELLO, C. R. **Estudo hidrológico em microbacia hidrográfica com regime de escoamento efêmero**. 2003. 133 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

NIKKAMI, D.; ELEKTOROWICZ, M.; MEHUYS, G. C. Optimizing the management of soil erosion. **Water Quality Research Journal of Canada**, Ontário, v. 37, n. 3, p. 577-586, 2002.

NIKKAMI, D.; ELEKTOROWICZ, M.; MEHUYS, G. C. Prediction of Soil Erosion in a Semi-Arid Zone of Iran by the Integration of MUSLE and SPANS-GIS. In: CENTRAL CANADIAN SYMPOSIUM ON WATER POLLUTION RESEARCH, 34., 1999, Canada, Burlington, Ontario, 1999.

PAIVA, E. M. C. D. Métodos de estimativa da produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 365-394.

PASSOS, J. R. S. **Modelos e simulação de hidrógrafas**. 1993. 166 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

PATHAK, P.; LARYEA, R. B.; SUDI, R. A runoff model for small watersheds in the semi-arid tropics. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 32, n. 5, p. 1619-1624, Sept./Oct. 1989.

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; MATOS, A. T. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 423-429, set./dez. 2003.

PESSOA, M. C. P. Y.; LUCHIARI, A. J.; FERNANDES, E. N.; LIMA, M. A. **Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas**. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA, 1997. 83 p. (EMBRAPA-CNPMA. Documento, 8).

POZZEBON, E. J. **Simulação de escoamento superficial em microbacia hidrográfica utilizando sistemas de informação geográfica e de modelagem hidrológica**. 2000. 243 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 301-307, maio/ago. 2001.

RANIERI, B. L.; ESPINOSA, E.; MORTATTI, J. Erosão mecânica e transporte de sedimentos em alguns dos maiores rios do mundo. In: MORTATTI, J.; PROBST, J. L. **Hidrogeoquímica de Bacias de Drenagem**. Piracicaba: CENA, 1998. 235 p. (Série Didática, 1).

RANZINI, M.; LIMA, W. P. Comportamento hidrológico, balanço de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus*, no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 61, p. 144-159, jun. 2002.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; PORTER, J. P. Revised universal soil loss equation. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 46, n. 1, p. 30-33, Jan./Feb. 1991.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 4. ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338 p.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998. 840 p.

SAS INSTITUTE. **SAS user's guide**: statistics. 5. ed. Cary, N. C., 1985. 956 p.

SAXTON, K. E.; McGUINNESS, J. L. Evapotranspiration. In: HAAN, C. T.; JOHNSON, H. P.; BRAKENSIEK, D. L. **Hydrologic modeling of small watersheds**. St. Joseph: ASAE, 1982. Cap. 6, p. 229-276.

SCHERTZ, D. L. The basis for soil loss tolerance. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 38, n. 1, p. 10-14, Jan./Feb. 1983.

SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S. Runoff measurement and prediction for a watershed under natural vegetation in Central Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 695-701, jul./set. 1999.

SILVA, M. L. N.; CURI, N. Uso e conservação do solo e da água e a crise energética: reflexões e exemplos em Minas Gerais. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 10-13, out./dez. 2001.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia**: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora UFRGS, 2004. p. 35-52.

SOIL AND WATER CONSERVATION SOCIETY - SWCS. **Conservation implications of climate change**: soil erosion and runoff from cropland. Ankeny: SWCS, 2003. 24 p.

TIM, U. S. Emerging technologies for hidrologic and water quality modeling research. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 39, n. 2, p. 465-476, Mar./Apr. 1996.

TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora UFRGS, 2004. p. 391-441.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. UFRGS/ABRH, 1998. 669 p.

WALL, G. J.; DICKINSON, W. T.; RUDRA, R. P.; COOTE, D. R. Seasonal soil erodibility variation in southwestern Ontario. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 68, n. 2, p. 417-424, May 1988.

WILLIAMS, J. R. Sediment-yield prediction with Universal Equation using runoff energy factor. In: **Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources**. USDA. ARS-S-40, p. 244-252, 1975.

WILLIAMS, J. R.; BERNDT, H. D. Determining the universal soil loss equation's length-slope factor for watershed. In: **Soil erosion: prediction and control**. Ankeny: Soil Conservation Society of America, 1977. p. 217-225.

WISCHMEIER, W. H. Use and misuse of the universal soil loss equation. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 31, n. 1, p. 5-9, Jan./Feb. 1976.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains**: guide for selection of practices for soil and water conservation. Washington: United States Department of Agriculture, 1965. 47 p. (Agriculture Handbook, 282).

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington: United States Department of Agriculture, 1978. 58 p. (Agriculture Handbook, 537).

ANEXOS

	Página
TABELA 1A Valores das variáveis hidrológicas monitoradas e calculadas, no período de 1997 a 2004, para a microbacia hidrográfica estudada, região dos Tabuleiros Costeiros, ES	62
TABELA 1B Valores de umidade do solo, com máximo cinco dias de antecedência, em diversas profundidades, para a microbacia hidrográfica estudada, região dos Tabuleiros Costeiros, ES	66
TABELA 1C Datas dos eventos que geraram o escoamento superficial de água e valores de perdas de solo observados na seção de controle da microbacia hidrográfica estudada, região dos Tabuleiros Costeiros, ES.....	68

TABELA 1A Valores das variáveis hidrológicas monitoradas e calculadas, no período de 1997 a 2004, para a microbacia hidrográfica estudada, região dos Tabuleiros Costeiros, ES.

Data	P (mm)	Dc (h)	Qp (L s ⁻¹)	ti (h)	ta (h)	tp (h)	tb (h)	te (h)	tc (h)	D (mm)	C	φ	Im (mm h ⁻¹)	I (mm h ⁻¹)
01/01/97	35,8	4,5	113,6	0,5	5,0	4,50	27,00	22,0	26,0	1,321	0,0369	27,19	29,33	7,95
03/01/97	28,9	5,5	85,1	3,5	7,5	5,25	93,00	85,5	90,0	2,065	0,0714	11,10	15,23	5,26
17/01/97	24,8	3,0	15,3	1,0	11,0	10,25	76,50	65,5	75,5	0,546	0,022	13,83	14,92	8,27
10/02/97	13,4	4,5	3,5	3,5	13,0	9,25	46,50	33,5	43,0	0,115	0,0086	7,78	8,01	2,99
12/02/97	11,7	3,0	2,9	0,5	11,5	10,75	98,00	86,5	99,0	0,186	0,016	17,05	17,42	3,88
18/02/97	21,1	9,0	8,7	4,5	12,5	11,75	74,50	62,0	74,0	0,348	0,0165	10,78	11,49	2,35
08/03/97	23,2	9,5	15,3	0,5	14,5	13,75	57,50	43,0	57,0	0,478	0,0206	9,54	10,50	2,44
10/03/97	11,1	2,5	11,6	0,5	8,0	7,75	54,00	46,0	54,0	0,33	0,0296	6,66	7,33	4,45
15/03/97	24,8	9,5	35,7	5,0	15,5	13,50	80,00	64,5	78,0	1,283	0,0517	11,86	13,35	2,61
29/03/97	16,4	7,5	9,6	3,0	27,0	23,00	91,00	64,0	86,0	0,503	0,0306	4,17	4,96	2,19
05/04/97	74,4	7,0	228,7	3,0	7,5	4,50	71,50	64,0	67,5	3,699	0,0497	21,89	26,25	10,62
19/04/97	21,8	8,5	10,0	4,0	13,0	10,75	73,50	60,5	71,5	0,432	0,0198	9,64	10,05	2,57
05/06/97	8,9	1,5	2,0	0,5	14,5	13,75	92,00	77,5	91,5	0,156	0,0175	12,01	12,32	5,95
21/07/97	7,4	2,5	0,7	1,5	7,5	7,25	48,50	41,0	48,5	0,033	0,0045	6,86	6,93	2,96
09/08/97	14,0	8,5	1,9	7,0	15,0	10,25	60,00	45,0	55,5	0,074	0,0053	4,65	4,80	1,65
26/10/97	31,5	12,5	2,7	11,5	5,5	7,75	52,00	46,5	54,5	0,079	0,0025	13,63	13,79	2,52
06/11/97	29,4	13,0	1,8	7,5	7,5	11,25	50,00	42,5	54,0	0,063	0,0021	14,52	14,65	2,26
29/11/97	71,7	16,0	6,6	0,5	4,5	14,75	15,00	10,5	25,5	0,073	0,001	42,70	42,85	4,48
30/11/97	36,7	18,5	7,4	7,0	9,5	7,75	29,50	20,0	28,0	0,144	0,0039	7,85	8,15	1,98
01/12/97	6,8	2,5	1,9	1,5	6,0	9,75	20,00	14,0	19,0	0,032	0,0048	7,13	7,19	2,70
02/12/97	10,6	3,5	1,9	0,5	8,5	8,25	33,50	25,0	33,5	0,047	0,0044	12,68	12,77	3,03
07/12/97	10,0	5,0	0,7	4,0	12,5	9,75	35,00	22,5	32,5	0,023	0,0023	10,13	10,18	1,99
11/12/97	20,3	5,5	9,7	1,0	10,5	10,75	37,50	27,0	38,0	0,223	0,011	15,21	15,66	3,70
09/01/98	47,7	15,5	5,3	0,5	17,0	28,25	99,50	82,5	112,0	0,31	0,0065	22,98	23,60	3,08
18/01/98	88,9	10,0	192,8	1,0	6,5	5,25	60,00	53,5	60,0	3,15	0,0355	41,63	47,93	8,89
22/01/98	9,2	2,5	1,9	0,0	16,5	20,75	49,50	33,0	54,0	0,063	0,0068	6,21	6,34	3,69

continua ...

TABELA 1A, continua ...

Data	P	Dc	Qp	ti	ta	tp	tb	te	tc	D	C	ϕ	Im	I
	(mm)	(h)	(L s ⁻¹)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(mm)			(mm h ⁻¹)	(mm h ⁻¹)
28/01/98	3,4	4,0	0,7	1,0	5,0	4,25	32,00	27,0	31,5	0,021	0,0063	4,76	4,80	0,85
17/02/98	40,9	10,0	17,8	7,5	8,5	1,25	43,00	34,5	36,0	0,355	0,0087	22,72	23,43	4,09
19/02/98	8,7	4,5	1,5	1,5	23,5	22,25	38,00	14,5	47,0	0,05	0,0058	6,43	6,53	1,94
18/03/98	11,9	9,5	1,8	4,5	13,5	10,75	70,00	56,5	67,5	0,079	0,0067	10,62	10,78	1,25
21/03/98	21,6	2,5	5,2	1,0	7,5	6,75	75,00	67,5	74,5	0,179	0,0083	35,96	36,32	8,63
25/03/98	40,1	8,5	20,3	1,5	8,5	7,75	61,50	53,0	61,0	0,372	0,0093	23,08	23,82	4,71
14/04/98	20,6	3,0	4,8	0,5	7,5	6,75	84,00	76,5	83,5	0,174	0,0084	21,23	21,58	6,88
20/04/98	7,9	4,0	1,1	3,0	10,0	9,25	59,00	49,0	53,5	0,049	0,0062	11,03	11,13	1,97
23/04/98	10,7	3,0	2,6	0,5	8,0	6,75	49,50	41,5	48,5	0,089	0,0083	9,33	9,51	3,58
03/06/98	7,1	3,0	1,7	1,5	21,5	20,75	44,50	23,0	44,0	0,034	0,0049	3,80	3,87	2,35
15/06/98	3,5	3,0	0,8	1,5	8,5	7,25	32,50	24,0	31,5	0,017	0,0047	3,10	3,13	1,16
13/10/98	40,4	20,0	8,5	1,5	6,0	17,25	96,50	90,5	108,0	0,266	0,0066	9,44	9,97	2,02
18/10/98	13,9	12,0	1,3	6,0	13,0	10,75	73,50	60,5	71,5	0,072	0,0052	4,22	4,36	1,16
22/10/98	21,2	18,5	3,4	11,5	19,5	8,25	69,50	50,0	58,5	0,129	0,0061	4,04	4,30	1,15
29/10/98	29,9	12,5	16,8	0,5	4,5	11,75	13,50	9,0	20,5	0,15	0,005	14,41	14,71	2,39
30/10/98	25,2	7,0	26,0	2,5	7,0	6,25	67,50	60,5	67,0	0,517	0,0205	9,57	10,60	3,60
06/11/98	10,3	10,0	2,4	2,5	10,5	14,00	25,50	15,0	29,0	0,039	0,0024	3,67	3,75	1,03
11/11/98	38,2	43,0	13,9	21,0	24,5	7,25	181,00	156,5	163,0	0,987	0,0259	4,18	5,36	0,89
23/11/98	16,2	5,5	15,9	1,0	10,0	9,00	69,50	59,5	68,5	0,398	0,0246	5,88	6,61	2,95
27/11/98	10,6	8,5	2,0	0,0	16,0	16,25	53,50	37,5	54,0	0,084	0,0079	4,51	4,68	1,24
05/12/98	9,9	10,0	1,1	3,0	13,5	12,75	35,50	22,0	35,0	0,03	0,0031	3,76	3,82	0,99
06/12/98	58,0	2,5	141,5	1,0	4,0	2,75	26,00	22,0	25,0	1,83	0,0315	72,41	76,07	23,21
08/12/98	20,3	4,0	18,7	1,5	5,5	3,75	15,00	9,5	13,5	0,219	0,0108	18,69	19,13	5,09
18/12/98	15,7	6,5	10,8	1,5	6,5	5,25	27,50	21,0	26,5	0,195	0,0124	11,21	11,60	2,41
25/12/98	10,6	2,0	1,2	0,5	10,5	9,75	50,50	40,0	50,0	0,047	0,0044	15,88	15,97	5,30
05/01/99	9,3	1,5	1,4	0,5	16,0	15,25	57,00	41,0	56,5	0,06	0,0066	14,94	15,06	6,19
05/03/99	29,4	7,5	25,8	0,5	9,5	8,75	39,50	30,0	39,0	0,64	0,0217	21,38	22,66	3,93
13/03/99	34,2	17,0	14,2	13,0	14,5	2,75	105,50	91,0	94,0	0,56	0,0165	15,54	16,66	2,01
09/11/00	26,7	9,5	4,2	1,0	7,5	14,25	43,60	36,1	50,5	0,11	0,0042	11,38	11,60	2,81

continua ...

TABELA 1A, continua ...

Data	P	Dc	Qp	ti	ta	tp	tb	te	tc	D	C	ϕ	Im	I
	(mm)	(h)	(L s ⁻¹)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(mm)			(mm h ⁻¹)	(mm h ⁻¹)
10/11/00	20,2	12,5	6,1	3,5	12,0	10,25	80,00	68,0	78,5	0,26	0,0127	4,98	5,48	1,61
15/11/00	49,6	11,0	24,3	0,5	12,5	11,75	64,50	52,0	64,0	0,72	0,0146	31,13	32,57	4,51
17/11/00	10,5	16,5	3,4	1,5	21,5	21,25	77,00	55,5	77,0	0,14	0,013	5,35	5,63	0,64
04/12/00	64,6	53,0	25,9	25,0	40,0	23,25	89,50	49,5	73,0	1,06	0,0165	29,18	31,30	1,22
18/12/00	69,5	15,0	125,3	7,5	8,0	7,00	41,00	33,0	39,5	2,55	0,0368	14,98	17,77	4,63
20/12/00	9,1	3,5	4,9	0,0	11,5	11,25	28,00	16,5	28,0	0,1	0,0113	7,53	7,73	2,60
29/12/00	20,9	2,0	10,5	0,5	7,5	6,75	22,50	15,0	22,0	0,18	0,0084	22,24	22,60	10,45
24/10/01	64,0	9,5	40,1	0,5	8,0	12,25	33,50	25,5	38,0	0,67	0,0104	21,91	23,25	6,74
26/10/01	11,1	4,5	7,0	2,5	10,0	8,75	38,50	28,5	37,5	0,13	0,0114	6,74	7,00	2,47
01/11/01	22,2	4,5	2,4	1,0	7,0	5,75	15,50	8,5	14,5	0,03	0,0014	15,28	15,34	4,93
04/11/01	11,2	2,5	5,3	0,5	10,0	9,25	25,00	15,0	24,5	0,102	0,0091	12,64	12,82	4,47
05/11/01	20,9	8,0	17,3	3,0	11,0	9,50	61,00	50,0	59,5	0,516	0,0247	4,90	5,61	2,61
13/11/01	12,3	5,5	0,7	2,5	1,5	0,75	5,00	3,5	4,5	0,002	0,0002	8,60	8,61	2,23
13/11/01	15,1	7,5	5,8	5,5	14,5	8,75	42,00	27,5	36,5	0,161	0,0106	6,19	6,51	2,02
16/11/01	59,6	8,0	125,8	3,5	7,0	4,75	32,00	25,0	30,0	2,05	0,0344	36,98	41,08	7,45
18/11/01	161,3	61,5	252,1	4,5	47,0	18,75	147,50	100,5	91,0	12,797	0,0793	6,83	13,70	2,62
30/11/01	11,2	2,0	5,3	0,5	6,5	2,25	11,00	4,5	10,5	0,052	0,0045	18,30	18,40	5,62
30/11/01	18,4	5,0	16,8	3,0	6,5	5,25	21,00	14,5	20,0	0,217	0,0118	15,26	15,69	3,68
01/12/01	17,2	4,0	20,6	2,5	7,5	7,25	36,00	28,5	36,0	0,35	0,0204	20,80	21,80	4,29
05/12/01	4,1	1,5	1,4	0,5	7,0	10,75	35,00	28,0	39,0	0,039	0,0094	4,84	4,92	2,72
12/12/01	7,3	6,5	1,4	1,0	18,5	17,75	60,50	42,0	60,0	0,065	0,0089	3,21	3,34	1,12
16/12/01	14,7	6,5	4,7	1,5	11,5	10,75	27,00	15,5	26,5	0,076	0,0052	13,50	13,65	2,26
19/12/01	66,2	5,0	297,7	2,0	4,5	3,75	44,50	40,0	44,0	3,54	0,0535	99,67	106,75	13,25
24/12/01	11,2	1,5	2,3	0,5	1,0	0,25	9,00	8,0	8,5	0,014	0,0013	18,36	18,39	7,46
25/12/01	19,8	3,0	22,8	1,5	7,5	6,25	41,00	33,5	40,0	0,441	0,0223	13,34	14,23	6,61
27/12/01	8,1	3,0	6,5	0,5	8,0	7,25	27,00	19,0	26,5	0,127	0,0157	5,01	5,26	2,70
29/12/01	83,6	20,0	210,0	5,0	8,0	4,00	77,00	69,0	73,0	6,055	0,0725	21,04	28,70	4,18
14/01/02	9,3	10,0	5,8	4,0	10,0	8,25	37,00	27,0	35,5	0,153	0,0164	4,70	5,01	0,93
18/01/02	17,7	7,5	15,5	0,5	10,5	9,75	43,50	33,0	43,0	0,379	0,0214	7,39	8,15	2,36
02/02/02	79,8	8,5	148,1	1,0	6,5	5,50	98,50	92,0	97,5	4,11	0,0515	35,93	44,15	9,39

continua ...

TABELA 1A, continua ...

Data	P	Dc	Qp	ti	ta	tp	tb	te	tc	D	C	ϕ	Im	I
	(mm)	(h)	(L s ⁻¹)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(mm)			(mm h ⁻¹)	(mm h ⁻¹)
18/02/02	8,6	2,5	3,1	1,0	11,5	10,25	52,00	40,5	51,0	0,126	0,0146	10,26	10,51	3,44
24/02/02	32,6	1,0	16,9	0,0	7,5	7,75	47,50	40,0	47,0	0,457	0,014	61,81	62,72	32,63
05/03/02	23,6	4,5	20,5	0,0	7,0	6,75	46,50	39,5	46,5	0,449	0,019	14,57	15,47	5,25
23/03/02	20,5	5,0	5,3	1,0	12,0	9,75	75,00	63,0	72,0	0,216	0,0105	12,21	12,54	4,10
29/04/02	44,5	7,0	16,9	4,5	10,0	5,25	67,00	57,0	62,5	0,447	0,01	24,90	25,79	6,36
16/02/04	40,0	2,0	27,2	0,5	5,0	4,25	19,00	14,0	18,5	0,395	0,0099	42,48	43,27	20,02
17/02/04	13,7	7,0	9,0	0,5	8,5	9,25	30,00	21,5	31,0	0,152	0,0112	9,49	9,79	1,95
01/03/04	13,5	2,5	3,5	1,5	7,0	3,25	28,50	21,5	28,0	0,085	0,0063	19,08	19,25	5,40
05/03/04	26,5	5,0	5,5	4,5	9,5	4,75	18,50	9,0	14,0	0,064	0,0024	23,21	23,34	5,29
06/03/04	10,0	3,5	4,3	3,0	15,5	13,75	37,00	21,5	35,5	0,097	0,0097	4,93	5,12	2,85
16/03/04	259,5	5,5	9553,1	2,5	4,0	1,25	74,00	70,0	71,0	48,138	0,1855	80,83	128,14	47,18
20/03/04	12,6	4,0	14,8	0,5	7,0	6,25	25,00	18,0	24,5	0,227	0,0181	6,46	6,91	3,14
21/03/04	34,3	8,0	103,6	0,5	5,5	4,75	42,50	37,0	41,5	1,797	0,0524	17,60	21,06	4,29
26/03/04	10,2	1,5	6,4	0,5	6,5	5,75	15,50	9,0	15,0	0,066	0,0064	17,96	18,09	6,83
27/03/04	27,2	6,0	51,8	5,0	14,5	10,75	56,50	42,0	53,0	1,424	0,0524	12,26	15,11	4,53
30/03/04	18,0	1,5	42,6	0,5	5,0	3,75	12,00	7,0	11,0	0,329	0,0183	22,67	23,33	11,99
30/03/04	35,8	2,0	188,6	0,5	4,5	3,75	23,50	19,0	23,0	1,878	0,0524	42,37	46,13	17,91
31/03/04	22,6	1,5	66,6	0,0	6,0	5,25	51,00	45,0	50,5	1,139	0,0504	32,18	34,46	15,06
06/04/04	6,7	5,0	7,6	0,5	10,5	9,75	55,50	45,0	55,0	0,231	0,0346	6,64	7,10	1,33
09/04/04	13,7	1,5	17,9	0,5	6,0	5,25	27,00	21,0	26,5	0,295	0,0215	17,91	18,50	9,13
10/04/04	52,6	6,5	231,4	4,5	8,5	3,75	75,50	67,0	71,0	3,714	0,0706	23,57	31,00	8,09
25/04/04	22,7	9,5	11,2	0,5	5,0	8,75	12,50	7,5	16,0	0,096	0,0042	6,02	6,21	2,39
26/04/04	17,6	8,5	19,2	6,0	8,0	6,75	33,50	25,5	32,5	0,322	0,0183	4,94	5,58	2,07
27/04/04	12,5	11,0	11,0	9,0	15,0	9,00	46,00	31,0	40,0	0,284	0,0228	4,31	4,88	1,13
21/05/04	17,0	5,5	12,4	0,5	9,0	7,75	33,50	24,5	32,5	0,232	0,0137	11,95	12,41	3,09
23/05/04	13,3	6,0	15,5	1,5	7,0	6,25	47,00	40,0	46,5	0,323	0,0243	17,60	18,25	2,22
04/06/04	28,5	5,0	31,5	0,5	8,5	7,25	51,50	43,0	50,5	0,669	0,0235	17,66	19,00	5,70
18/07/04	66,3	7,0	167,8	4,0	8,5	4,75	111,00	102,5	107,5	2,901	0,0437	20,24	26,04	9,47

TABELA 1B Valores de umidade do solo, com máximo cinco dias de antecedência, em diversas profundidades, para a microbacia hidrográfica estudada, região dos Tabuleiros Costeiros, ES

Data	Umidade (g g ⁻¹)							
	0,0 - 0,2 m	0,2 - 0,4 m	0,4 - 0,6 m	0,6 - 0,8 m	0,8 - 1,0 m	1,0 - 1,2 m	1,2 - 1,4m	1,4 - 1,6 m
03/01/97	0,2958	0,3193	0,3155	0,3170	0,3138	0,3137	0,3158	0,3301
17/01/97	0,2599	0,2964	0,2913	0,2860	0,2798	0,2817	0,2864	0,3046
10/02/97	0,2618	0,2925	0,2760	0,2727	0,2677	0,2710	0,2780	0,2928
18/02/97	0,2796	0,2969	0,2783	0,2728	0,2662	0,2620	0,2781	0,2946
08/03/97	0,2837	0,3096	0,3047	0,3008	0,2951	0,2952	0,3043	0,3151
15/03/97	0,2847	0,3086	0,2992	0,3045	0,2907	0,2891	0,2945	0,3104
19/03/97	0,2987	0,3190	0,3026	0,2957	0,2885	0,2917	0,3090	0,3232
05/04/97	0,2792	0,3045	0,2978	0,2939	0,2862	0,2782	0,2898	0,3073
19/04/97	0,2717	0,3037	0,2910	0,2857	0,2822	0,2844	0,2934	0,3187
05/06/97	0,2626	0,2955	0,2867	0,2815	0,2730	0,2700	0,2753	0,2992
09/08/97	0,2406	0,2738	0,2580	0,2536	0,2428	0,2406	0,2531	0,2707
09/01/98	0,2394	0,2828	0,2704	0,2705	0,2720	0,2704	0,2777	0,2992
28/01/98	0,2947	0,3032	0,2775	0,2771	0,2645	0,2782	0,3312	0,3378
19/02/98	0,2744	0,2845	0,2694	0,2745	0,2616	0,2662	0,2742	0,2991
20/04/98	0,2490	0,2737	0,2475	0,2429	0,2389	0,2412	0,2407	0,2577
23/04/98	0,2340	0,2656	0,2392	0,2438	0,2310	0,2272	0,2364	0,2552
03/06/98	0,2333	0,2639	0,2416	0,2453	0,2352	0,2335	0,2336	0,2541
18/10/98	0,2771	0,3151	0,3072	0,2993	0,2760	0,2373	0,2373	0,2477
22/10/98	0,2711	0,3089	0,3038	0,3036	0,2879	0,2693	0,2517	0,2610
05/03/99	0,2722	0,2934	0,2406	0,2453	0,2283	0,2268	0,2271	0,2532
13/03/99	0,2596	0,3005	0,2900	0,2897	0,2781	0,2649	0,2504	0,2499
24/10/01	0,2712	0,3011	0,2868	0,2696	0,2441	0,2342	0,2461	0,2491
04/11/01	0,2729	0,3020	0,2996	0,2950	0,2942	0,2961	0,3026	0,3138
16/11/01	0,2952	0,3211	0,3036	0,2886	0,2951	0,2967	0,3018	0,3192
30/11/01	0,2829	0,3049	0,3031	0,2939	0,2920	0,2919	0,3067	0,3212

continua ...

TABELA 1B, continua ...

Data	Umidade (g g ⁻¹)							
	0,0 - 0,2 m	0,2 - 0,4 m	0,4 - 0,6 m	0,6 - 0,8 m	0,8 - 1,0 m	1,0 - 1,2 m	1,2 - 1,4m	1,4 - 1,6 m
16/12/01	0,2761	0,3045	0,3062	0,2894	0,2836	0,2824	0,2998	0,3164
29/12/01	0,2909	0,3187	0,3138	0,3117	0,3079	0,3056	0,3060	0,3312
14/01/02	0,2647	0,2930	0,2743	0,2751	0,2668	0,2709	0,2789	0,3006
02/02/02*	0,2717	0,3041	0,2991	0,2839	0,2851	0,2775	0,2914	0,3088
24/02/02	0,2616	0,2933	0,2870	0,2845	0,2807	0,2818	0,2873	0,3067
23/03/02	0,2581	0,2940	0,2834	0,2851	0,2736	0,2753	0,2815	0,3015
01/03/04	0,2729	0,3033	0,3084	0,2947	0,2908	0,2906	0,3007	0,3237
26/03/04	0,2808	0,3092	0,3070	0,3017	0,2926	0,3062	0,3087	0,3069
25/04/04	0,2698	0,3016	0,2993	0,2899	0,2917	0,2959	0,2989	0,3119
04/06/04	0,2740	0,3030	0,3010	0,2938	0,2914	0,2903	0,2937	0,3147
18/07/04	0,2675	0,2964	0,2954	0,2820	0,2798	0,2874	0,2969	0,3090

* umidade com sete dias de antecedência.

TABELA 1C Datas dos eventos que geraram o escoamento superficial de água e valores de perdas de solo observados na seção de controle da microbacia hidrográfica estudada, região dos Tabuleiros Costeiros, ES.

Data	Perdas de solo ----- Mg -----
15/11/2000	0,0103
17/11/2000	0,0024
04/12/2000	0,0182
20/12/2000	0,0006
26/10/2001	0,0036
13/11/2001	0,0001
18/11/2001	0,2928
05/12/2001	0,0006
14/01/2002	0,0035
02/02/2002	0,7287
18/02/2002	0,0140
05/03/2002	0,0013
29/04/2002	0,0243
16/02/2004	0,0056
17/02/2004	0,0004
16/03/2004	8,5359
31/03/2004	0,0847
10/04/2004	0,0106
27/04/2004	0,0098
23/05/2004	0,0009
18/07/2004	0,1410