



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
COORDENADORIA DE INFORMAÇÕES TÉCNICAS,
DOCUMENTAÇÃO E PESQUISA AMBIENTAL
INSTITUTO GEOLÓGICO

BOLETIM Nº 9

**A EROSÃO ACELERADA EM
CAÇAPAVA — SÃO PAULO**

MAY CHRISTINE MODENESI
SILVIA JORDÃO

São Paulo
1992



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
COORDENADORIA DE INFORMAÇÕES TÉCNICAS,
DOCUMENTAÇÃO E PESQUISA AMBIENTAL
INSTITUTO GEOLÓGICO

BOLETIM Nº 9

A EROSÃO ACELERADA EM CAÇAPAVA — SÃO PAULO

**MAY CHRISTINE MODENESI
SILVIA JORDÃO**

**São Paulo
1992**

INSTITUTO GEOLÓGICO
Endereço / Address: Av. Miguel Stéfano, 3900
Caixa Postal 8772
São Paulo, SP — Brasil

EDITOR RESPONSÁVEL
Setembrino Petri

COPIDESQUE/REVISOR
Ana Maria Gonçalves dos Santos
ASSISTENTE DE PUBLICAÇÕES
Kioko Kusuki de Oliveira

Solicita-se permuta
On demande l'échange
Eschange desired

Modenesi, May Christine

A Erosão acelerada em Caçapava — São Paulo /por/ May Christine Modenesi e
Silvia Jordão. São Paulo, Instituto Geológico, 1992.
p. ilus. (Boletim, 9)

Bibliografia.

1 Erosão dos solos 2 Mapa de erosão 3 Erosão laminar 4 Caçapava 5 Médio Vale
do Paraíba 6 Erosão em pastagens

SUMÁRIO / CONTENTS

RESUMO	5
ABSTRACT	5
1 INTRODUÇÃO	7
2 METODOLOGIA	8
3 AS DECLIVIDADES	9
4 O SUBSTRATO E OS SOLOS	9
5 A CARTA DE EROSÃO	11
6 ESCOAMENTO PLUVIAL E EROSÃO ACELERADA	21
7 MOVIMENTOS DE MASSA E EROSÃO ACELERADA	26
8 A DEPOSIÇÃO ACELERADA	27
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

RESUMO

Este mapeamento semidetalhado — escala 1:10.000 —, efetuado ao sul de Caçapava, numa área de aproximadamente 24km², tem por objetivo desenvolver metodologia geomorfológica de levantamento e cartografia da erosão acelerada, adaptada às condições tradicionais de escassez de dados e recursos financeiros. Fotointerpretação e trabalhos de campo integram-se em todas as fases da pesquisa. "Overlays" geomorfológicos constituem a base do levantamento. Processos, formas e fatores foram mapeados em conjunto, tornando visíveis as suas relações e imprimindo um caráter dinâmico à carta de erosão. Informações sobre distribuição e tipo da erosão acelerada, escoamento pluvial e fluvial, morfologia, declividade, solos, ação de organismos (cupins e formigas) e uso do solo foram cartografadas em cores. Os limites das classes de declividade das vertentes baseiam-se nas relações encontradas entre ângulo de inclinação, forma da vertente e predominância de determinados processos.

A erosão acelerada nos arredores de Caçapava reflete o impacto de mais de duzentos anos de intenso e predatório uso do solo. O processo erosivo mais importante e generalizado é a erosão laminar por ação do escoamento pluvial anastomosado. As relações deste tipo de erosão com o fator solo são pouco evidentes e mascaradas pela interferência mais forte da vegetação e uso do solo. O pisoteio é o principal acelerador da erosão nos pastos, intensifica e concentra o escoamento, favorecendo a formação de ravinas. Ravinamentos ocorrem quase sempre nos locais de convergência do escoamento superficial, determinados por fatores naturais, pela ação antrópica ou pelos hábitos de pastio do rebanho. Relações entre processos de ravinamento e solos são nítidas apenas na diferenciação de tipo e evolução das ravinas. As propriedades dos solos são o fator condicionante de movimentos de massa e fenômenos de erosão subterrânea observados no terço inferior das encostas. Efeitos combinados de rastejo e pisoteio determinam a microtopografia em "terracettes" característica das pastagens sobre vertentes com declividade superior a 7°.

Nas colinas sedimentares de Caçapava, assim como em todo o médio vale do Paraíba do Sul, a erosão acelerada é menor apenas nas áreas de pasto e de cultivo onde se empregam técnicas de manejo adequadas e práticas conservacionistas.

ABSTRACT

The aim of this semi-detailed survey is to develop a geomorphological methodology for surveying and mapping accelerated erosion, adapted to conditions of limited resources and information. The work comprises an area of 24 km² in the middle valley of the Rio Paraíba, south of the city of Caçapava. At all times close integration was maintained between interpretation of aerial photos and field work. Erosional processes, forms and factors were mapped together, evincing their relationships and giving the map a dynamical dimension. Informations on distribution and type of accelerated erosion, runoff, relief features, slope steepness, soil types and action of organisms (termites and ants), as well as landuse, were mapped in color. The limits of slope angle classes were deter-

mined taking into account the relationships between slope angle and shape and geomorphic processes.

Erosion patterns around Caçapava result from over two hundred years of intensive and predatory landuse. The most important and generalized erosional process is sheet erosion by anastomosed overland flow. The relationships between this type of erosion and soil properties are little evident, masked by the influence of plant cover and landuse. Cattle trampling is the principal factor of erosion in pastures, by intensifying and concentrating overland flow and favoring gullying. Gullying occurs almost always in sites of convergence of overland flow, determined by natural factors, by human action or by the grazing habits of animals. Close relationships between gullying and soil properties are noticed only with regard to the differentiation of types and evolution of gullies. Soil characteristics are the relevant factor in mass movements and soil piping seen on the lower third of slopes. Combined effects of creep and trampling determine the microtopography in terracettes, which characterizes pastures on slopes with angles over 7° .

On the sedimentary hills around Caçapava accelerated erosion is mitigated only by adequate land management and conservation practices.

1 INTRODUÇÃO

O Vale do Paraíba é uma das mais degradadas áreas do Estado de São Paulo, marcada pelo impacto de sucessivas fases de ocupação, relacionadas ao desenvolvimento da cultura cafeeira (século 19) e da criação do gado (a partir de fins do século 19) e, mais recentemente (1940-1950), à industrialização e urbanização. Sessenta e cinco por cento da área do município de Caçapava é hoje ocupada por pastagens, praticamente sem árvores. O pastoreio é extensivo, com densidade aproximada de 0,9 cabeça/hectare (Cooperativa de Caçapava, 1989/90). A importância da erosão acelerada no vale tem sido reconhecida por vários autores, entre eles RUELLAN (1953) e BRAUN (1961).

O levantamento da erosão acelerada foi executado no médio vale do Paraíba, em área de sedimentos terciários da Bacia de Taubaté. Em Caçapava, o "rift" do Paraíba constitui um corredor de direção geral NE/SW com largura aproximada de 18 km, deprimido entre a serra do Jambeiro (1.000m) e a serra do Palmital (1.600m). Na porção central do vale, um relevo de pequena amplitude (de 50 a 100m), com colinas semimamelonizadas de topo chato (560 a 680m) e vertentes de inclinação suave (geralmente de 6 a 11°) (Fotos 1, 2 e 3) contrasta com os morros arredondados das bordas da bacia (Foto 2), domínio de amplitudes maiores (150 a 200m) e de declividades mais acentuadas (até 40°). As vertentes das colinas de Caçapava têm perfil convexo-côncavo, com rampas terminais geralmente pouco desenvolvidas, de declividade inferior a 5° e, algumas vezes, com pequeno setor superior retilíneo (13 a 25°) (Foto 1). No topo das colinas sedimentares ocorrem depressões úmidas fechadas (pseudodolinas), formas típicas do vale do Paraíba.

Originalmente cobertas por mata tropical pluvial, as colinas estão hoje revestidas por pastagens pouco cuidadas, constituídas principalmente por *Paspalum notatum* (grama batatais), *Melinis minutifolia* (capim gordura) e *Brachiaria* (*B. decumbens*, *B. humidicola* e *B. ruziensis*), gramíneas que se adaptam a solos pouco férteis e têm crescimento agressivo. Brejos e arrozais dominam as várzeas. Apenas uma reserva de mata persiste, no limite leste da área mapeada, na fazenda Borda da Mata.

O clima da área de Caçapava — tipo Cwa, quente com inverno seco, da classificação de Köppen (SETZER, 1949) — apresenta média anual em torno de 21°C, médias de 17°C no mês mais frio (julho) e superior a 23,5°C no mês mais quente (fevereiro). A posição geográfica imprime certa originalidade à distribuição das chuvas. No período 1976 — 1984 (Bairro Santa Luzia, posto DAEE 2-001), a precipitação anual oscila de 1.087 mm (1984) a 2.129 mm (1983), com média de 1.406 mm. Irregularmente distribuídas durante o ano, as chuvas apresentam grande variação dos totais mensais, tanto na estação chuvosa como na estação seca: por exemplo, os índices pluviométricos dos meses de fevereiro, julho e dezembro oscilam, respectivamente, de 13 a 233 mm, de 0,6 a 124 mm e de 11 a 356 mm. Entretanto, concentração de 60 a 82% das chuvas de outubro a março permite reconhecer uma estação chuvosa.

O ritmo extremamente irregular das precipitações — característico desta porção do vale do Paraíba (CONTI, 1975) — pode fazer com que o maior número de dias chuvosos seja registrado na estação seca (inverno). Por outro lado,

períodos curtos de seca podem ocorrer dentro da fase úmida que coincide com o verão. Índices pluviométricos superiores a 30 mm por dia são freqüentes no verão (até 100 mm, em 23.12.1979), mas também foram registrados durante a estação seca (geralmente até 50 mm, com máxima de 73,6 mm, em 19.04.1977). Neste caso, o poder erosivo das chuvas é aumentado pela redução da vegetação e conseqüente maior exposição dos solos.

2 METODOLOGIA

A experiência realizada nas colinas sedimentares de Caçapava, numa área de aproximadamente 24 Km² ao sul da cidade, tem por objetivo desenvolver metodologia geomorfológica de mapeamento da erosão acelerada e contribuir para a solução dos desequilíbrios geocológicos desencadeados pela interferência humana no vale do Paraíba.

Os levantamentos de erosão do solo são um tipo de avaliação do risco de erosão e, dependendo da sua finalidade, podem ser feitos em diferentes escalas. Levantamentos semidetalhados, como o ora realizado na escala 1:10.000, permitem identificar a extensão e o tipo de erosão acelerada e avaliar a importância relativa dos vários fatores que influenciam as perdas de solo (MORGAN, 1986).

A metodologia adotada reflete a influência de propostas teóricas de vários autores (STOCKING, 1973; RAO, 1975; RAPP, 1975; VERSTAPPEN, 1983; MORGAN, 1986, entre outros) e de sistemas de mapeamento utilizados em áreas tropicais (principalmente WILLIAMS & MORGAN, 1976). Processos, formas e fatores erosivos foram mapeados em conjunto, tornando visíveis as suas relações e imprimindo um caráter dinâmico à carta de erosão. Fotointerpretação e trabalhos de campo desenvolveram-se de modo integrado em todas as fases da pesquisa. Foram utilizadas fotografias aéreas do Levantamento Aerofotogramétrico do Estado de São Paulo (Secretaria da Agricultura — Instituto Agrônomico), de junho de 1973, escala 1:25.000. A delimitação da área de estudo foi feita sobre fotomosaicos. O exame estereoscópico das fotos aéreas desenvolveu-se paralelamente à elaboração de legenda em cores, apropriada ao registro de feições do escoamento pluvial e fluvial, morfologia, feições erosivas, áreas de sedimentação, feições antrópicas, inclusive uso do solo. Os "overlays" geomorfológicos foram redesenhados sobre as folhas topográficas 1:10.000. Dados obtidos em campo foram diretamente plotados sobre estas folhas. Diferença de escala entre fotos aéreas e cartas topográficas e necessidade de atualizar dados de uso do solo — muito defasados em relação à cobertura aerofotogramétrica — levaram a uma intensificação dos trabalhos de campo. A extrapolação das observações foi pequena.

A cartografia dos solos quanto à erodibilidade baseou-se no mapeamento 1:10.000 — de "tipos de solo" ou séries monotípicas — executado pelo Instituto Agrônomico de Campinas (VERDADE *et al.*, 1961) e nos dados das análises físicas e químicas destes solos. A erodibilidade foi inferida das propriedades dos solos (MIDDLETON, 1930; WISCHMEIER & MANNERING, 1969 e MORGAN, 1986, entre outros) que, com a posição topográfica, declividade das vertentes e ação de homens e animais, define sua maior ou menor resis-

tência aos processos de desagregação e transporte. Não foram feitas medidas de campo de resistência ao cisalhamento e capacidade de infiltração.

O especial significado que o fator declividade adquire em regiões tropicais (HUDSON & JACKSON, 1959; LAL, 1987), onde as chuvas e os efeitos das enxurradas são mais intensos, justifica o tratamento complementar, dado a este fator erosivo, com a representação espacial da declividade das vertentes. O mapeamento executado sobre folhas topográficas 1:10.000, com curvas de nível de 10m de equidistância — segundo o método descrito por DE BIASI (1971) —, foi incorporado à carta de erosão.

3 AS DECLIVIDADES

A distribuição espacial da declividade das vertentes é apresentada na carta em 3 classes: 0/6°, 6/14° e 14/22°, incluindo nesta última as declividades superiores a 22°, presentes apenas em pontos isolados da área mapeada (menos de 0,4%). Os limites das classes foram definidos com base nas relações encontradas entre ângulo de declive, forma de vertente e predominância de determinados processos. A classificação é válida apenas para o propósito específico de levantar a erosão acelerada na área de colinas sedimentares ao sul de Caçapava, caracterizada por relativa homogeneidade morfológica e pela atuação de processos geomórficos semelhantes. A amplitude das classes reflete a dificuldade de se estabelecerem limites para a ocorrência de cada processo, uma vez que pode haver superposição dos intervalos característicos.

Declividades de 0 a 6° caracterizam topo de colina e setor basal de vertente — principalmente rampas de colúvio —, áreas onde predominam processos de erosão laminar; ravinamentos raros e pouco desenvolvidos podem ocorrer nas rampas. Os setores médios das vertentes, com declividades entre 6 e 14°, são áreas preferenciais de ocorrência de ravinias; a partir de 7° começam a aparecer "terraces". Declividades de 14° a 22° correspondem aos setores mais íngremes das altas vertentes e do interior dos anfiteatros, caracterizados pela presença generalizada de "terraces" e por maior importância dos movimentos de massa.

4 O SUBSTRATO E OS SOLOS

O comportamento dos solos em face da erosão, avaliado a partir da análise de suas propriedades, permitiu agrupar os principais tipos de solo da área ao sul de Caçapava em 3 unidades de mapeamento. A primeira ocorre sobre sedimentos de textura variada do sistema fluvial meandrante da Bacia de Taubaté — Formação Pindamonhangaba (RICCOMINI, 1989) — e reúne os latossolos argilosos com B friável, algumas vezes barrentos em superfície, porosos, profundos e bem drenados, incluídos em 8 dos tipos de solo mapeados por VERDADE *et al.* (1961) — séries Cantagalo, Gleba, Guatemala, Lorena, Paturi, Pinhão, Polêmica e Ponte Alta. Algumas destas séries — Cantagalo, Lorena e Paturi — possuem horizontes escuros enterrados. Os solos das baixas vertentes — Gleba e, principalmente, Guatemala — diferenciam-se por apresentar profundidade média e drenagem moderada.

Solos desenvolvidos sobre manchas de sedimentos lacustres da Formação Tremembé (ALMEIDA, 1958), freqüentes nas baixas e médias vertentes, constituem uma segunda unidade de mapeamento. Classificados como intermediários latossólico-podzólicos — série Tumirim de VERDADE *et al.* (1961) —, estes solos apresentam textura argilosa, estrutura granular em superfície e subangular em profundidade, ambas fortemente desenvolvidas, perfil raso com horizonte Bt e drenagem interna impedida a menos de 1 m, no contato com o substrato. Minerais argilosos do grupo montmorilonita têm sido identificados no substrato (PAIVA NETO & NASCIMENTO, 1956, e SUGUIO, 1969), na fração argila do horizonte Bt pode ocorrer ilita (VERDADE & HUNGRIA, 1963).

A terceira unidade reúne os solos mal drenados, geralmente argilosos, mais ou menos ricos em matéria orgânica — séries Barro de Telha, Mosqueada, Capituva e Leitosa, dos mesmos autores —, que ocorrem sobre materiais aluviais de várzeas e depressões fechadas.

Estas três unidades de mapeamento agrupam solos com erodibilidade semelhante, favoráveis ou desfavoráveis à ação de determinados processos de erosão acelerada. De modo geral, a erodibilidade é maior nos solos com horizonte Bt, fato confirmado pelos resultados do estudo comparativo de LOMBARDI & BERTONI (1975), sobre solos com horizontes B latossólico e B textural no Estado de São Paulo.

Latossolos da primeira unidade são relativamente resistentes à ação erosiva das águas do escoamento pluvial. Entretanto, friáveis e pouco coesos, tornam-se, uma vez desprotegidos pela vegetação, facilmente removíveis e vulneráveis a processos de erosão laminar e ravinamento. Nos solos rasos do segundo grupo, a diminuição da permeabilidade ao nível do horizonte Bt e do substrato argilito favorece a saturação rápida da parte superior dos perfis e contribui para intensificar o escoamento superficial e, conseqüentemente, a erosão laminar e os ravinamentos. Por outro lado, a diminuição da resistência ao cisalhamento, por saturação, pode desencadear movimentos de massa. Tais características e a diferença textural entre os horizontes A e Bt facilitam a ocorrência de fenômenos de erosão subterrânea, com formação de canais e cavidades. Pouco afetados pela erosão acelerada, os solos das várzeas e depressões fechadas — reunidos na terceira unidade de mapeamento — juntamente com os solos das baixas vertentes, incluídos na primeira unidade, estão mais sujeitos a processos de agração.

Atividade biológica intensa caracteriza os solos da área do levantamento. Cupins e formigas estão presentes em todas as partes dos interflúvios e sobre os diferentes tipos de solo (Fotos 1 e 2). A proliferação destes organismos no vale do Paraíba teria sido intensificada pelo desmatamento e, mais tarde, pelo abandono dos pastos (VERDADE *et al.*, 1961).

Formigas perfuram os solos e constroem "panelas" e galerias, removendo material de profundidade e depositando-o, solto, em superfície. Os cupins, além de formarem redes de tubos subsuperficiais, constroem montículos típicos (Fotos 4 e 5). O material dos cupinzeiros — cimentado por saliva e outras excreções — é denso, com baixa porosidade e estrutura maciça (Noirot, 1970 apud LAL, 1987). Sua superfície, desprovida de vegetação, apresenta crostas que impedem a infiltração da água e acentuam o escoamento superficial e a

erosão. Por outro lado, a rede de canais subterrâneos aumenta a infiltração, diminuindo a erosão dos solos. A ação das formigas é menos conhecida. Além de afetar a infiltração da água no solo e modificar a textura do horizonte superficial, trazendo material de subsuperfície, coloca material desagregado à disposição da erosão. Os efeitos ambivalentes desses organismos sobre os processos de erosão acelerada variam, principalmente em função das espécies, de seus hábitos alimentares (LAL, 1987) e das propriedades dos solos.

5 A CARTA DE EROSÃO

A carta contém informações sobre distribuição e tipo da erosão acelerada, deposição, escoamento pluvial e fluvial, características morfológicas das vertentes — comprimento e declividade, curvatura em plano e perfil, microrrelevo —, relevo, erodibilidade dos solos, ação de organismos (cupins e formigas) e uso do solo. A legenda foi elaborada em cores: azul para as feições do escoamento superficial, verde para o relevo e as formas de vertente, vermelho para erosão e deposição aceleradas, preto para as feições antrópicas — inclusive uso do solo — e cinza para as curvas de nível e cotas de altitude. Os tipos de solo foram representados em cores de fundo, com gradações diversas de verde. Por problemas de representação gráfica, a legenda da erosão acelerada não obedece à escala. O levantamento foi executado de forma mais detalhada nas pastagens, que correspondem a quase 60% da área mapeada. Nas áreas de reflorestamento e de culturas variadas as observações foram genéricas.

“Overlays” geomorfológicos constituíram a base do levantamento. Especial atenção foi dada ao escoamento efêmero, com restituição detalhada da rede de canais das cabeceiras pluviais. Observações de campo evidenciaram a degradação dos nichos de nascente — mapeados por fotointerpretação — e a ocorrência freqüente de um nicho seco a montante do ativo. As depressões úmidas fechadas do topo das colinas (pseudodolinas) estão representadas por um único símbolo. Anfiteatros de fundo chato e úmido — formas semelhantes mas abertas — têm os seus elementos de forma mapeados separadamente (rupturas de declive das vertentes e brejo da base). Reconhecidos inicialmente em campo, os degraus estruturais foram estendidos lateralmente por fotointerpretação, graças à sua continuidade, nítida nas fotos aéreas (Foto 2).

Ativa em praticamente todas as pastagens ao sul de Caçapava, a erosão laminar (“sheet erosion”) — relacionada a um escoamento anastomosado (Foto 6) sem filetes (“rills”) — teve a sua intensidade determinada, principalmente, pelo tipo de cobertura proporcionado pelas diferentes forrageiras. Erosão laminar intensa (Fotos 6, 7 e 8) é reconhecida nas fotos aéreas por tons claros de cinza — distribuídos sem um padrão direcional (BERGSMA, 1974) — resultantes da ausência ou rarefação da cobertura vegetal e de remoção da parte superficial dos solos. A erosão fraca ou moderada (Foto 9) só é detectada no campo. Pelas suas dimensões — 20 a 250 m de comprimento, 1 a 7 m de largura e 1 a 5 m de profundidade — as ravinas podem ser individualizadas diretamente nas fotografias aéreas. Ravinamentos ativos apresentam margens íngremes, desprovidas de vegetação, ravinas estabilizadas ocorrem sempre parcial ou totalmente vegetadas. A erosão atuante sobre terra cultivada e solo nu foi representada na legenda por um símbolo único, que reúne o conjunto de pro-

cessos habitualmente definidos como "rill and interrill erosion", expressão aqui traduzida por "erosão em filetes e interfiletes", numa tentativa de ajuste à nova terminologia de processos. Esta terminologia (MEYER *et al.*, 1975) permite precisar a localização da fonte de sedimentos dentro do perfil de solo e os processos atuantes (1) nos filetes — materiais de subsuperfície, escoamento concentrado — e (2) nas áreas interfiletes ("interrill") — materiais de superfície, impacto das gotas de chuva ("rainsplash") e escoamento em lençol ("sheet-wash"). Fenômenos de erosão subterrânea ("piping") e pequenos escorregamentos (Foto 2) — com até 1,5/2 m de largura e 0,60/1 m de altura — foram reconhecidos no campo e cartografados de forma esquemática: a localização dos símbolos não corresponde à localização exata das formas.

Microformas em "terraces" (Fotos 1 e 4) são comuns nas vertentes com declividade superior a 7° e, principalmente, 9/10°. Pequenos degraus, com alguns decímetros de largura e altura de 20,50 e até 65 cm, estendem-se em alinhamentos anastomosados ao longo das vertentes. Ao contrário dos degraus estruturais, os "terraces" são descontínuos e nem sempre visíveis nas fotos aéreas.

Trilhas de pisoteio constituem feições lineares contínuas (Fotos 3 e 5) bem marcadas nas fotografias aéreas. A passagem constante do gado resulta na destruição da vegetação e da parte superficial do solo, com rebaixamento da superfície e formação de sulcos com profundidade entre 5 e 30 cm. Nas vertentes mais inclinadas as trilhas associam-se a desníveis em degraus, formando "terraces".

Formas acanaladas, revestidas pelo mesmo tipo de vegetação do resto das vertentes, são muito nítidas nas fotos aéreas; ocorrem nas médias encostas — com largura de 1 a 2,5 m, profundidade de 30 a 50 cm e equidistância de 1 a 4 m e, excepcionalmente, 10 m — e desaparecem suavemente, com a diminuição da declividade. Estes canais rasos seriam vestígios de antigas práticas de conservação agrícola, provavelmente de "canais escoadouros vegetados" como os descritos por BERTONI & LOMBARDI NETO (1990).

Velhos caminhos e carreadores — passagens livres deixadas nos cafezais e usadas pelos carros de boi — constituem alinhamentos conspícuos, concentradores do escoamento superficial. Dispostos ao longo das curvas de nível ou segundo a declividade das vertentes, os carreadores são feições erosivas muito comuns no vale do Paraíba. Com até 4 m de profundidade, fundo chato e margens íngremes, podem estar parcial ou totalmente estabilizados, recobertos por vegetação. As feições ativas são reconhecidas por apresentar fundo dissecado e margens nuas ou cobertas por barba-de-bode (*Aristida pallens*) (Foto 10).

Estreitamente relacionada à erosão dos solos, a erosão lateral fluvial escava, nas margens côncavas, barrancas com menos de 2 m de altura em terraços de várzea e, com menor frequência, nas vertentes. Estas feições não são visíveis nas fotos aéreas 1:25.000 e só foram identificadas no campo.

Importantes geradores de microrrelevo, os cupinzeiros e formigueiros estão representados na carta de erosão por símbolos, colocados nas suas áreas de maior concentração. Os primeiros, com altura de 1,20 a 1,50 m, foram identificados nas fotos por pequenas variações de textura e cor — granulada, de tom mais claro; ocorrem em concentrações variadas de até 3 ou 4 m de equi-



FOTO 1 — Colina semimamelonizada com topo chato e setor superior retilíneo, típica da área de latossolos e sedimentos arenoargilosos da Bacia de Taubaté. "Terracettes" no setor íngreme. Pasto degradado com barba-de-bode, cupinzeiros e formigueiros.



FOTO 2 — Formas de vertente características do substrato Tremembé-Tumirim, com degraus estruturais contínuos e movimentos de massa na borda dos degraus estruturais. Ao fundo, morros arredondados da borda da Bacia. Pasto degradado, com superfície bosselada, a exemplo da figura anterior.



FOTO 3 — Feixe de trilhas de pisoteio desenvolvido sobre latossolos, nas proximidades de um curral. Sulcos e ravinas formam-se nas trilhas paralelas à maior declividade da vertente.



FOTO 4 — Cupinzeiros e formigueiros em pasto de grama batatais. Canaletes vegetados em torno da saliência concentram o escoamento das águas de montante e do próprio corpo do cupinzeiro.



FOTO 5 — Pasto de grama batatais cortado por trilha rasa, com depósitos de areia branca. Note-se a vegetação invasora colonizando o material trazido à superfície pelas formigas e a pequena depressão que concentra o escoamento em torno do cupinzeiro.



FOTO 6 — Leques de areia branca, em pasto descontínuo de *brachiaria*, evidenciam escoamento anastomosado e erosão laminar intensa.



FOTO 7 — Erosão laminar intensa em pasto degradado, com rarefação da cobertura, exposição de raízes e estolhos de grama batatais e formação de degraus hidráulicos.



FOTO 8 — Degraus hidráulicos sobre solo nu, sem horizonte A, evidenciam escoamento anastomosado e erosão laminar intensa. Nota-se encrustamento superficial e exposição de pequenas raízes.



FOTO 9 — Pasto de grama batatais com pequenos depósitos descontínuos de areia branca. Exemplo de erosão laminar fraca sobre cobertura contínua.



FOTO 10 — Ravina contínua desenvolvida sobre velho carreador de café. Perfil transversal, com setor basal em U, evidencia reincisão pelo escoamento pluvial concentrado. Margens revestidas por barba-de-bode, cobertura típica das áreas degradadas, sem horizonte A.



FOTO 11 — Leque de sedimentos, em frente de ravina, mascarado pelo crescimento rápido da vegetação herbácea.



FOTO 12 — Caminho cortado por saúva expõe os estolhos da grama batatais. O pequeno leque de areia e detritos vegetais, formado sobre a trilha, testemunha a concentração incipiente das águas pluviais no pasto e seu poder erosivo.



FOTO 13 — Ravina em colina de topo saliente, típica da área de solos profundos e friáveis. Pasto descontínuo sob intenso pisoteio, com exposição do solo e destruição do horizonte A. Forma estabilizada pela vegetação e reativada pela ação de queimadas.



FOTO 14 — Buraco formado por colapso do teto de tubos subsuperficiais, em solos rasos e argilosos da Série Tumirim. Folhas secas de bambu — em primeiro plano — evidenciam a captação das águas superficiais pelo sistema subterrâneo.



FOTO 15 — Furos de formigas e cupins em latossolos, na parede lateral de uma ravina. A rede de canais subterrâneos, formada por estes organismos, tem efeitos ambientais sobre os processos de erosão acelerada.



FOTO 16 — Trilhas de pisoteio na cabeceira de movimento de massa típico da área de solos argilosos rasos. Note-se a concentração do escoamento nas trilhas sulcadas.

distância. Formigueiros, principalmente de saúvas, com 4, 5 e até 7 m de diâmetro, só podem ser reconhecidos no campo.

Temporariamente depositados nas vertentes, os materiais correlativos da ação dos processos de erosão acelerada são de difícil identificação nas fotos e no campo. Os pequenos e raros leques arenosos existentes a jusante de áreas intensamente erodidas, com solo nu, ou na saída de ravinamentos, foram mapeados no campo.

Defasagem de mais de 15 anos entre a cobertura aerofotogramétrica (1973) e a reambulação (1988, 1989), assim como a dinâmica do uso do solo na área de Caçapava, impediram a utilização plena das fotos no mapeamento do uso do solo. As áreas de cultura compreendem plantações de forrageiras — sobretudo capim-elefante ou napier (*Pennisetum purpureum*) e cana-de-açúcar — e apenas um pomar comercial. Áreas mapeadas como chácaras incluem instalações e culturas variadas, principalmente mandioca, café e milho. Todos os tipos de pastagem foram reunidos numa só legenda. A diferenciação dos pastos de cobertura contínua e descontínua é expressa em termos de intensidade dos processos de erosão laminar: fraca a moderada nos primeiros e intensa nos últimos. O uso dos solos não foi mapeado nas várzeas, ocupadas, apenas em alguns trechos, pela rizicultura.

6 ESCOAMENTO PLUVIAL E EROSÃO ACELERADA

A importância da erosão acelerada nos arredores de Caçapava reflete as características tropicais do clima, principalmente a intensidade das chuvas e a sazonalidade de sua distribuição. Nesta área ocorrem os dois tipos de eventos pluviais considerados por MORGAN (1986) — a partir de estudos e medidas de erosão (MORGAN, 1977; RICHTER & NEGENDANK, 1977) — como os de maior impacto erosivo: chuvas curtas e intensas e chuvas prolongadas de baixa intensidade. A distribuição irregular das precipitações durante o ano contribui para aumentar o seu poder erosivo. Este é o caso das chuvas intensas que ocorrem isoladas em plena estação seca — encontrando solo ressecado e vegetação rarefeita — e das chuvas de verão observadas após pequenos períodos de estiagem ("verânico"), justamente quando os efeitos de seca são acentuados pela maior importância da evapotranspiração.

Nas colinas sedimentares de Caçapava, a erosão acelerada relaciona-se estreitamente à ação do escoamento superficial difuso. Por ocasião de chuvas intensas, um lençol de água recobre praticamente toda a superfície do solo e se organiza em torno dos obstáculos criados pelo microrrelevo e pela vegetação. O fluxo das águas é reorientado e subdividido em canais rasos, formando um lençol anastomosado entre as touceiras de capim, os pés de *Brachiaria* e sapé, os estolhos de grama, ou sobre a cobertura rasteira e contínua de grama batatais. Este tipo de escoamento parece corresponder ao segundo estágio do escoamento superficial descrito por CARSON & KIRBY (1972), ao tipo laminar-turbulento de VERSTAPPEN (1983), ou às definições de escoamento anastomosado feitas por MORGAN (1986) e MOEYERSONS (1989). O escoamento anastomosado sobre pastos e campos em pousio, situados até mesmo no topo das colinas — praticamente plano ou com declividades inferiores a 2° —,

pode ser explicado por irregularidades criadas pelo arado e pelas construções de formigas e cupins.

Feições erosivas — modificação da textura da parte superficial dos solos por remoção dos finos, exposição de raízes e estolhos (Fotos 7 e 8), degraus hidráulicos (Fotos 7 e 8) (VITA-FINZI, 1964; SAVAT, 1976; e MOEYERSONS, 1989) — ou deposicionais, pequenas concentrações de areia e leques arenosos (Foto 11) de tamanhos variados sobre o solo ou a vegetação rasteira, testemunham a ação do escoamento anastomosado em todos os setores das vertentes. A erosão laminar é generalizada e torna-se especialmente intensa nas áreas de pasto degradado (Fotos 6 e 7), onde rarefação e irregularidade da cobertura afetam o regime hidráulico do escoamento, ativando padrões turbulentos, de maior poder erosivo (DE PLOEY *et al.*, 1976).

A cobertura vegetal é fator importante na determinação de tipo e intensidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, da erosão laminar. Entretanto, é um fator caracterizado por efeitos ambivalentes (TRICART, 1961 e DE PLOEY, 1981): a vegetação tanto protege o solo como pode estimular o escoamento, pela concentração da água na parte aérea das plantas. Este processo — “stemflow” — pode ser ativo até mesmo em cobertura herbácea (DE PLOEY, 1982). Como demonstram estudos experimentais (DE PLOEY *et al.*, 1976), o efeito protetor da vegetação só é efetivo acima de determinado grau de cobertura. Nas pastagens de Caçapava, a intensidade da erosão laminar depende do grau de cobertura do solo e da eficiência da proteção oferecida pelos diversos tipos de forrageiras. Fraca ou moderada sobre cobertura contínua (Foto 9) — nos pastos de grama batatais e, secundariamente, de *Brachiaria*, esta última se em pousio ou uso pouco intensivo — torna-se severa sobre cobertura descontínua (Fotos 6 e 7), em pastos de capim-gordura, ou em pastos degradados com barba-de-bode e/ou *Imperata brasiliensis* (sapé).

As relações entre as propriedades físicas dos solos e a erosão laminar são menos evidentes. A erosão laminar é intensa sobretudo em latossolos, cujas propriedades definem relativa resistência à erosão. Esta aparente contradição é explicada pela interferência dos fatores cobertura e uso do solo. No caso dos latossolos, a retirada da vegetação faz com que prevaleçam as características de friabilidade e baixa coesão e se altere profundamente o seu comportamento em face da erosão superficial.

O pisoteio é o mais importante fator acelerador da erosão nos pastos. O pisoteio reduz a cobertura vegetal e a diversidade das espécies — poupando apenas as mais resistentes e menos exigentes — e expõe o solo à ação direta das chuvas e do ressecamento pelo sol; compacta o terreno e modifica a estrutura dos solos; provoca encrostamento superficial (Foto 8) e impermeabilização. A concentração de trilhas de pisoteio nas áreas de cabeceira e em torno das ravinas (Foto 16) — relacionada a afloramentos de água usados como bebedouro —, com formação de crostas na superfície do solo, diminui a infiltração da água das chuvas e aumenta débito e poder erosivo do escoamento. Em conseqüência, pode agravar-se a vulnerabilidade de locais já sujeitos à erosão acelerada. O ressecamento do solo é responsável pela formação de gretas de contração (“desiccation cracks”) sobretudo nas áreas mais degradadas, com perfis truncados, sem horizonte húmico superficial. Nos solos desenvolvidos

sobre sedimentos da Formação Tremembé, este fenômeno é favorecido pela estrutura fortemente desenvolvida e presença de ilita no horizonte Bt (VERDADE & HUNGRIA, 1963).

Em Caçapava as trilhas de pisoteio atravessam os pastos em todas as direções (Fotos 3 e 5); muitas vezes, no sentido da maior declividade das encostas (Foto 3). Inicialmente pouco marcadas, com profundidade de alguns centímetros (Foto 5), as trilhas podem formar sulcos (Foto 17) de até 30 cm, com perfis em U cortados até o topo do horizonte B dos solos. Nas áreas de concentração de pisoteio, em torno de currais e nichos de fonte, a cobertura é rala e irregular — touceiras de capim, especialmente de barba-de-bode, isoladas em meio ao solo nu, pisoteado — e a erosão intensa, com destruição do horizonte superficial dos solos.

Trilhas de pisoteio, assim como caminhos abandonados e velhos carreadores são importantes feições concentradoras do escoamento superficial (Foto 16). A atividade de formigas e cupins em superfície também pode orientar e concentrar o escoamento superficial nas encostas. Caminhos cortados pelas saúvas nos pastos de grama batatais (Foto 12) formam lineamentos ligeiramente deprimidos nos quais, por ocasião das chuvas, ocorre turbilhonamento, com erosão do solo sob os estolhos de grama. No setor médio das vertentes, em declividade de 9 a 12°, formam-se pequenas depressões alongadas em torno dos cupinzeiros, canaletes vegetados por onde escoam a água de montante e do seu próprio corpo (Fotos 4 e 5). Nos dois casos, depósitos esparsos de areia desenvolvem-se no interior das depressões e pequenos leques arenosos podem ocorrer, por exemplo, no encontro destas feições com as trilhas de gado que sulcam os pastos (Foto 12), testemunhando o poder erosivo de um escoamento até certo ponto concentrado e, muitas vezes, turbulento.

Em Caçapava, o escoamento concentrado em filetes pouco incisivos é característico dos campos cultivados, mas pode ser observado em pequenas áreas de solo nu, presentes no setor retilíneo das altas encostas, na face íngreme de degraus estruturais e em áreas de pisoteio intenso; é também freqüente sobre movimentos de terra, na beira de estradas e em loteamentos. Uma primeira observação permite relacionar a "erosão em filetes e interfiletes", associada a este tipo de escoamento, à ausência de cobertura vegetal e à declividade de 8 a 21°; na beira de estradas, geralmente sobre o substrato, pode ocorrer em declividades menores.

A erosão acelerada nas áreas de cultivo é favorecida por modificações introduzidas principalmente na estrutura dos solos, no conteúdo de matéria orgânica e na estabilidade dos agregados. A importância destas interferências e as técnicas de conservação empregadas somam-se à declividade para determinar o comportamento dos solos em face da erosão. Em Caçapava, as culturas mais vulneráveis são as de mandioca e os pomares, pelo grau de exposição dos solos e pela escassez de práticas conservacionistas. O emprego de algumas práticas, como "cobertura morta com palha" e calagem, mostra-se eficiente na diminuição da erosão. O uso destas medidas de conservação, porém, tem pequena expressão em área e não altera substancialmente o quadro geral da erosão nos campos cultivados. Nos reflorestamentos de eucalipto a erosão é forte onde a eliminação do estrato herbáceo, por herbicidas, expõe o solo à ação das águas do escoamento pluvial; em presença de serrapilheira e gramí-

neas a erosão é menor. Entretanto, os reflorestamentos nem sempre estancam a erosão; pelo contrário, reativação de ravinas e movimentos de massa e evidências de erosão no leito de estradas e em canais fluviais são comuns em alguns reflorestamentos.

Os ravinamentos resultam da ação de processos de erosão superficial e subsuperficial. Ravinas podem se formar por concentração das águas do escoamento pluvial no eixo dos anfiteatros, principalmente nas colinas de topo saliente, em latossolos espessos e friáveis desenvolvidos sobre sedimentos da Formação Pindamonhangaba (Foto 13); suas cabeceiras localizam-se, quase sempre, na vertente média alta, entre 7 e 10° de declividade, a jusante da primeira quebra de gradiente. Ravinas de perfil contínuo, com até 250 m de comprimento, apresentam degraus ao longo do curso e profundidades de 0,50m a 3,50 m e até 5 m. O perfil transversal das ravinas mais profundas — em funil, com setor basal em U (Foto 10) — evidencia uma fase de reincisão pelo escoamento pluvial concentrado.

O pisoteio intenso verificado nas pastagens de Caçapava aumenta e concentra o escoamento superficial nas encostas, acelerando os processos de ravinamento. Sua ação provoca modificações estruturais nos solos — principalmente compactação, encrostamento, impermeabilização e formação de gretas —, que restringem o movimento da água nos perfis e aumentam o débito do escoamento superficial. Trilhas sulcadas fazem as águas de superfície convergir para determinados pontos das ravinas (Foto 16), como passagens do gado em direção aos currais e afloramentos de água nas cabeceiras e ao longo dos cursos. Nesses pontos, movimentos de massa contribuem para alargar e ramificar as ravinas (Foto 3).

Um segundo tipo de ravinas, de perfil descontínuo — formadas a partir da concentração local das águas superficiais (HEEDE, 1971; MOEYERSONS, 1989) —, é encontrado principalmente nas encostas com vários terraços estruturais e declividade média superior a 10° (10 a 12°), sobre solos rasos com horizonte Bt. Essas feições têm as cabeceiras localizadas em qualquer parte das vertentes, muitas vezes sobre antigos caminhos ou carreadores de café; sua profundidade diminui das cabeceiras (50 a 200 cm), abruptas e com marmitas, para jusante. Menos extensas (entre 20 e 50 m), as ravinas descontínuas ocorrem em série e terminam suspensas, em pequenos leques de sedimentos. O pisoteio favorece a formação das irregularidades da cobertura vegetal e do microrrelevo a partir das quais se desenvolvem as feições erosivas iniciais. Perfis longitudinais descontínuos representariam a fase inicial de desenvolvimento das ravinas — em direção a perfis contínuos (LEOPOLD & MILLER, 1956; HEEDE, 1974) — caracterizada por grande produção de sedimentos.

Mais da metade dos ravinamentos mapeados ao sul de Caçapava é constituída por formas ativas — 2/3 das ravinas sobre latossolos e 1/3 sobre solos Tumirim. Ravinas total ou parcialmente estabilizadas podem ser reativadas, a qualquer momento, pela interferência do homem ou dos animais. Durante o levantamento foi observada a desestabilização de ravinas contínuas e profundas pela ação de queimadas (Foto 13).

Os maiores ravinamentos parecem remontar à época da cultura cafeeira. Segundo informações locais, nas áreas onde o café foi erradicado entre 1937

e 1940 e substituído por pastagens, as cabeceiras permanecem aproximadamente nos mesmos lugares, desde a década de cinqüenta; nos últimos anos teria havido apenas um alargamento das antigas feições. Entretanto, é bom lembrar, ravinamentos continuam se formando e ravinas, em diferentes estágios de evolução, ocorrem em todas as áreas de pastagem.

Processos de erosão subsuperficial — “piping” —, com formação de cavidades e tubos subterrâneos, são comuns sobre os solos rasos da Série Tumirim. No terço inferior das encostas, especialmente na proximidade de ravinas, buracos de formas variadas (Foto 14), com aberturas de 40 a 90 cm, aparecem isolados ou alinhados ao longo de sistemas de tubos subterrâneos — com diâmetros de 20 a 80 cm e, excepcionalmente, 110 cm —, reconhecidos por algumas dezenas de metros. Em setores com declividade inferior a 3° podem ocorrer depressões encharcadas pequenas e rasas, de até 3,50 m de diâmetro e 20 a 50 cm de profundidade.

As condições geralmente associadas ao aparecimento dos fenômenos de erosão subterrânea (JONES, 1971; HEEDE, 1971; STOCKING, 1976; MORGAN, 1986; SELBY, 1982), comuns a toda a área do levantamento — contrastes sazonais das condições de umidade, redução da cobertura vegetal, pastoreio intenso, furos de animais (Foto 15) e existência de um gradiente hidráulico no solo —, somam-se às características próprias dos solos Tumirim como, por exemplo, diferença textural acentuada entre os horizontes A e B, presença de descontinuidades hidráulicas ao nível do horizonte Bt e dos argilitos basais, ocorrências de ilita no horizonte Bt e tendência ao encrostamento superficial e à formação de gretas de dissecação nos períodos secos. Estas últimas, consideradas por vários autores como o principal mecanismo de formação de tubos subterrâneos (entre eles, PARKER, 1963; SELBY, 1982), podem ter início em superfície ou, mesmo, em subsuperfície (DE PLOEY, 1982; DE PLOEY & POESEN, 1985), como no horizonte Bt, com estrutura em blocos, dos solos Tumirim. Os teores de sódio desses solos são médios — 0,17 a 0,19% — e não poderiam explicar os fenômenos de “piping”.

A presença de degraus estruturais nas vertentes diminui a velocidade do escoamento superficial e favorece o encharcamento do terreno. Infiltração das águas em descontinuidades do solo, dispersão localizada das argilas, movimentação lateral do escoamento sobre as camadas relativamente impermeáveis do perfil são os prováveis mecanismos de formação dos sistemas subterrâneos de Caçapava. Nos solos Tumirim, os tubos ocorrem a jusante de patamares ou setores menos inclinados das vertentes, onde o acúmulo das águas em superfície é favorecido não só pela topografia mas por uma maior susceptibilidade ao encrostamento — uma vez que este último é função das características do solo, principalmente textura, da pluviosidade e da declividade das vertentes (POESEN, 1987). Tendência à infiltração lenta e localizada, observada nos patamares, poderia explicar a formação dos segmentos verticais dos sistemas de tubos. Efeitos do pisoteio — degradação da cobertura vegetal e modificações estruturais — acentuam a vulnerabilidade dos solos Tumirim à ação dos processos de erosão subsuperficial. A evolução dos tubos leva, finalmente, ao rompimento do teto e à abertura de buracos que passam a captar as águas de superfície (Foto 14). Colapso generalizado pode expor os tubos subterrâneos e formar ravinas. Algumas cabeceiras situadas no setor médio superior das ver-

tentes, a montante do sistema subterrâneo, têm a morfologia típica de cabeceiras com recuo por colapso (STOCKING, 1980). Este tipo de erosão tem como principais efeitos em superfície a aceleração do recuo da cabeceira e a rápida incisão das ravinas estabelecidas ao longo de tubulações subterrâneas.

7 MOVIMENTOS DE MASSA E EROSÃO ACELERADA

Nas colinas sedimentares de Caçapava, os movimentos de massa parecem estar circunscritos ao substrato Tremembé-Tumirim, onde ocorrem estreitamente relacionados às propriedades dos solos. A infiltração da água das chuvas nos pastos é facilitada pelo denso sistema radicular das gramíneas. Por outro lado, diminuição da permeabilidade ao nível do horizonte Bt e dos argilitos basais leva, durante os períodos úmidos, a concentração de água no subsolo, reduzindo a resistência ao cisalhamento e aumentando a instabilidade dos materiais nas encostas; as descontinuidades dos perfis tornam-se planos preferenciais de ruptura. Escorregamentos pequenos e rasos, como os solos Tumirim, e corridas de lama são observados sobretudo na parte baixa das vertentes em anfiteatro, muitas vezes na borda de degraus estruturais (Foto 2). Sua localização parece corresponder às condições de instabilidade verificadas no sopé das encostas das áreas úmidas — resultantes da maior saturação, da deposição de materiais de montante e, em algumas áreas tropicais, do provável acúmulo de colóides e argila (DE PLOEY, 1981).

Microtopografia em "terraces" caracteriza as vertentes de declividade média e forte ocupadas por pastagem. Em Caçapava, a altura dos "terraces" aumenta com a declividade: de no máximo 33 cm, em vertentes com 7°, até 65 cm em vertentes com 24°. Estas feições resultariam do efeito combinado de rastejo — "soil creep" — e pisoteio. Nos solos Tumirim, umectação e dessecação em ciclos alternados (YOUNG, 1960 e KIRKBY, 1967) e fenômenos de bioturbação (EMBLETON & THORNES, 1979; YAIR & DE PLOEY, 1979 e MOEYERSONS, 1989) constituem os prováveis mecanismos ativadores de um rastejo sazonal (SHARPE, 1938; THERZAGHI, 1950 e HUTCHINSON, 1968). Não foram encontradas evidências de escorregamentos superficiais entre os "terraces"; a ausência de planos de ruptura talvez se explique pelas declividades, geralmente inferiores a 14°. O eventual aparecimento destas feições em Caçapava limitar-se-ia ao setor superior retilíneo das vertentes (Fotos 1 e 4), onde as declividades podem chegar a 24°, limite inferior, citado por MOEYERSONS (1989), para a ocorrência dos "terraces" por escorregamento.

Movimentos de massa são comuns no interior das ravinas. A saturação dos solos, nos períodos úmidos, pode desencadear escorregamentos rotacionais nas margens mais íngremes das ravinas, ou nas áreas próximas aos nichos de fonte. As cabeceiras recuam, não apenas pela ação direta do escoamento superficial, mas por solapamento e colapso das paredes de fundo. Principalmente nos latossolos pouco coesos e friáveis, o pisoteio intenso pode desencadear escorregamentos, até mesmo a seco, como os observados nas concentrações de trilhas de gado em torno de afloramentos de água, ou no cruzamento das trilhas com canais ravinados. (Foto 3).

Em substrato Tremembé-Tumirim, um tipo especial de movimento de massa é comum na cabeceira dos ravinamentos situados a jusante de pseudodolinas.

Nestes locais formam-se pequenas depressões rasas, de fundo chato, limitadas por cicatrizes ovaladas (Foto 16). Forma, ausência de sinais de concentração do escoamento superficial em torno das cicatrizes, localização na vertente — entre depressão encharcada de topo e cabeceira de ravina —, características hidrológicas dos solos e vegetação semelhante à do resto da vertente permitem atribuir tais feições a afundamentos locais do terreno. Os afundamentos poderiam ser explicados pela erosão subterrânea, com exportação de materiais finos pela drenagem lateral, na base dos perfis.

Desmoronamentos e escorregamentos, por solapamento das margens côncavas, são observados apenas no trecho inferior dos rios da bacia do córrego da Borda da Mata — ribeirão dos Mudos.

8 A DEPOSIÇÃO ACELERADA

Depósitos correlativos da erosão acelerada são observados em todos os setores das vertentes. Os efeitos da erosão laminar são os mais significativos e generalizados; finas camadas de areia formam depósitos descontínuos ou — em áreas sob erosão intensa — pequenos e raros leques arenosos; nas baixas encostas o recobrimento dos solos pode ser contínuo. A sedimentação relacionada aos ravinamentos pode formar leques aluviais a jusante das maiores ravinas contínuas e apenas pequenos depósitos na parte terminal das descontínuas.

A importância da erosão acelerada nos arredores de Caçapava contrasta com a pobreza de materiais em trânsito, ou seja, de sedimentos temporariamente depositados nas encostas. Esta aparente contradição decorre tanto da eficiência da rede de drenagem em evacuar os detritos da erosão, como do fato de os materiais depositados serem rapidamente recobertos pela vegetação herbácea. Efetivamente, a cada evento pluvial, as gramíneas colonizam com extrema rapidez os sedimentos depositados nos pastos (Foto 11). O mesmo acontece com o material colocado em superfície pelas formigas (Fotos 4 e 5). Estes mecanismos contribuem para explicar o bosselamento das vertentes sob pastagens. Pode-se dizer que em Caçapava, assim como nas pastagens da África Central estudadas por MOYERSONS (1989), até mesmo depósitos ativos permanecem vegetados.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O médio vale do Paraíba vem sofrendo, há mais de 200 anos, as consequências de intensa degradação do meio, resultado da descontrolada e predatória sucessão de usos do solo. Nos arredores de Caçapava, o impacto da interferência humana está marcado na paisagem por uma série de feições erosivas, pelo rebaixamento dos nichos de nascente e por duas fases de incisão de ravinas. A intensidade da erosão reflete de maneira nítida o uso do solo. Áreas mais erodidas correspondem a pastagens pouco conservadas onde a cobertura vegetal foi reduzida por pisoteio intenso. O processo erosivo mais importante e generalizado é a erosão laminar, por ação do escoamento pluvial anastomosado. Especialmente intensa em solo nu e pastos descontínuos, a erosão laminar é ativa até mesmo nas áreas vegetadas, em baixas declividades e sobre solos, por definição, pouco vulneráveis à ação do escoamento superficial. As relações pouco

evidentes deste tipo de erosão com os solos são mascaradas pela interferência mais forte dos fatores vegetação e uso do solo. Erosão laminar fraca ou moderada ocorre apenas onde há utilização de práticas conservacionistas, onde as pastagens são bem cuidadas e a criação do gado se faz em estábulos.

Alinhamentos formados por caminhos, velhos carregadores e trilhas de pisoteio e, também, pela atividade de cupins e formigas em superfície favorecem a concentração do escoamento superficial nas vertentes. O pisoteio é o mais importante acelerador da erosão nos pastos; intensifica e concentra o escoamento, favorecendo os processos de incisão. Nas vertentes médias dos anfiteatros, em declividades de 7 a 11°, as áreas de concentração do escoamento pluvial estão ravinadas apenas onde o pisoteio é intenso. Convergência das trilhas de pisoteio em afloramentos de água é um importante fator de desequilíbrio, provocando o ravinamento de nascentes e a ramificação de ravinas já existentes. As relações entre solos e ravinamentos são nítidas apenas na diferenciação do tipo e evolução das ravinas. Ravinas contínuas e profundas desenvolvem-se em latossolos e evoluem por erosão regressiva. Ravinas descontínuas e rasas são mais comuns sobre solos rasos com horizonte Bt (Série Tumirim) e parecem evoluir das marmitas iniciais para jusante, por erosão progressiva (MOEYERSONS, 1989). Apesar de não ter sido observado nenhum aumento significativo das áreas ravinadas, a partir do recobrimento aerofotogramétrico de 1973, a constatação de que 60% dos ravinamentos encontram-se em atividade mostra a importância deste tipo de erosão na área de Caçapava. A maioria das ravinas ativas está sobre latossolos. Nestes, os ravinamentos resultam principalmente da concentração do escoamento superficial e a ação do pisoteio intenso e das queimadas é muito eficaz na continuidade do processo e na reativação de feições já estabilizadas. Nos solos Tumirim — sujeitos a menor pisoteio e a uma maior variedade de processos, inclusive "piping" — apenas 1/3 das ravinas são ativas.

Pequenos escorregamentos e corridas de lama, estreitamente relacionados às propriedades dos solos Tumirim, instabilizam as áreas úmidas do sopé das encostas. Afundamentos limitados por cicatrizes ovaladas ocorrem na cabeceira de ravinas situadas a jusante das depressões encharcadas de topo de colina. Fenômenos de rastejo, mais generalizados, seriam responsáveis pelo aparecimento de "terraces". Estas feições, acentuadas pelo pisoteio, estão presentes nas vertentes de declividade superior a 7°, em todos os tipos de solo. Sistemas de tubos subterrâneos e cavidades, também limitados às áreas de solos Tumirim, agravam os problemas erosivos e dificultam a implantação de medidas de conservação neste tipo de solo.

Apesar de intensa, a erosão dos solos não resulta em acumulações significativas. A aparente escassez de depósitos explica-se pelo caráter difuso da sedimentação. Pequenos depósitos ocorrem onde quer que a quebra de gradiente ou a presença de obstáculos o permita.

O reconhecimento de seqüências erosivas, ajustadas às características de forma e declividade das vertentes e às propriedades dos solos, é importante na identificação da tendência natural da erosão (BERGSMAN, 1974). Nas vertentes das colinas sedimentares de Caçapava, onde os campos cultivados se reduzem a pequenas parcelas isoladas e os pastos ocupam com freqüência todos os interflúvios, dificilmente se observam seqüências completas de erosão dos solos. Nas áreas de pastagem a posição da erosão nas encostas é geral-

mente determinada pelos hábitos de pastio dos animais. Apesar de raras, seqüências típicas, muitas vezes interrompidas, parecem esboçar-se sobre os dois tipos de substrato. Em solo Tumirim: erosão laminar no topo da colina, ravina-mentos descontínuos na vertente média, seguidos ou não de áreas de deposi-ção, e movimentos de massa ou fenômenos de erosão subterrânea na baixa vertente. Em latossolos as seqüências são mais simples: da erosão laminar de topo pode-se passar a ravina-mentos na média vertente e à deposição na baixa encosta. O reconhecimento destas seqüências é essencial na determinação do risco de erosão — sobretudo no que se refere aos fatores relativamente perma-nentes como clima, relevo e solo (BERGSMA, 1974) — e na implantação de medidas de conservação.

O mapeamento semidetalhado da erosão acelerada em Caçapava mostrou-se eficiente para identificar extensão e tipo de erosão e para avaliar a impor-tância relativa dos fatores causadores das perdas de solo. A análise da carta permite visualizar as relações espaciais entre os fenômenos erosivos e suas variáveis controladoras. O documento final é um instrumento analítico funda-mental, com amplo espectro de aplicação em engenharia, planejamento ambiental, desenvolvimento de bacias hidrográficas e agricultura; proporciona ainda uma base para avaliações qualitativas e quantitativas do risco de erosão.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. de 1958 Vale do Paraíba. In: Relatório anual do Diretor 1957. Rio de Janeiro, DNPM.DGM. p. 90-91.
- BERGSMA, E. 1974 Soil erosion sequences on aerial photographs. The ITC Journal, Enschede, (3): 342-376.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. 1990 Conservação do Solo. São Paulo, Editora Ícone. 355p. (Coleção Brasil Agrícola)
- BRAUN, W.A.G. 1961 Contribuição ao estudo da erosão no Brasil e seu contro-le. Rev. Bras. Geogr., Rio de Janeiro, 23(4):592-642.
- CARSON, M.A. & KIRKBY, M.J. 1972 Hillslope forms and processes. London, Cambridge University Press.
- CONTI, J.B. 1975 Circulação secundária e efeito orográfico na gênese das chuvas na região lesnordeste paulista. São Paulo, Universidade, Instituto de Geo-grafia. 52p. (Série Teses e Monografias n° 18)
- DE BIASI, M. 1971 Carta de declividade de vertentes: confecção e utilização. São Paulo, Universidade, Instituto de Geografia, p. 8-13. (Geomorfologia, 21)
- DE PLOEY, J. 1981 The ambivalent effects of some factors of erosion. Mém. Inst. Geol., Univ. Louvain, 31:171-181.
- _____ 1982 Concerning factors of soil erosion, with special reference to tropical areas. In: Latin American Regional Conference — UGI — Seção Prin-cipal — Rio de Janeiro. vol. 2 — Simpósios e mesas redondas, IBGE, Rio de Janeiro, p. 317-322.
- _____ & POESEN, J. 1985 Aggregate stability, runoff generation and interrill erosion: In: RICHARDS, K.; ARNETT, R.; ELLIS, S., eds. Geomorphology and Soils. London, G. Allen. p. 99-120.
- _____ ; SAVAT, J.; MOEYERSONS, J. 1976 The differential impact of some soil loss factors on flow, runoff creep and rainwash. Earth Surface Proces-ses and Landforms, Chichester, 1:151-161.

- EMBLETON, C. & THORNES, J. 1979 Processes in geomorphology. London, Edward Arnold.
- HEED, B.H. 1971 Characteristics and processes of soil Piping in Gullies. Fort Collins, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 15 p. (USDA, Forest Service Research Paper, RM-68).
- _____. 1974 Stages of development of gullies in Western United States of America. *Zeitschrift für Geomorphology*, Berlin, 18(3):260-271.
- HUDSON, N.W. & JACKSON, D.C. 1959 Results achieved in the measurement of erosion and runoff in Southern Rhodesia. In: Proc. Third Inter African Soils Conference. Dalabra, p.575-583.
- HUTCHINSON, J.N. 1968 Mass movements. In: FAIRBRIDGE, R.W., ed. The Encyclopedia of Geomorphology. New York, Reinhold Book Corp, p.688-695.
- JONES, R.G.B. 1971 Soil piping and stream channel initiation. *Water Resources Research*, Washington, D.C., 7:602-610.
- KIRKBY, M.J. 1967 Measurement and theory of soil creep. *Journal of Geology*, Chicago, 111., 74(4):359-378.
- LAL, R. 1987 Tropical ecology and physical edaphology. New York, John Wiley & Sons. 732p.
- LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. 1975 Erodibilidade de solos paulistas. Campinas, SP, Instituto Agrônômico. (Boletim Técnico n° 27)
- LEOPOLD, L.B. & MILLER, J. 1956 Ephemeral streams, hydraulic factors and their relations to the drainage net. Washington, D.C. United States Geological Survey. 36 p. (Professional Paper, 282-A)
- MEYER, L.; FOSTER, G.; ROMKENS, M. 1975 Source of soil eroded by water from upland slopes. In: Present and Prospective Technology of Predicting Sediment Yields and Sources. Agricultural Research Service Report, ARS-S-40:177-189.
- MIDDLETON, H.E. 1930 Properties of soils which influence soil erosion. USDA Technical Bulletin n° 178. 16p.
- MOEYERSONS, J. 1989 La nature de l'érosion des versants au Rwanda. *Annales Sciences Economiques*, Tervuren, 19:389.
- MORGAN, R.P.C. 1977 Soil erosion in the United Kingdom: field studies in the Silsoe area, 1973 — 75. *Nat. Coll. Agric. Engng., Silsoe Occas. Paper 4*.
- _____. 1986 Soil erosion & conservation. London, Longman Scientific and Technical. 289p.
- PAIVA NETO, J.E. & NASCIMENTO, A.C. 1956 Argilas bentoníticas no Terciário do Vale do Paraíba. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, 5(2):5-15.
- PARKER, G.G. 1963 Piping, a geomorphic agent in landform development of the drylands. *International Association of Scientific Hydrology Publication*, 65:103-113.
- POESEN, J. 1987 The role of slope angle in surface seal formation. In: *International Geomorphology, 1986 part II*, edited by V. Gardiner, John Wiley & Sons Ltd. p. 437-448.
- RAO, D.P. 1975 Applied geomorphological mapping for erosion surveys: The example of the Oliva basin, Calabria. *ITC Journal*, Enschede, (3):341-350.
- RAPP, A. 1975 Soil erosion and sedimentation in Tanzania and Lesotho. *AMBIO*, 4(4):154-163.

- RICCOMINI, C. 1989 O "rift" continental do sudeste do Brasil. São Paulo, Instituto de Geociências, 256p. (Tese de Doutorado)
- RICHTER, G. & NEGENDANK, J.F.W. 1977 Soil erosion processes and their measurement in the German area of the Moselle river. *Earth Surface Processes and Landforms*, Chichester, 2:261-278.
- RUELLAN, F. 1953 O papel das enxurradas no modelado do relevo brasileiro. *Bol. Paul. Geogr.*, São Paulo, (13):5-18 e (14):3-25.
- SAVAT, J. 1976 Discharge velocities and total erosion of a calcareous loess: a comparison between pluvial and terminal runoff. *Révue de Géomorphologie Dynamique*, 24:113-122.
- SELBY, M.J. 1982 Hillslope materials and processes. Oxford, University Press. 264p.
- SETZER, J. 1949 Os solos do Estado de São Paulo; relatório técnico e considerações práticas. Rio de Janeiro, IBGE - CNG., 387p. (Biblioteca geográfica brasileira - Série A - Publicação n.º 6)
- SHARPE, C.F.S. 1938 Landslides and related phenomena: a study of mass movements of soil and rock. New York, Columbia, University Press. 137p.
- STOCKING, M.A. 1973 Soil erosion hazard in Rhodesia. *Rhod. Agric. Journal*, 70(4):93-101.
- _____ 1976 Tunnel erosion. *Rhodesia Agric. Journal*, 73(2):35-39.
- _____ 1980 A model of piping soils. *Transactions Japanese Geomorphological Union*, 2(2):263-278.
- SUGUIO, K. 1969 Contribuição à geologia da Bacia de Taubaté; Vale do Paraíba, Estado de São Paulo. São Paulo. 106p. (Tese de Doutorado - FFCL-USP)
- TERZAGHI, K. 1950 Mechanism of landslides. *Geol. Soc. Am. Eng. Geology*, Berkey. p.83-123.
- TRICART, J. 1961 Les caractéristiques fondamentales du système morphogénétique des pays tropicaux humides — *L'information Géogr.*, (4):155-169.
- VERDADE, F.C. & HUNGRIA, L.S. 1963 Séries Monotípicas da Bacia de Taubaté, 3 - Haras e Tumirim. *Bragantia*, Campinas, 22(16):169-192.
- _____ ; _____ ; NASCIMENTO, A.C.; GROHMANN, F.; MEDINA, H.P. 1961 Solos da Bacia de Taubaté (Vale do Paraíba). Levantamento de reconhecimento. Séries monotípicas, suas propriedades genético-morfológicas, físicas e químicas. *Bragantia*, Campinas, 20(4):43-322.
- VERSTAPPEN, H.Th. 1983 Applied Geomorphology: geomorphological surveys for environmental development. Amsterdam, Elsevier, 437p.
- VITA-FINZI, C. 1964 Slope downwearing by discontinuous sheetwash in Jordan, Israel. *Journal of Earth Sciences*, 13:88-89.
- WILLIAMS, A.R. & MORGAN, R.P.C. 1976 Geomorphological mapping applied to soil erosion evaluation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 31:164-168.
- WISCHMEYER, W.H. & MANNERING, J.V. 1969 Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Sci. Amer. Proc.*, Madison, Wisconsin, 33:131-137.
- YAIR, A. & DE PLOEY, J. 1979 Field Observation and laboratory experiments concerning the creep processes of rock blocks in an arid environment. *Catena*, 6:245-258.
- YOUNG, A. 1960 Soil movement by denudational processes on slope. *Nature*, London, 188:120-122.



Instituto Geológico



Secretaria do Meio Ambiente



GOVERNO DE SÃO PAULO
CONSTITUINDO UM FUTURO MELHOR