

## PROCESSOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS EM VERTENTE COM SOLOS ARGILOSOS RASOS EM GUARAPUAVA-PR, BRASIL<sup>1</sup>

*Edivaldo Lopes Thomaz*

Professor Adjunto, Departamento de Geografia; Laboratório de Geografia Física  
Grupo de Pesquisa Estudo de Processos e Dinâmica em Bacia de Drenagem  
Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO  
Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03 - Cx. Postal, 3010  
Fone/fax: (042) 3629 – 1444, Ramal 261  
CEP 85.040-430 - Guarapuava - PR  
ethomaz@brturbo.com.br

*Jurandy Luciano Sanches Ross*

Professor Livre Docente, Departamento de Geografia – FFLCH-USP  
Laboratório de Geomorfologia, Av. Lineu Prestes, 338  
Cidade Universitária Cep: 05508-000,  
São Paulo-SP, Brasil  
jurarross@usp.br

---

### Resumo

Este estudo apresenta os resultados de mensurações referentes ao escoamento superficial e produção de sedimento em vertente com solos argilosos rasos em Guarapuava-PR, Brasil. Poucos estudos de processos erosivos foram realizados nesses materiais. A vertente foi analisada nos seguintes segmentos: topo, retilíneo, patamar e terraço fluvial. Em cada setor foi instalada uma parcela com 1 m<sup>2</sup> e uma calha de Gerlach aberta. Durante o monitoramento a vertente esteve recoberta com vegetação em estágio inicial de sucessão de capoeira. Os eventos pluviométricos inferiores a 10 mm praticamente não geraram escoamento. O coeficiente de escoamento superficial médio variou de 0,14% no patamar a 1,74% no terraço fluvial, sendo que na maioria dos segmentos, ficou abaixo de 1,0%. A produção de sedimento foi baixa em todos os segmentos da vertente, apesar da diferenciação entre eles. A maior mobilização ocorreu no setor retilíneo (0,483 t/ha/ano), enquanto que a menor foi no setor convexo (0,127 t/ha/ano). Houve diferenciação na produção de sedimento e na geração de escoamento nos segmentos da vertente.

**Palavras-chave:** Processos; vertente, hidrogeomorfologia; monitoramento

### Abstract

This study presents the measurement results about runoff and sediment yield on hill slope covered by shallow clayed soil – Guarapuava-PR, Brazil. Rare studies are done on this sort of soils. The hill slope was tested into different segments: summit; straight, plain (patamar), convex and floodplain. Each hill slope segment was measured by one plot (1m<sup>2</sup>) and one unbolt Gerlach. Throughout experiments vegetation shrubs covered the hill slope. Few runoff was observed for rainfall less than 10 mm. The average runoff ranged from 0.14% on the plain to 1.74% in the floodplain; however in general runoff in the entire hill slope did not exceed 1.0%. The sediment production was low in all the hill slope segments, despite the differentiation between them. The straight sector has showed the largest sediment mobilization (0.483 t/ha/y), while the convex sector had the smallest (0.127 t/ha/y). There were different responses in the sediment yield, as well as runoff generation in each hill slope segment.

**Keywords:** processes; hill slope, hidrogeomorphology; monitoring

---

<sup>1</sup>Esse trabalho é parte da tese de doutoramento do primeiro autor: Processos hidrogeomorfológicos e o uso da terra em ambiente subtropical – Guarapuava – PR, defendida junto ao programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

## 1. Introdução

O estudo de processos se tornou um dos principais objetivos da Geomorfologia, haja vista ele ser primordial para a explicação da dinâmica das paisagens.

Neste contexto, a bacia de drenagem é considerada um sistema fundamental nas pesquisas geomorfológicas. Sua estruturação como sistema aberto, com entrada e saída de energia e matéria, facilita a identificação e a delimitação dos diferentes subsistemas componentes como, por exemplo, a vertente (Burt & Walling, 1981).

A vertente, sistema de interesse nesse estudo, é considerada em sentido amplo como sistema processo-resposta (Gregory, 1992). Esse sistema é resultante da inter-relação entre as formas, os materiais e os processos que o configuram como seus elementos. A vertente se comporta como sistema em cascata, pois que nela ocorre transferência de energia e matéria. Essa transferência é comandada principalmente por forças gravitacionais, hidráulicas e químicas.

A transferência de água, sedimentos e elementos químicos na vertente ocorrem por meio de vários fluxos. Esses diferentes fluxos variam no tempo e no espaço, ao longo do sistema vertente, podendo ser superficiais e subsuperficiais e entre os principais fluxos estão: o fluxo hortoniano, o fluxo superficial saturado, o fluxo de retorno, o fluxo subsuperficial não saturado e saturado e o fluxo subsuperficial através de duto ou túnel (piping) (Chorley, 1978).

Essas inter-relações resultam em diferenciações e descontinuidade de processos, formas e materiais em cada segmento da vertente. Por exemplo, Dalrymple *et al* (1968), citado por McCaig (1985), propôs o modelo: *nine-unit land surface*, em que diferentes processos pedo-geomórficos predominam em cada unidade de relevo. Da mesma forma, Curi *et al.* (1993) adotam a denominação de catena para a seqüência de solos diferenciados ao longo da vertente, em função das suas formas de relevo e da subsequente circulação da água em cada unidade.

Essa dinâmica na vertente é confirmada em diferentes elementos do sistema. Zaslavsky & Sinai (1981), citado por Knighton (1998), verificaram a umidade do solo nas profundidades de 0,2m e 0,4m, 10 dias após um evento pluviométrico. Concluíram que a umidade aumentou gradativamente do setor convexo para o côncavo (transecto). Martz (1992) encontrou variação na erodibilidade do solo ao longo dos segmentos de uma vertente devido às mudanças nas propriedades dos solos (textura e matéria orgânica) causadas pela posição que eles ocupavam na vertente. Silva & Botelho (1998) constataram variação no conteúdo de matéria orgânica no horizonte superficial ao longo de uma vertente e associaram esse comportamento à morfologia e à declividade. Moresco & Cunha (2003) verificaram diferentes graus de susceptibilidade à erosão do solo de acordo com a setorização morfopedológica.

Esses estudos confirmam a descontinuidade têmporo-espacial das formas, materiais e processos ao longo de uma vertente. Além disso, demonstram a imbricada relação entre os processos geomorfológicos, hidrológicos e pedológicos no sistema vertente.

Por fim, Bryan (2000) destaca que há lacuna no entendimento do comportamento de solos rasos e pedregosos em vertentes declivosas. Apesar desses solos não serem foco do interesse agrônômico, eles são importantes no entendimento de processos geomorfológicos e hidrológicos (hidrogeomorfológicos).

Assim, o objetivo do presente trabalho foi verificar o comportamento hidrogeomorfológico (infiltração, escoamento e produção de sedimento) em diferentes segmentos de uma vertente com solos argilosos rasos.

## 2. Área de Estudo

A área de estudo (Figura 1), localiza-se no chamado Terceiro Planalto Paranaense, inserindo-se no Domínio morfoclimático dos planaltos sul-brasileiros com araucária (Ab'Saber, 1970). Nimer (1977) define o clima regional como Mesotérmico do tipo temperado com inverno acentuadamente frio, verão brando, superúmido, sem estação seca (controlado por Massa Polar).

A vertente está inserida numa sub-bacia que possui as seguintes características: 2,53 km<sup>2</sup> de área, 7,27 km de extensão da rede de drenagem, 210 m de amplitude altimétrica e 2,87 km/km<sup>2</sup> de densidade de drenagem. No geral 75,6% do terreno da sub-bacia está em declividades superiores a 12%, sendo considerada no conjunto o predomínio de declividades média a média/alta (Figura 2).

A seção da vertente selecionada para o monitoramento possui comprimento aproximado de 1000 m, declividade média de 17% e é suportada predominantemente por basalto pertencente à Formação Serra Geral do Grupo São Bento.

Delimitou-se nessa vertente 6 compartimentos (Figura 2): (1) topo, (2 e 4) segmento retilíneo, (3) patamar, (5) segmento convexo e (6) terraço fluvial, quais apresentam diferentes graus de transição de um segmento para o outro. Foi observado que predomina a transição abrupta (ruptura de declive) entre eles, fazendo com que a vertente seja escalonada, ou seja, se pareça com uma escada com vários degraus.

Entende-se que os domínios (segmentos) e transições (gradativa/abrupta) representam variações na distribuição de energia potencial e hidráulica ao longo do sistema vertente. Esse aspecto é fundamental para o arranjo da estrutura e funcionalidade do sistema (geomorfológico, hidrológico e pedológico).

O topo do solo (0-5 cm) é pouco denso, variando de 0,80 a 1,0 g/cm<sup>3</sup>. Essa densidade somada às características superficiais do solo como pedregosidade, serrapilheira e restos de cultura favorecem a porosidade superficial dos solos da vertente que variou de 62 a 70%.



Figura 1 - Localização da área de estudo (Vertente: indica o local da unidade geomorfológica monitorada)

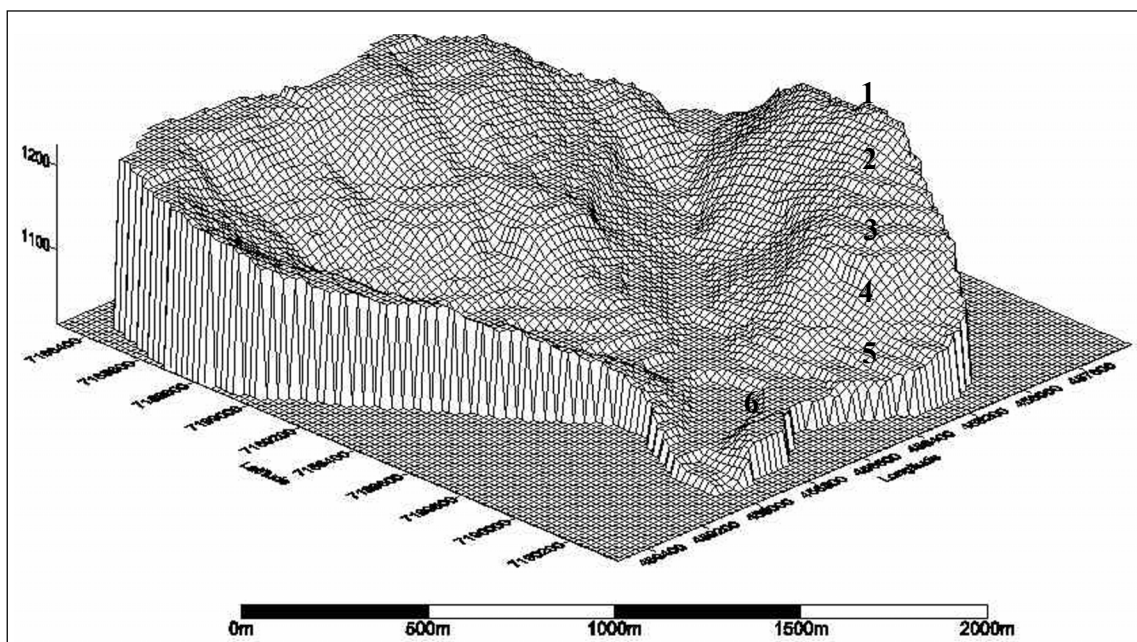


Figura 2 - Modelo Digital de Terreno indicando os compartimentos da vertente monitorada: 1 topo (P1 e C1); 2 segmento retilíneo (C2); 3 patamar (P2 e C3); 4 segmento retilíneo (P3); 5 segmento convexo (P4, P5, C4, C5); 6 terraço fluvial (P6 e C6).

Nota: P=parcela fechada e C=calha de Gerlach. (Desenho: Vestena, L. R & Thomaz, E. L.)

A declividade, a profundidade do solo e a textura se diferenciaram ao longo da vertente. O seu topo (1) possui declividade entre 10 a 15%. O segmento retilíneo (2) apresenta declividade predominante de 40%. Por sua vez, o segmento retilíneo (4) é o mais declivoso, com 60%. O patamar (3) fica entre os dois segmentos anteriores e possui declividade entre 10% e 15%. O setor de vertente convexa (5) possui declividade variando entre 10% e 20% e o terraço fluvial (6) possui declividade inferior a 6% (Figura 2)

Os solos distribuem-se entre muito rasos a rasos (0,25 a 0,50m) e rasos a medianamente profundos (0,50 a 1,25m).

No primeiro grupo ocorrem a associação Neossolo Litólico/Cambissolo e afloramento rochoso, que ocorrem no topo, setores retilíneos, parte do patamar e setor convexo. Nos setores onde o solo é mais profundo prevalecem os Cambissolos, que ocorrem parcialmente no topo e patamar e predominam no segmento convexo. No terraço fluvial predomina solo hidromórfico (Gleissolo).

Em todos os solos a textura é argilosa (Tabela 1), no entanto, o conteúdo de argila, silte e areia são variáveis ao longo da vertente e dependem do grau de desenvolvimento dos solos.

Tabela 1 - Características granulométricas dos materiais de acordo com os segmentos de vertente

Segmento de Vertente	Profundidade Avaliada (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
(1) Topo	0 - 60	25,5	14,5	60
(2) Retilíneo	0 - 20	32	20	48
(3) Patamar	0 - 60	35,7	18	46,3
(4) Retilíneo	0 - 40	44,5	22,5	33
(5) Convexa	0 - 60	32,3	19	48,7
(5) Convexa	0 - 60	13,5	17	69,5
(6) Terraço Fluvial	0 - 60	31,5	29	39,5

### 3. Metodologia

#### 3.1 Delineamento do monitoramento

No delineamento procurou-se manter a cobertura do solo semelhante e variar as formas de relevo e a declividade.

A vertente foi escolhida a partir de levantamento de campo e posterior mapeamento das unidades geomorfo-pedológicas (relevo-solo) da bacia do Rio Guabirola (Thomaz, 2005a), como representada na figura 2.

Realizaram-se vários ensaios e monitoramentos na área estudada tais como: resistência de materiais, densidade global, porosidade total, bem como observações sistemáticas de campo (Thomaz, 2005b). Entretanto, apenas o resultado do monitoramento relacionado à umidade, infiltração, escoamento e produção de sedimento serão apresentados nesse trabalho. Esses ensaios serviram de apoio nas análises e explicação acerca da dinâmica hidro-erosiva da vertente.

Não há padronização definida em relação às técnicas para mensuração de infiltração, escoamento e erosão. Morgan (2005) sugere que parcelas longas (10x1m) são recomendadas para estudos erosivos, pois elas permitem a formação de ravinas. Por outro lado, parcelas de 1m<sup>2</sup> permitem investigações acerca da infiltração, salpico e transporte de material destacado pelo salpico (fluxo difuso).

Apesar dessa restrição Battany & Grismer (2000a), ao comparar estudos realizados em áreas com cultivo de uva constaram que os dados obtidos em parcelas de 1m<sup>2</sup>

aproximaram-se dos registrados em parcelas de 30 e 40m<sup>2</sup>. Os autores apontaram a possibilidade de transferência de escala acerca dos resultados obtidos com as duas técnicas.

Parcelas pequenas têm sido empregadas para investigar infiltração e erosão por todo mundo, inclusive no Brasil (Quadro 1). Segundo Hudson (1993), as parcelas com área de 1 a 2m<sup>2</sup>, servem para investigações preliminares sobre escoamento e erosão do solo, com objetivo principal de comparar a infiltração, o escoamento e erosão em diferentes sistemas de uso. Destaca-se que é neste contexto que se insere esta pesquisa, uma vez que, se busca identificar descontinuidades nos processos hidro-erosivos em vertente.

Além disso, previamente, observou-se em campo o predomínio de processo erosivo laminar e ausência de processo linear (sulcos e ravinas) na vertente monitorada. De tal modo, optou-se por parcelas com 1m<sup>2</sup>, de acordo com as proposições de Hudson (1993) e Morgan (2005).

As parcelas de infiltração e escoamento foram construídas com chapas galvanizadas com área de 1m<sup>2</sup> (1x1m) (seis parcelas). As parcelas foram fixadas ao solo numa profundidade aproximada de 5 cm no sentido do declive (altura total da chapa 20cm). Elas formaram uma estrutura isolada da área adjacente, possuindo saída para uma calha coletora (Gerlach) que, por sua vez, foi conectada a um recipiente para armazenar água e sedimento (50 l).

Outra técnica empregada no presente estudo foi calha de Gerlach aberta (seis calhas). As calhas foram construídas

Quadro 1 - Dimensões de parcelas e calhas de Gerlach utilizadas em estudo de escoamento e erosão do solo.

Fonte	Dimensões	Objetivo
Hudson (1993)	1x1 e 2x1 m	Serve para investigações preliminares sobre escoamento e erosão. O objetivo principal é comparar o escoamento em diferentes sistemas de uso.
Larsen, <i>et al.</i> (1999)	0,50m	Calha de Gerlach. Escoamento superficial, erosão laminar e transporte de serrapilheira fina.
Castro <i>et al.</i> (1999)	1x1m	Mensuração de escoamento superficial e concentração de sedimento em sistema de plantio direto com chuva natural e simulada.
Battany e Grismer (2000b)	1 m <sup>2</sup> , 0,5 m <sup>2</sup> 0,71x0,71 m, 0,61x0,61 m e outras medidas.	Revisão sobre as dimensões de parcelas usadas em simuladores de chuva portátil para verificação de infiltração, escoamento superficial e erosão do solo.
Le'onard <i>et al.</i> (2006)	2x1m	Infiltração e escoamento superficial.

Org. THOMAZ (2007)

de acordo com De Ploey & Gabriels (1980) (50 cm de largura). O critério para a distribuição das 6 parcelas e 6 calhas seguiu as formas de relevo, a partir dos segmentos de vertente: topo, setor retilíneo, patamar, setor convexo e terraço fluvial, indicadas na Figura 2.

O solo na vertente estava recoberto por vegetação em estágio inicial de sucessão (capoeira) com aproximadamente 1,5 anos de regeneração espontânea (segmentos de topo, retilíneos e patamar). No segmento convexo, onde foi instalada a parcela 4 e a calha 4, a capoeira estava em estágio avançado de regeneração, com idade em torno de 8 anos. Já no local da parcela 5 e calha 5 a cobertura vegetal era composta por ervas daninhas especialmente herbáceas devido a área estar em pousio por um tempo aproximado de 1 ano.

Todavia, em todos os setores a cobertura vegetal apresentava boas condições de proteção ao solo contra a ação do salpico. Essas unidades de terras estão inseridas dentro do processo de rodízio de terras usado pela agricultura de subsistência em que os procedimentos são: roçar, queimar, cultivar e abandonar a gleba para regeneração (Thomaz, 2005b).

As parcelas e calhas foram distribuídas do topo ao terraço fluvial da seguinte forma (Figura 2): segmento de topo (parcela 1 e calha 1); segmento de vertente retilínea (parcela 3 e calha 2); segmento de patamar (parcela 2 e calha 3); setor convexo 4 (parcela 4 e calha 4); setor convexo 5 (parcela 5 e calha 5) e segmento de terraço fluvial (parcela 6 e calha 6). Destaca-se que por haver dois setores retilíneos e número insuficiente de parcelas e calhas definiu-se por instalar a calha 2 no primeiro segmento retilíneo (2) e a parcela 3 no segundo segmento retilíneo (4). Ressalta-se que nestes dois sítios as condições de solo e declividade foram próximas.

O monitoramento da precipitação diária empregada nas

correlações dos experimentos teve por base os dados gerados numa mini-estação meteorológica (WM-918 *Electronic Weather Station*) instalada distante em torno de 500 metros do local monitorado. Além da estação foram utilizados 2 pluviômetros (Hellmann) instalados próximos à vertente monitorada, sendo um deles instalado junto à estação e outro no segmento retilíneo (4), isto é, localizado em meia vertente. A estação gerava automaticamente um arquivo (*dat*) em um intervalo de 24 horas, tendo sido programada para registrar a intensidade da precipitação em intervalos de 30 minutos. O período monitorado foi de setembro de 2002 a março de 2003 (primavera-verão).

Após cada evento as parcelas e calhas foram monitoradas, sendo registrados: a precipitação pluviométrica, o volume de água escoado e o sedimento retido na calha e no recipiente. O material retido na calha foi coletado por meio do uso de pincel e espátula; posteriormente, foi acondicionado em filtro de papel. No laboratório, tanto o material retido no galão (água+sedimento), quanto na calha foram preparados (filtragem e limpeza) e levados para secar em estufa a 105°C por 24 horas, em seguida foram pesados.

Os dados foram tabulados e tratados por meio do software Excel 2000. A análise dos dados envolveu: 1) estatística descritiva; 2) análise de variância (ANOVA); 3) comparação de médias e estabelecimento de diferença mínima significativa (Teste de Tukey). O emprego das técnicas e análises estatísticas seguiu as recomendações e procedimentos contidos em Vieira (1999).

### 3.2 Mensuração da umidade

A umidade do solo foi monitorada em cada segmento de vertente (topo, vertente retilíneo, patamar, vertente convexa e terraço fluvial) (Figura 2), por meio de um conjunto

de tensiômetros instalado na profundidade de 25 cm. O registro da umidade foi feito aproximadamente a cada 10 dias, seguindo a distribuição da pluviosidade. O monitoramento da umidade ocorreu concomitantemente à mensuração das parcelas e calhas.

O modelo de tensiômetro utilizado foi o KS-D1. Este aparelho mede a umidade, a partir da resistência elétrica do solo (OHMS). O aparelho registra diretamente em um visor a água disponível no solo variando de 4,0 (15 Bars, déficit de água) até 99,0 (0,1 Bars, disponibilidade de água). Os tensiômetros utilizados são formados por blocos de gesso, previamente acondicionados dentro do solo. Após a instalação, é possível avaliar a disponibilidade ou déficit de água no solo.

Tabela 2 - Comparação entre a precipitação mensal registrada durante o monitoramento e a precipitação mensal histórica

Mês	Precipitação mensal registrada durante o monitoramento (mm)	<sup>1</sup> Precipitação mensal histórica (mm)	Desvio (mm)
Setembro	177,0	177,0	0,0
Outubro	245,0	204,6	40,4
Novembro	194,8	165,6	29,2
Dezembro	185,0	195,5	-10,5
Janeiro	89,5	204,1	-114,6
Fevereiro	207,8	170,8	37,0
Março	207,0	145,8	61,2
<b>Total</b>	<b>*1306,1</b>	<b>1263,3</b>	<b>42,8</b>

Fonte: <sup>1</sup>Instituto Agronômico do Paraná, estação agrometeorológica de Guarapuava (série 1976-2002).

Nota: \*Foi incluído um evento de 8,0 mm (13/09/2002), entretanto, este evento não é considerado nas análises acerca dos processos hidromorfológicos.

As chuvas foram bem distribuídas em grande parte do período monitorado. Isto garantiu boa disponibilidade de água no solo (umidade antecedente). As medidas com tensiômetro indicaram que em 80% das leituras todos os segmentos de vertentes apresentavam disponibilidade de água em torno dos 77,3%, enquanto que, em 20% das leituras ocorreu déficit hídrico em quase todos os segmentos (média 41,2% de disponibilidade de água), sobretudo, no mês de janeiro em que ocorreu forte desvio da precipitação em relação a média histórica (Figura 3 e Tabela 2).

Em relação à disponibilidade de água na vertente durante o período monitorado (set/2002 a mar/2003) observou-se que: a) quando as chuvas foram pouco espaçadas uma das outras, não ocorreu déficit hídrico em nenhum setor de vertente, pois houve tendência de homogeneização na distribuição de umidade na vertente; b) quando as precipitações foram mais espaçadas ou tiveram pouco volume alguns setores da vertente apresentaram redução de umidade, primeiro do que outros (topo T1; segmentos de vertente retilínea T2 e T4; vertente convexa

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Condições hidrológicas ao longo do monitoramento

No período monitorado foram registrados 76 eventos pluviométricos. As estações primavera e verão do ano de 2002 foram influenciadas pelo fenômeno *El Niño*. Tal anomalia provocou aumento da intensidade das chuvas (Simepar, 2002). As precipitações na primavera foram acima da média normal, particularmente, em outubro e novembro, enquanto que o verão teve precipitação abaixo da média histórica, sendo o mês de janeiro o mês mais seco do período monitorado. Já, fevereiro e março foram chuvosos (Tabela 2).

T5a e terraço fluvial T6). O comportamento da umidade nestes setores foi devido aos solos serem rasos e haver pedregosidade no interior do horizonte, que aumenta a drenagem e reduz a capacidade de armazenamento de água. Por outro lado, o segmento de patamar (T3) e, em especial, o segmento de vertente convexa (T5b) consegue reter mais umidade mesmo durante irregularidade pluviométrica. De modo contrário, nesses segmentos os solos são mais profundos e praticamente sem pedregosidade no interior dos horizontes.

### 4.2 Parcelas fechadas: escoamento e produção de sedimento

A tabela 3 traz as correlações obtidas na análise dos dados das parcelas fechadas, precipitação (total e intensidade máxima) e escoamento, precipitação e mobilização de material e escoamento superficial e mobilização de material.

Na primeira correlação o objetivo foi verificar a resposta hidrológica superficial do segmento de vertente, enquanto as outras foram para identificar a participação da precipitação e escoamento na mobilização de material.



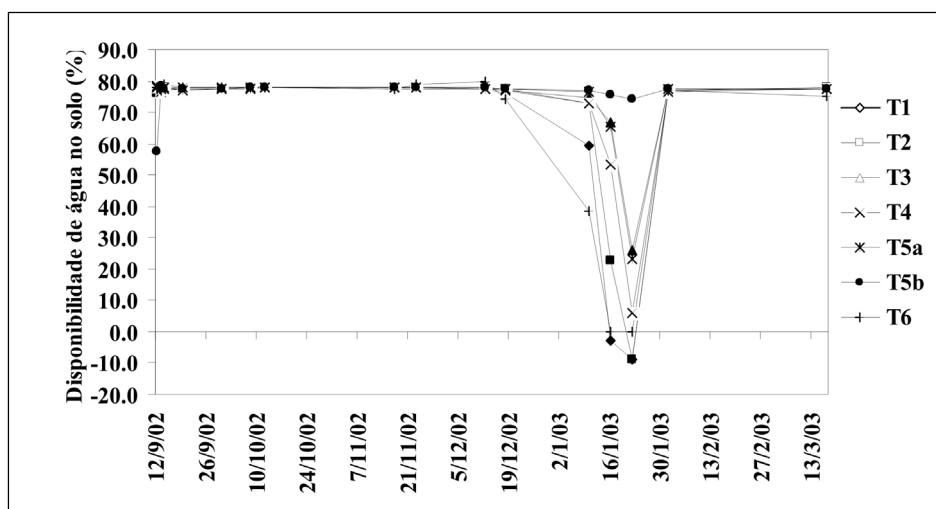


Figura 3 - Monitoramento de água no solo em diferentes segmentos de vertente.

Nota: profundidade do tensiômetro 25 cm. (T) refere-se ao conjunto de tensiômetro instalado em cada segmento de vertente sendo: 1 topo (T1); 2 segmento retilíneo (T2); 3 patamar (T3); 4 segmento retilíneo (T4); 5 segmento convexo (T5a e T5b); 6 terraço fluvial (T6) (ver Figura 2).

Tabela 3 - Correlações entre precipitação total, intensidade máxima e escoamento superficial e sua influência na dinâmica hidrogeomorfológica em cada segmento de vertente (parcelas fechadas)

Parcela	Segmento de vertente	Precipitação Total	Intensidade máxima (mm/30')	Precipitação Total	Intensidade máxima (mm/30')	Escoamento
		Escoamento	Escoamento	Erosão	Erosão	Erosão
		<i>r</i>	<i>r</i>	<i>r</i>	<i>r</i>	<i>r</i>
1	Topo	0,740	0,532	0,582	0,644	0,555
2	Retilíneo	0,532	0,500	0,440	0,306	0,446
3	Patamar	0,890	0,733	0,600	0,488	0,709
4	Convexo	0,641	0,655	0,503	0,604	0,802
5	Convexo	0,668	0,628	0,591	0,585	0,767
6	Terraço fluvial	0,615	0,440	0,599	0,480	0,652
<b>Média</b>	<b>Vertente</b>	<b>0,681</b>	<b>0,581</b>	<b>0,553</b>	<b>0,518</b>	<b>0,655</b>

Nota: *r* Coeficiente de Correlação de Pearson; todas as correlações foram significantes ao nível de confiança de 95%; n = 76.

Em relação à precipitação e escoamento todas as parcelas tiveram respostas positivas significativas, indicando que na medida em que houve aumento da precipitação a resposta hidrológica superficial via geração de escoamento superficial também aumentou. Contudo, esse comportamento foi variável em cada parcela, sendo mais acentuado no segmento retilíneo (parcela 3) e no topo (parcela 1). Ao contrário, a menor resposta foi no segmento de patamar (parcela 2), seguido pelo terraço fluvial (parcela 6). Os segmentos convexos (parcela 4 e 5) apresentaram respostas semelhantes, sendo ligeiramente superior na parcela 5.

Em média o escoamento superficial teve maior

participação na mobilização de material, mesmo quando comparado com a intensidade máxima da chuva. Em outras palavras, a mobilização de material foi superior quando a variável independente foi o escoamento superficial em comparação com a variável independente precipitação total ou intensidade máxima (Tabela 3). Da mesma forma que na análise anterior, houve variação nas respostas de cada segmento, verificando-se as maiores nas parcelas 4, 5 e 3. A parcela 6 teve resposta intermediária, enquanto as parcelas 2 e 1 tiveram as menores respostas. Nestas, a precipitação teve participação ligeiramente maior na mobilização de material, quando comparado ao escoamento superficial.

Na tabela 4 pode-se observar o resultado da resposta hidro-erosiva em relação ao escoamento e mobilização de material em cada segmento de vertente. O escoamento apresentou separação em dois grupos parcelas 2, 5 e 4

(grupo a) com menor escoamento e as parcelas 6, 1 e 3 com maior escoamento (grupo b). Nesse parâmetro o terraço fluvial diferenciou-se das demais parcelas apresentando o maior escoamento.

Tabela 4 - Escoamento superficial e mobilização de material em parcelas de acordo com o segmento de vertente (parcelas fechadas)

Parcelas	Segmento de vertente	Escoamento superficial (mm)	Mobilização de material (g/m <sup>2</sup> )
1	Topo	11,27ab(2) <sup>1</sup>	22,90ab(2) <sup>1</sup>
2	Patamar	1,85a(6)	19,28ab(4)
3	Retilíneo	10,38ab(3)	28,15b(1)
4	Convexo	4,84a(4)	7,40a(6)
5	Convexo	4,46a(5)	12,57a(5)
6	Terraço fluvial	22,57b(1)	18,92ab(3)

Nota: Coluna seguida de mesma letra não difere significativamente pelo *Teste de Tukey* ao nível de 0,05%; <sup>1</sup>ranking do parâmetro avaliado dentro do conjunto; n = 76.

Dados coletados e trabalhados por THOMAZ, E. L. (2004).

Em relação à mobilização de material também houve a diferenciação de dois grupos de parcelas: as parcelas 4 e 5 apresentaram menor mobilização de material, enquanto que as demais parcelas (6, 3, 2 e 1) tiveram maior mobilização de material, com destaque para o segmento retilíneo (parcela 3) que atingiu o maior valor.

De maneira geral, ocorreu certa correspondência entre escoamento gerado e material mobilizado. Entretanto, a variação mais significativa no conjunto de parcelas avaliadas ocorreu no terraço fluvial (parcela 6) e segmento retilíneo (parcela 3). O terraço fluvial teve o maior escoamento 22,57 mm (1º no ranking), porém, a mobilização de material foi de apenas 18,92 g/m<sup>2</sup> (3º no ranking). Esse comportamento se deve à baixa declividade do local e principalmente à ocorrência de fluxo saturado e fluxo de retorno que aí ocorre. Além disso, muitas vezes o escoamento ocorreu após o término da precipitação, notadamente as de maior duração e volume. Portanto, esse fluxo pode ter apresentado menor competência na mobilização de material quando comparado com o resultado de outros segmentos de vertentes.

Por outro lado, o segmento retilíneo teve escoamento de 10,38 mm (3º no ranking), todavia, apresentou maior mobilização de material, com 28,15 g/m<sup>2</sup> (1º no ranking). A declividade conferiu maior competência ao fluxo superficial difuso especialmente nas chuvas intensas, ao contrário do comportamento do terraço fluvial.

#### 4.3 Calhas de Gerlach: escoamento e produção de sedimento

A tabela 5 registra as correlações obtidas na análise dos dados das calhas, precipitação (total e intensidade máxima) e escoamento, precipitação e mobilização de material e escoamento superficial e mobilização de material.

Na primeira correlação o objetivo foi verificar a resposta hidrológica superficial do segmento de vertente, enquanto as outras foram para identificar a participação da precipitação (total e intensidade máxima) e do escoamento na mobilização de material.

As calhas apresentaram respostas positivas acentuadas em relação à precipitação e escoamento sendo maior no terraço fluvial (calha 6)  $r$  0,778 e a menor no patamar com  $r$  0,529. Portanto, de maneira geral, ocorreu correlação significativa para esse parâmetro em toda a vertente (média  $r$  0,627).

A despeito da participação da precipitação e do escoamento superficial na mobilização de material não ocorreu distinção clara como a apresentada pelas parcelas, inclusive nas correlações que se incluíram a intensidade máxima. Contudo, a influência da intensidade máxima foi ligeiramente superior no conjunto de calhas quando comparado ao obtido pela precipitação e escoamento. As calhas foram influenciadas igualmente pelos três parâmetros correlacionados, isto é, pela precipitação, intensidade máxima e escoamento, haja vista que as correlações foram muito próximas nesses parâmetros  $r$  0,492,  $r$  0,519 e  $r$  0,494, respectivamente.

A tabela 6 apresenta os resultados do escoamento superficial e mobilização de material.

O conjunto de calhas registrou uma nítida separação do escoamento superficial nos diferentes segmentos de vertente, como constatado pela análise de variância que permitiu diferenciar 4 grupos (Tabela 6). Apenas os segmentos patamar (calha 3) e convexo (calha 5) apresentaram escoamento semelhantes, apesar de que esse último tendeu a ter escoamento próximo ao registrado no segmento retilíneo (calha 2). O maior escoamento foi registrado no terraço fluvial (calha 6) e o menor foi no topo (calha 1).



Tabela 5 - Correlações entre precipitação total, intensidade máxima e escoamento e sua influência na dinâmica hidrogeomorfológica em cada segmento de vertente (calhas de Gerlach)

Calha	Segmento de vertente	Precipitação Total	Intensidade máxima (mm/30')	Precipitação Total	Intensidade máxima (mm/30')	Escoamento
		Escoamento	Escoamento	Erosão	Erosão	Erosão
		<i>r</i>	<i>r</i>	<i>r</i>	<i>r</i>	<i>r</i>
1	Topo	0,545	0,602	0,245	0,352	0,363
2	Retilíneo	0,627	0,683	0,606	0,585	0,471
3	Patamar	0,529	0,574	0,550	0,601	0,576
4	Convexo	0,533	0,481	0,346	0,531	0,217
5	Convexo	0,748	0,668	0,629	0,592	0,747
6	Terraço fluvial	0,778	0,762	0,576	0,454	0,588
<b>Média</b>	<b>Vertente</b>	<b>0,627</b>	<b>0,628</b>	<b>0,492</b>	<b>0,519</b>	<b>0,494</b>

Nota: *r* Coeficiente de Correlação de Pearson; todas as correlações foram significantes ao nível de confiança de 95%; n = 75.

Tabela 6 - Escoamento superficial e mobilização de material de acordo com o segmento de vertente (calhas de Gerlach)

Calhas	Segmento de vertente	Escoamento (l)	Material mobilizado (g)
1	Topo	0,67a(6) <sup>1</sup>	55,06ab(2) <sup>1</sup>
2	Retilíneo	3,53b(2)	68,97a(1)
3	Patamar	2,98c(4)	39,58ab(3)
4	Convexo	1,97d(5)	14,22b(6)
5	Convexo	3,13bc(3)	34,09ab(4)
6	Terraço fluvial	5,62e(1)	17,14ab(5)

Nota: Coluna seguida de mesma letra não difere significativamente pelo *Teste de Tukey* ao nível de 0,05%; <sup>1</sup>ranking do parâmetro avaliado dentro do conjunto; n = 75.

Em relação ao material mobilizado o conjunto de calhas não apresentou separação nítida nos compartimentos da vertente como se observou no escoamento superficial. Ocorreu a separação de dois grupos, sendo que a maior mobilização de material ocorreu no segmento retilíneo (calha 2), por outro lado, as menores mobilizações foram registradas e terraço fluvial (calha 6).

Verificou-se certa correspondência entre escoamento e mobilização de material na vertente (ranking). No entanto, constatou-se discrepância significativa no segmento de topo (calha 1), uma vez que, o escoamento foi o menor dentro do conjunto de calhas, em contrapartida a mobilização de material só foi inferior ao registrado no segmento retilíneo. Acredita-se que pode ter havido *erro de mensuração* ao longo do monitoramento (movimentação da calha).

Da mesma maneira que as análises realizadas nas parcelas fechadas, o terraço fluvial (calha 6) teve o maior escoamento superficial, porém, a mobilização de material só foi ligeiramente superior ao obtido no segmento convexo

(calha 4) sob capoeira. O segmento retilíneo (calha 2) manteve o padrão verificado na parcela fechada, isto é, convergência entre escoamento e maior mobilização de material.

Apesar de se empregar nas mensurações técnicas distintas (parcela fechada e calha de Gerlach aberta) constatou-se concordância qualitativa acerca dos processos avaliados nos diferentes segmentos de vertente. Assim, a correlação entre o escoamento registrado nas parcelas e nas calhas, *r* 0,561, indicou acentuada concordância entre os dados obtidos pelas duas técnicas de mensuração nos segmentos de vertente monitorados, como mostra a Figura 4 (a).

O maior desvio ocorreu na parcela e calha instaladas no segmento de topo. Por outro lado, a correlação do material mobilizado registrado pelas duas técnicas foi muito mais correlacionável *r* 0,825 (Figura 4b). O maior desvio entre parcela e calha foi observado no segmento de terraço fluvial. Verificou-se, ainda, que em média a mobilização de material registrada nas calhas foi o dobro ao obtido nas parcelas (Figura 4c).

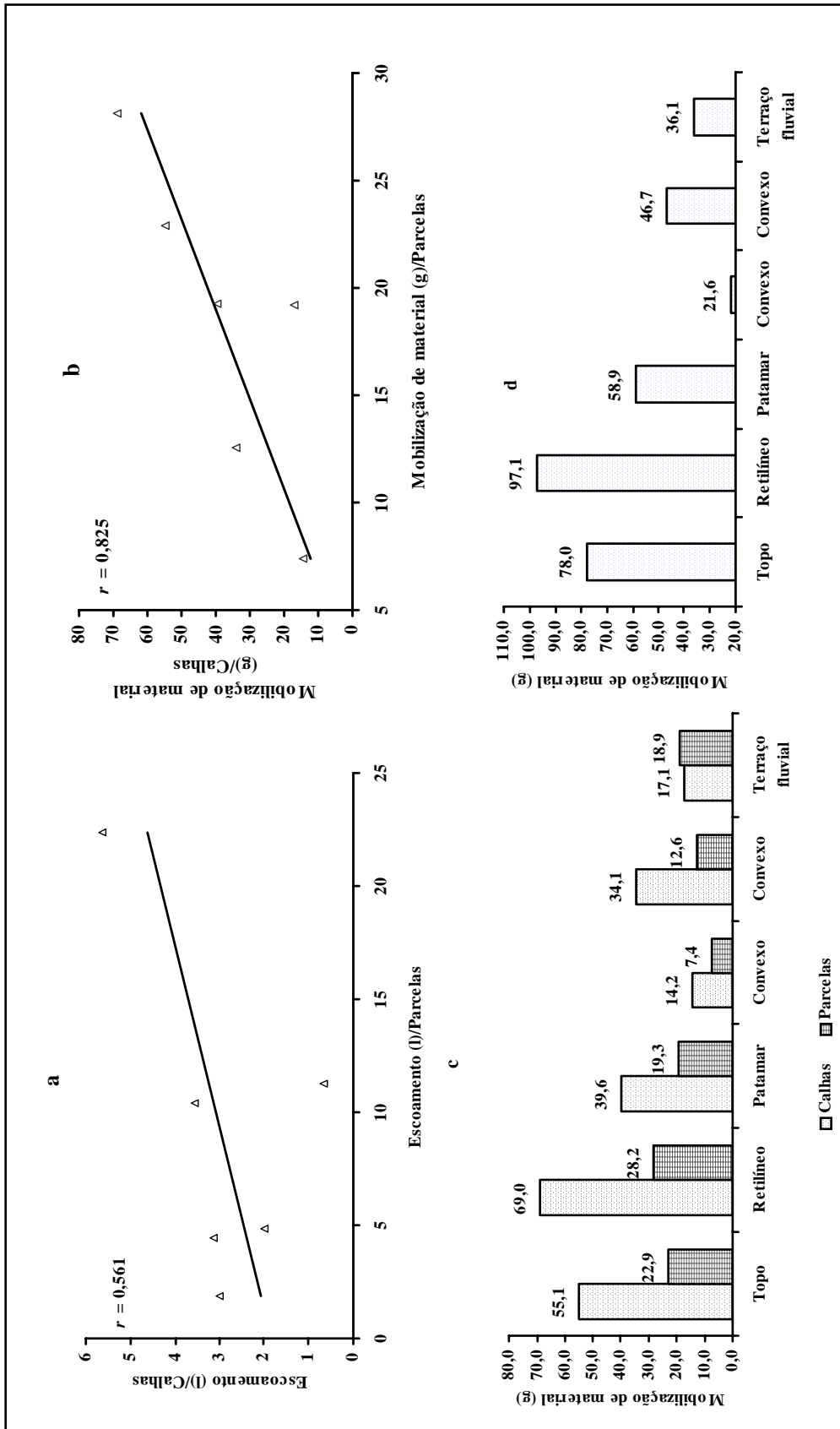


Figura 4. Comparação dos dados obtidos nas parcelas e calhas nos diferentes segmentos de vertente: a) correlação do escoamento; b) correlação da mobilização de material; c) comparação da mobilização de material nas calhas e parcelas; d) mobilização total de material na vertente (soma das calhas e parcelas).

Posto de outra maneira, as duas técnicas indicaram comportamento qualitativo/quantitativo convergente entre escoamento e a mobilização de material registrado nos segmentos de vertente. Essa convergência é melhor demonstrada na mobilização de material, apesar dos valores absolutos medidos pelas parcelas e calhas diferirem nos dois parâmetros avaliados (Figura 4c).

Em síntese, a seqüência decrescente acerca da mobilização de material em termos absolutos nos segmentos de vertente ocorreu da seguinte forma: retilíneo; topo; patamar; convexo 5, terraço fluvial e convexo 4 (Figura 4d).

#### 4.4 Análise pluviométrica e resposta hidro-erosiva

A figura 5 apresenta todos os eventos registrados durante o monitoramento no que se refere à precipitação total e à intensidade máxima em trinta minutos. Por sua vez, a tabela 6, já apresentada, resume os dados indicando a precipitação de acordo com a classe de chuva.

Como verificado na seção em que se analisaram as condições hidrológicas durante o monitoramento, constata-se que as chuvas foram bem distribuídas temporalmente, a exceção do mês de janeiro. Aliás, muitas precipitações ocorreram com pouco intervalo de uma para outra ou mesmo até continuamente (Figura 5). Isto conferiu disponibilidade de água no solo (umidade antecedente) na maior parte do tempo.

Registraram-se 76 eventos, sendo que desse total 71 (93,4%) tiveram a intensidade máxima em trinta minutos registrada. Observou-se que houve alta correlação ( $r^2 0,802$ ) em relação à precipitação total diária registrada e a intensidade máxima atingida pelo evento. Do mesmo modo, quanto maior o volume de chuva precipitada maior foi a intensidade média da chuva durante o evento ( $r^2 0,782$ ).

Na tabela 7 verifica-se a distribuição da precipitação agrupada por classe durante o monitoramento da vertente. A precipitação total foi de 1298,1 mm. A precipitação na classe que vai de 1 a 9,9 mm teve 31 eventos (40,8%), todavia, eles acumularam apenas 112,6 mm (8,7%) do total de chuva. Além disso, a intensidade máxima nessa classe de chuva foi muito baixa.

Por outro lado, a classe com precipitação  $\geq 30$  mm (Figura 5) registrou 11 eventos (14,5% do total), que, em compensação foram responsáveis por 43,1% da precipitação ocorrida durante o monitoramento (560,0 mm). Soma-se a isto, a maior intensidade máxima das chuvas nesses eventos (Tabela 7).

Analisando-se os aspectos físicos a respeito dos 11 eventos comentados anteriormente, observou-se que, a intensidade média dos eventos foi de 4,7 mm/30', variando entre 2,38 mm/30' a 9,33 mm/30' (Figura 5).

A intensidade máxima atingida nos eventos foi em média de 17,1 mm/30' variando entre 7 mm/30' até 31 mm/30'. O pico da precipitação, isto é, o período em que a intensidade

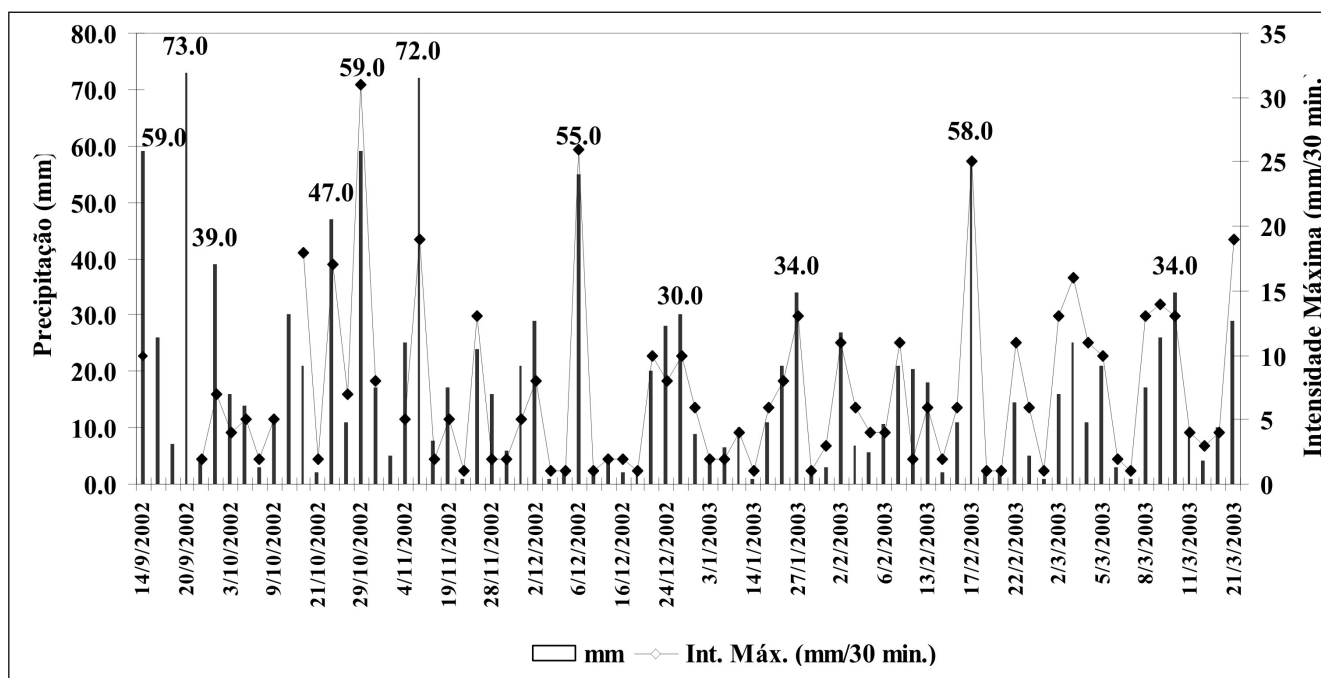


Figura 5 - Precipitação total diária e intensidade máxima em trinta minutos das chuvas registradas entre 14/09/2002 a 21/3/2003. Nota: Em destaque os 11 eventos com precipitação igual ou maior que 30 mm.

Tabela 7 - Distribuição da precipitação em classe, intensidade máxima e total acumulado em mm e participação no total da precipitação ao longo do monitoramento

Classe de chuva (mm)	Número de evento	Intensidade máxima (mm/30')	Total (mm)	Frequência (%)	Precipitação em relação ao total (%)
		Média da classe			
1 - 9,9	31	2,18	112,6	40,8	8,7
10 - 19,9	18	6,55	241,0	23,7	18,6
20 - 29,9	16	10,53	384,5	21,1	29,6
30 - 39,9	4	10,75	137,0	5,3	10,6
> 40	7	21,33	423,0	9,2	32,6
<b>Total</b>	<b>76</b>	<b>-</b>	<b>1298,1</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

foi maior durou em torno de 60 a 90 minutos. Nesse intervalo ocorreu em média 62,2% da chuva total do evento com variação entre 35,6% até 91,1%. Essas características são importantes no desencadeamento de processos hidro-erosivos (escoamento e mobilização de material).

Vários trabalhos demonstram a influência da intensidade da chuva na erosão do solo, não obstante, os valores para que o referido processo ocorra são variados. Os índices são: 25 mm/h (Hudson, 1961), 10 mm/h (Morgan, 1977), 6 mm/h (Richter & Negendank, 1977) e 5 mm/h (Boardman & Robinson, 1985), os trabalhos são citados em

Guerra (1995, p. 153). De uma forma ou de outra os eventos registrados e analisados se enquadram como eventos intensos, e, por conseguinte, erosivos. Inclusive os eventos compreendidos entre a classe de 10 a 29,9 mm, uma vez que, eles estão acima da maioria dos índices de intensidade citados anteriormente (Figura 5 e Tabela 7).

A importância dos maiores eventos no desencadeamento de processos hidrogeomorfológicos foi confirmada em todos os segmentos de vertente pelas duas técnicas de mensuração empregadas, parcelas e calhas (Tabela 8 e Tabela 9). Pois, esses eventos além de terem alta intensidade, apresentam também significativo volume.

Tabela 8. Influência dos eventos e"30 mm na geração de escoamento e mobilização de material em relação ao total do período avaliado (parcelas fechadas)

Parcela	Segmento	Escoamento (%)	Mobilização de material (%)
1	Topo	74,3	63,1
2	Patamar	62,7	60,2
3	Retilíneo	76,3	74,6
4	Convexo	56,7	41,6
5	Convexo	65,0	57,0
6	Terraço fluvial	68,5	51,4
<b>Média</b>	<b>Vertente</b>	<b>67,3</b>	<b>58,0</b>

Tabela 9. Influência dos eventos e"30 mm na geração de escoamento e mobilização de material em relação ao total do período avaliado (calhas de Gerlach)

Calha	Segmento	Escoamento (%)	Mobilização de material (%)
1	Topo	55,9	26,0
2	Retilíneo	79,9	64,0
3	Patamar	63,3	42,8
4	Convexo	47,8	26,0
5	Convexo	53,3	44,3
6	Terraço fluvial	44,3	38,6
<b>Média</b>	<b>Vertente</b>	<b>57,4</b>	<b>40,3</b>

Nas parcelas fechadas de todo o escoamento superficial registrado ao longo do período monitorado, a soma do escoamento gerado apenas nesses eventos representou 67,3% do total, variando de 56,7% no segmento convexo (parcela 4) a 76,3% no segmento retilíneo (parcela 3). Em relação à mobilização de material houve correspondência com o processo anterior, sendo que a média foi de 58,0% em relação ao total registrado no período. A menor mobilização foi de 41,6% e a maior 74,6%, dados esses relativos respectivamente, aos segmentos anteriores (Tabela 8). A resposta hidro-erosiva mais significativa ocorreu no segmento retilíneo onde mais de 70% do escoamento gerado e material mobilizado foi proveniente dos referidos eventos.

A resposta hidro-erosiva nas parcelas se repetiu, para as calhas de Gerlach que também responderam positivamente aos referidos eventos (Tabela 9). Visto que, de todo o escoamento superficial registrado ao longo do período monitorado, a soma do escoamento produzido apenas nesses eventos representou no conjunto de calhas 57,4% em relação ao total do período, com variação entre 44,3% a 79,9%. Por sua vez, a mobilização de material teve média de 40,3% variando entre 26,0% a 64,0%. Novamente, o segmento retilíneo foi o mais influenciado por esses eventos chegando a quase 80% em relação ao escoamento e 64,0% ao material mobilizado.

Em suma, os 11 eventos que representaram 14,5% do total registrado (76 eventos) foram responsáveis, de modo significativo, na resposta hidrogeomorfológica em todos os segmentos de vertentes avaliados pelas duas formas de mensuração.

O escoamento nas parcelas foi 17,25% superior e a mobilização de material 43,9% superior em comparação à média registrada nas calhas.

O segmento onde os eventos tiveram maior influência foi o retilíneo, tanto na mensuração em parcela quanto na calha. O setor convexo (calha 4 e parcela 4) apresentou a menor resposta quanto ao escoamento e mobilização de material. O terraço fluvial se configurou, em primeira análise, como de resposta aos eventos intensos e de longa duração, principalmente, no caso de haver umidade antecedente suficiente para gerar fluxo saturado, visto sua predisposição ao fluxo saturado.

A tendência de resposta hidrológica de cada segmento pôde ser mais bem caracterizada na tabela 10, em que se estratificou o escoamento das parcelas fechadas de acordo com a precipitação, revelando que na primeira classe de chuva não ocorreu geração de escoamento significativo (traço) em nenhum segmento já na segunda classe de chuva ocorreu escoamento em alguns segmentos como parcelas 3, 4 e 6. Contudo, o coeficiente de escoamento foi muito baixo (<0,25%).

Tabela 10. Resposta hidrológica dos segmentos de vertente de acordo com a precipitação (parcelas fechadas)

Precipitação		Segmentos											
		Topo		Patamar		Retilíneo		Convexo		Convexo		Terraço Fluvial	
Classe	(mm)	(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%
1 - 9,9	112,6	0,000	0,00	0,000	0,00	0,030	0,03	0,004	0,00	0,000	0,00	0,007	0,01
10 - 19,9	241,0	0,045	0,02	0,118	0,05	0,468	0,19	0,425	0,18	0,212	0,09	0,567	0,24
20 - 29,9	384,5	2,845	0,74	0,570	0,15	1,966	0,51	1,664	0,43	1,351	0,35	6,535	1,70
?30,0	560,0	8,375	1,50	1,158	0,21	7,916	1,41	2,743	0,49	2,897	0,52	15,463	2,76
<b>Total</b>	<b>1298,1</b>	<b>11,265</b>	<b>0,87</b>	<b>1,846</b>	<b>0,14</b>	<b>10,379</b>	<b>0,80</b>	<b>4,835</b>	<b>0,37</b>	<b>4,459</b>	<b>0,34</b>	<b>22,572</b>	<b>1,74</b>

A partir dos eventos da terceira classe de chuva (20 – 29,9 mm) verificou-se a diferenciação na resposta hidrológica de alguns setores de vertente como topo (parcela 1), retilíneo (parcela 3) e, em especial, o terraço fluvial (parcela 6) que apresentou o maior coeficiente 1,7%. Nesses eventos a quantidade de água transmitida pelo solo indicou ser suficiente para gerar fluxo saturado e de retorno, além da possível expansão da área saturada.

Essa tendência se acentuou nos eventos e”30 mm em que o terraço fluvial apresentou o maior coeficiente de

escoamento (2,76%). Aliás, na última classe de chuva ocorreram os maiores coeficientes de escoamento em todos os segmentos de vertente. O setor de patamar apesar do aumento da intensidade e quantidade precipitada não registrou escoamento superior a 0,25%. De forma semelhante, o setor convexo (parcela 4 e 5) praticamente não excedeu 0,5%.

Bryan (2000) argumenta que muitas informações detalhadas sobre erosão são provenientes de solos agrícolas. Nesses solos a estrutura natural do horizonte é

totalmente modificada (matéria orgânica, agregação, macroporosidade, etc.) e outras estruturas são criadas como: pé-de-grade ou pé-de-arado.

De acordo com o autor esses distúrbios causam alterações na resposta hidrológica e na erosão. Assim, o escoamento superficial em áreas agrícolas é exagerado, enquanto que processos subsuperficiais tendem a ser diminuídos ou até mesmo suprimidos.

Confirmando isso, Castro *et al.* (1999), registraram em parcelas com 1m<sup>2</sup> em área agrícola coeficiente de escoamento médio variando entre 25 a 88% em chuva simulada. Já em chuva natural, o coeficiente de escoamento variou de 30 a 71%.

No Brasil outros estudos apontam perdas de solo e água em sistemas agrícolas bem acima dos verificados nesta pesquisa (Cassetti, 1983, Silva *et al.*, 1986, Sorrenson & Montoya, 1989, Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

O escoamento superficial observado na vertente corresponde ao verificado em áreas florestadas, com exceção do setor de terraço fluvial. Cassetti (1983) observou, em área com floresta, um coeficiente de escoamento variando de 0,43% a 0,86% com média de 0,53%. Bertoni & Lombardi Neto (1990) indicaram um coeficiente de 0,7%.

A mobilização de sedimento também teve padrão semelhante às áreas florestadas. Wiersum (1984), citado por Mackensen *et al.* (2003), destaca que a produção de sedimento em ecossistemas florestais sem distúrbios pode variar entre 0,03 t/ha/ano a 6,2 t/ha/ano, sendo que a mediana está em torno de 0,3 t/ha/ano. Cassetti (1983) indicou perdas de solo de 0,021 t/ha/ano, em área com floresta, enquanto Bertoni e Lombardi Neto (1990) registraram valores de apenas 0,004 t/ha/ano. Por fim, Martins *et al.* (2003) mensuraram perdas de solo de 0,130 t/ha/ano em floresta com relevo forte ondulado (35,5% de declividade).

Houve pouco escoamento superficial e baixa mobilização de sedimento nos segmentos de vertente. Contudo, verificou-se o caráter descontínuo e variável do processo hidro-erosivo. Por essa razão, alguns segmentos da vertente podem ser considerados como área-fonte de sedimento (produção) (ex. segmento retilíneo), enquanto outros são áreas de retenção de sedimento (estoque) (ex. terraço fluvial).

A mobilização de material na vertente foi baixa devido à boa proteção conferida pela capoeira, somado à boa agregação do solo devido à elevada quantidade de argila.

Os valores de remoção de solo e escoamento superficial, dos segmentos estudados se assemelham aos registrados comumente em áreas florestadas.

## 5. Conclusões

Os 76 eventos monitorados apresentaram significativa diversidade em relação à quantidade e intensidade das

precipitações. Portanto, a resposta hidro-erosiva dos segmentos de vertente pôde ser avaliada sob eventos com diferentes características físicas.

Constatou-se diferenciação na produção de sedimento e geração de escoamento nos segmentos de vertente, com destaque para o segmento retilíneo e o terraço fluvial, que foram mais bem diferenciados. Verificou-se a existência de limiares distintos em cada segmento, especialmente, acerca da geração de escoamento de acordo com os eventos pluviométricos.

Os eventos inferiores a 10 mm praticamente não geraram escoamento superficial. Por outro lado, os eventos e"30 mm foram significativos em ambos os processos ao longo de toda a vertente (escoamento-erosão).

O coeficiente de escoamento superficial médio variou de 0,14% no patamar a 1,74% no terraço fluvial, sendo que na maioria dos segmentos, ficou abaixo de 1,0%.

A mobilização de sedimento foi baixa em todos os segmentos da vertente, apesar da diferenciação entre eles. No setor retilíneo a estimativa da produção de sedimento chegou a 0,483 t/ha/ano, enquanto que, no setor convexo, o valor foi de 0,127 t/ha/ano. Portanto, o primeiro segmento apresentou quase quatro vezes mais mobilização de sedimento.

A resposta hidrogeomorfológica da vertente avaliada por meio de duas técnicas de mensuração (parcelas e calhas de Gerlach), apresentou convergência de resultados, a despeito das diferenças absolutas registradas entre elas.

## 6. Agradecimentos

Agradeço ao CNPq, pelo apoio financeiro durante o desenvolvimento da pesquisa de doutorado. A Joel de Araújo Silvério pela colaboração na manutenção e monitoramento dos experimentos.

## 7. Referências Bibliográficas

- Ab'Saber, A. N. (1970) Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. São Paulo, Geomorfologia, n. 20: 1-26.
- Battany, M. C. & Grismer, M. E. (2000a). Rainfall runoff erosion in Napa Valley vineyards: effects of slope cover and surface roughness. *Hydrological Processes*, n. 14, p. 1289-1304.
- \_\_\_\_\_. (2000b). Development of a portable field rainfall simulator for use in hillside vineyard runoff and erosion studies. *Hydrological Processes*, n. 14, p. 1119-1129.
- Bertoni, J. & Lombardi Neto, F. (1990) Conservação do solo. São Paulo: Ícone, 355p.



- Boardman, J. & Robinson, D. A. (1985). Soil erosion, climatic vagary and agricultural change on the South Downs around Lewes and Brighton, autumn 1982. *Applied Geography*, n. 5, 243-258.
- Bryan, R. B. (2000) Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology*, n. 32, p. 385-415.
- Burt, T.P & Walling, D. E. (1981) Catchment experiments in fluvial geomorphology: a review of objectives and methodology. in Burt, T.P & Walling, D. E. (org) *Catchment experiments in fluvial geomorphology*. Editor Geo-Books, Norwich, 3-18.
- Cassetti, V. (1983) Algumas considerações a respeito dos fenômenos pluvio-erosivos em Goiânia – Goiás. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, n. 3, 161 – 180.
- Castro, N. M. R., Auzet, A. V., Chevallier, P., Leprun, J. C. (1999). Land use change effects on runoff and erosion from plot to catchment's scale on the basaltic plateau of Southern Brazil. *Hydrological Processes*, n. 13, p. 1621 – 1628.
- Chorley, R. J. (1978) The hillslope hydrological cycle. in KIRKBY, M. J. (org) *Hillslope Hydrology*. Editora John Wiley & Sons, New York, 1-42.
- Curi, N., Larach, J. O. I., Kämpf, N. Moniz, A. C., Fontes, L. E. F. (1993) *Vocabulário de ciência do solo*. Campinas: SBCS, 89p.
- Dalrymple, J. P., Blong, R. J., Conacher, A. J. (1968) A hypothetical nine unit land surface model. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, n. 12, p. 60-76.
- De Ploey, J. & Gabriels, D. (1980) Measuring soil loss and experimental studies. In: Kirkby, M. J. & Morgan, R.P.C. (org). *Soil erosion*. Editor John Wiley & Sons, London, 63-108.
- Gregory, K. J. (1992) *A natureza da geografia física*. São Paulo: Bertrand Brasil, 367p.
- Guerra, A. T. G. (1995) Processos erosivos nas encostas. in Guerra, A. T. G.; Cunha, S. B. (org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2 ed: 149-209.
- Hudson, N. W. (1961). An introduction to the mechanics of soil erosion under conditions of sub-tropical rainfall. *Rhod. Sci. Ass.*, n. 49, p. 15-25.
- Hudson, N. W. (1993). Field measurement of soil erosion and runoff. *FAO, Soils Bulletin*, Rome, n. 68: 139 p.
- Knighton, D. (1998) *Fluvial forms and processes: a new perspective*. London: Arnold, 383p.
- Larsen, M. C., Torres-Sánchez, A. J., Concepción, I. M. (1999) Slopewash, surface runoff and fine-litter transport in forest and landslide scars in humid tropical steeplands, Luquillo experimental forest, Puerto Rico. *Earth Surf. Process. Landforms*, n. 24, 481-502.
- Le'onard, J., Ancelin, O., Ludwig, B., Richard, G. (2006) Analysis of the dynamics of soil infiltrability of agricultural soils from continuous rainfall-runoff measurements on small plots. *Journal of Hydrology*, n. 326, 122–134.
- Mackensen, J., Klinge, R., Ruhayat, D., Fölster, H. (2003). Assessment of management-dependent nutrient losses in tropical industrial tree plantations. *Ambio*, v. 32, n. 2, 106-112.
- Martins, S. G, Silva, M. L. N., Curi, N. Ferreira, M. M., Fonseca, S., Marques, J. J. G. M. (2003). Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). *R. Bras. Ci. Solo*, n. 27, 395-403.
- Martz, L. W. (1992). The variation of soil erodibility with slope position in a cultivated Canadian prairie landscape. *Earth Surf. Process. Landforms*, n. 17: 543–556.
- McCaig, M. (1985) Soil properties and subsurface hydrology. in: Richards, K.S.; Arnett, R. R. E Ellis, S. *Geomorphology and soils*. Editor Allen & Unwin, London: 121-140.
- Moresco, M. D. & Cunha, J. E. (2003) Setorização morfoedológica e indicadores de riscos à erosão. *Geografia*. Londrina, n. 12 (2): 106-120.
- Morgan, R.P.C. (1977). Soil erosion in the United Kingdom: field studies in the Silsoe area, 1973-75. *Nat. Coll. Agric. Eng. Silsoe Occasional Paper*, n. 41p.
- Morgan, R.P.C. (2005). *Soil Erosion and Conservation*. Blackwell, Oxford. 304p.
- Nimer, E. (1977) Clima. in: *Geografia do Brasil: Região Sul*. Editora IBGE, Rio de Janeiro, v.5, 35-79.
- Richter, G & Negendank, J. F. W. (1977). Soil erosion processes and their measurement in the German area of the Moselle River. *Earth Surf. Process. Landforms*, n. 2, 261-278.
- Silva, I. F., Andrade, A. P., Campos Filho, O. R., Oliveira, F. A. P. (1986). Efeito de diferentes coberturas vegetais e de práticas conservacionistas no controle da erosão. *R. Bras. Ci. Solo*, n. 10, 289-292.

- Silva, J. G. & Botelho, R. G. M. (1998) Variação do conteúdo de matéria orgânica em horizonte Ahúmico ao longo de uma vertente em Petrópolis – RJ. Geosul. Florianópolis, n. 14 (27): 515-517, (edição especial).
- Simepar (Sistema Meteorológico do Paraná) (2002). Previsão climática para o Estado do Paraná.
- Sorrenson, W. J. & Montoya, L. J. (1989). Implicações econômicas da erosão do solo e do uso de algumas práticas conservacionistas no Paraná. Boletim técnico n. 21. Londrina, IAPAR, 110p.
- Thomaz, E. L. (2005a) Caracterização do meio físico da bacia do Rio Guabiroba: ensaio empírico-cartográfico como fundamento ao estudo de processos. in: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11. 2005, São Paulo. Relação de Trabalhos. São Paulo: Departamento de Geografia/ FFLCH/USP, p.1616-1631. 1 CD-ROM.
- Thomaz, E. L. (2005b). Processos hidrogeomorfológicos e o uso da terra em ambiente subtropical – Guarapuava – PR. São Paulo, 297 f. Tese (Doutorado em Ciências, área Geografia Física) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. (não publicado).
- Vieira, S. (1999) Estatística experimental. São Paulo: Atlas, 185p.
- Zaslavsky, D. & Sinai, G. (1981). Surface hydrology: I – Explanation of phenomena; II – Distribution of raindrops; III – Causes of lateral flow; IV – Flow in sloping, layered soil; V – In-surface transient flow. Journal of the Hydraulics Division American Society of Civil Engineers. n. 107, p. 1-93.