

O PAPEL DAS ENXURRADAS NO MODELADO DO RELEVO BRASILEIRO

(Primeira parte)

FRANCIS RUELLAN

O prof. FRANCIS RUELLAN, sócio honorário da A.G.B. e que vem dirigindo, desde 1952, um curso de Geomorfologia aplicada ao Brasil, junto à Faculdade de Filosofia da Universidade de São Paulo, não necessita de apresentação, de tal maneira seu nome é conhecido entre aqueles que se dedicam aos estudos geográficos.

O presente trabalho foi apresentado ao XVII.º Congresso Internacional de Geografia, reunido em Washington (julho de 1952), e aparece publicado, em primeira mão, nas páginas do Boletim Paulista de Geografia, que muito se orgulha de o fazer. Em virtude de sua extensão, oferecemos aos nossos leitores, no presente número, apenas a sua primeira parte, devendo a segunda figurar em o número correspondente ao mês de julho do ano em curso.

As viagens que fizemos pelo litoral e através do interior do Brasil, a partir de 1941 — de norte a sul, entre Belém do Pará e Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, e, de Leste a Oeste, do Rio de Janeiro ao Planalto Central —, permitiram-nos observar as enxurradas (*) com uma facilidade tanto maior devido ao fato dessas excursões terem sido realizadas, geralmente, durante a estação das chuvas.

I. As condições climáticas (1). --- A maior parte das regiões que percorremos até agora está submetida a um regime de alternância de uma estação seca e de uma estação úmida. Segundo as médias mensais do período de 1914-1938, em três quartos desse território as chuvas

(*) A palavra *enxurrada* figura, no presente trabalho, como correspondente à expressão *nappes d'eau pluviale ruisselante*, utilizada pelo autor no original escrito em francês (Nota da Redação). Tal expressão ("rainshoet" de FENNEMAN, 22) pode ser simplificada e apresentada sob a forma de "nappe de ruissellement pluvial". Também podesse dizer "nappe pluviale ruisselante" ou, ainda, "nappe ruisselante", convindo recordar que não se trata nem de transbordamento fluvial, nem da fusão das neves, cujas condições são diferentes (Nota do autor).

(1) MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 47, 48.

se concentram de novembro a março (num total de 500 a 1100 mm, por três meses consecutivos), e o estio de junho a setembro (atingindo, apenas, de 25 a 150 mm, por três meses consecutivos).

As regiões do Nordeste, onde esta repartição é bem diferente — estação seca de setembro a dezembro (total de 5 a 150 mm, por três meses consecutivos), e estação chuvosa de março a julho (atingindo de 200 a 1100 mm, por três meses consecutivos), não chegam a acusar em geral, uma tão forte diferença de pluviosidade entre as duas estações. Pelo contrário, a relação entre a pluviosidade dos três meses mais secos e a dos três meses mais úmidos, raramente é superior a 1/4, podendo atingir, entretanto, em alguns pontos, a relação de 1/20.

No Baixo Amazonas e na área que bordeja o litoral do Nordeste Ocidental, a estação de estio mais pronunciado vai de agosto a novembro (num total de 50 a 250 mm, por três meses consecutivos), e a estação de maior umidade e chuvas vai de fevereiro a maio (atingindo de 900 a 1300 mm, por três meses consecutivos), fatos que dão uma relação de pluviosidade, entre as duas estações, que varia entre 1/20 e 1/4, aproximadamente.

Enfim, no extremo Sul (Santa Catarina e Rio Grande do Sul), atenua-se sensivelmente a diferença entre a estação seca (que ali alcança um total de 250 a 500 mm, por três meses consecutivos) e a estação úmida (que atinge de 400 a 600 mm, por três meses consecutivos); a repartição dos meses de estio varia muito num espaço reduzido, enquanto que as maiores chuvas caem de março a outubro. Trata-se, pois, de um clima temperado úmido que difere, a um tempo, do clima mediterrâneo, porque não apresenta secas acentuadas de verão, e, do clima da China Meridional, porque é menos frio e menos seco no inverno.

Se excluirmos esta zona do extremo Sul, veremos que, de Belém a Florianópolis, a oposição entre a estação seca e estação úmida é o traço característico do clima do Planalto Brasileiro nas áreas em que dominam os campos ou a caatinga. Entretanto, ao Norte, a Leste e a Sudeste, a zona litorânea é suficientemente regada de chuvas em todas as estações, permitindo o desenvolvimento da floresta, particularmente sobre as vertentes montanhosas que fazem face ao mar.

Um outro fato igualmente deve merecer atenção: o volume das chuvas precipitadas durante uma tempestade (2). Se considerarmos períodos de 10 a 15 anos, raros são os meses em que, em um ou outro ano, não tenham ocorrido tempestades. Na realidade, durante a estação das chuvas, estas precipitações acentuadas podem subir a mais

(2) RUELLAN (Francis), 54; STERNBERG (Hilgard), 72, p. 232.

de 100 mm e, algumas vezes, mesmo, excepcionalmente, a mais de 200 mm, em vinte e quatro horas (3).

II. O processo da erosão pluvial elementar. — O que devemos salientar, em primeiro lugar, é a questão da força das chuvas tropicais (4). Possuem elas incôntestavelmente um tal poder de choque, no momento que batem no solo, seja este mole ou movediço, que chegam a imprimir sua marca na superfície, ao mesmo tempo que projetam, centrifugamente, as partículas encontradas. Esta ação é tanto mais importante, se considerarmos que, na região da caatinga espinhosa, e, mesmo, dos "campos cerrados" (com extensões de pequenas árvores de troncos torcidos), ou "campos limpos" (erbáceos), o solo detrítico é insuficientemente coberto pela vegetação, e, alternadamente, umidecido e dessecado pela insolação intensa. Trabalhado pelos ácidos húmidos, pelos insetos e pelos animais escavadores, o solo é constantemente reduzido a finas partículas, as quais sofrem, ainda, uma ligeira ação de deflação eólica, que dispersa a poeira ou transporta por rolamento as partículas menos finas. As gotas d'água, que tombam, encontram, pois, um material movediço, susceptível de ser deslocado e transportado caso não haja uma infiltração imediata da água.

Os pequenos regatos instáveis formam-se ao iniciar-se a chuva e quando o escoamento se arrefece, predominando por ocasião das chuvas mais comuns das regiões temperadas. Desde que o lençol se forma (e isto se produz em alguns minutos, no momento das chuvas pesadas), ocasiona ela o desaparecimento dessa rede instável de escoamento superficial difuso (5).

Seu reaparecimento, com um outro traçado, ao terminar a chuva, drenando o excedente deixado pela infiltração, não deve iludir quanto ao papel representado por essa rede. É evidente, por outro lado, que a passagem ao escoamento superficial concentrado vê-se favorecida tôdas as vezes que as chuvaradas não são suficientemente fortes para formar lençóis que venham a recobrir a rede de escoamento superficial difuso. Nêste caso, há uma tendência à estabilidade, pelo menos em relação aos mais importantes elementos da rede e passa-se, então, insensivelmente, para um regime de erosão fluvial, bem estudado nas regiões temperadas das duas margens do Atlântico Norte. Já tivemos ocasião de observar que o mesmo não acontece nos climas temperados de monção, no

(3) MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 47.

(4) COTTON (C. A.), 14, p. 13-16 e 150-156; 15, p. p. 31-32.

(5) Para compreender-se o que se passa, basta observar o que acontece numa rede de escoamento superficial em uma praia, quando êle é alcançado pelo lençol de água muito delgado, levado por uma vaga de translação. A rede desaparece e se restabelece seguindo um traçado diferente, à medida que o masto d'água torna a descer através do declive da praia e que uma grande parte se infiltra.

Japão e na China do Norte, por exemplo, onde certas chuvas são tão violentas como nas regiões tropicais e podem durar várias horas.

A violência da chuva é tal, que somente os materiais grossieiros e as areias muito permeáveis fazem-na desaparecer em profundidade, por meio de uma infiltração rápida. Mesmo nêsse caso, porém, a infiltração não impede que a película de água que corre na superfície deixe de envolver blocos rochosos e seixos, lavando os sedimentos soltos dos interstícios e transportando os materiais finos recolhidos em sua passagem. Se se tratam de areias finas ou argilosas, ou se, a pouca profundidade, existe uma camada de concreções ferruginosas (canga) ou calcáreas, a água não mais se infiltra após a saturação da camada superficial, passando a correr e recobrando o solo na forma de um verdadeiro lençol d'águas. Sobre os rochedos, êsse estágio é alcançado mais rapidamente ainda, sendo que o lençol d'água corrente se inicia desde os primeiros aguaceiros.

É necessário salientar que a água das chuvas corre por todos os lugares, sobre tôdas as formas de relêvo e vertentes, transportando partículas em sua massa líquida, quando não é retardada ou impedida por um obstáculo. Nêste último caso, as partículas mais grosseiras transportadas se depositam, tendendo a regularizar, desta forma, o relêvo da superfície por onde a água correu.

Algumas chuvas muito pronunciadas desgastam ligeiramente uma zona de várias centenas de quilômetros quadrados, onde o regolito é levantado, arrastado, empurrado e, às vêzes, detido por obstáculos, para ser, logo mais, impulsionado novamente deixando tufo de ervas escavados (6).

Uma primeira observação se impõe, portanto: não importa qual o tipo de vertente sujeito à erosão pluvial, porque qualquer que seja a sua forma, ela será submetida à ação da enxurrada. O lençol d'água superficial envolve todos os pequenos acidentes do relêvo, antes de se concentrar; pudemos constatar, mesmo, caminhando sobre áreas de declive relativamente suave, que a massa das águas de algumas enxurradas atingia e ultrapassava 10 cm de espessura.

Num caso parecido, sobre um declive de alguns gráus, não é raro encontrar-se 3 a 5 cm d'água corrente e, em certas passagens de depressões rasas, atingimos pontos onde grandes sapatos restaram submersos. À noite, muitas vêzes nos ocorreu, quando acampados sobre um declive suave, afastado de qualquer curso d'água, termos nossa barraca invadida pelo lençol d'água, que subiu e traspôs as pequenas valetas de aproximadamente 20 cm de profundidade previamente por nós construídas em torno, para proteção.

(6) FURON (Raymond), 29, p. 38 e 195; JACQUES-FELIX (H.), 34.

Sem dúvida, o escoamento termina rapidamente, desde que as chuvas cessem e as águas, infiltradas a pouca profundidade, também deixem de ressurgir; mas o trabalho realizado durante êsses aguaceiros pelas enxurradas é sempre considerável. É suficiente para determinar a importância dêsse trabalho o estabelecimento de uma pequena barragem, onde as águas, momentaneamente detidas, possibilitam a deposição de sua carga de areias e de cascalhos angulosos ou ligeiramente desarestados.

É importante salientar que a água permanece geralmente clara. Deve-se atribuir, sem dúvida, a causa dêsse fato à deflação que arrasta e eleva constantemente as poeiras, mesmo durante a estação úmida, no intervalo dos aguaceiros, porque o solo se desseca muito rapidamente. Torna-se preciso observar que cada chuva, que não é suficientemente forte para formar uma enxurrada de longo percurso, leva consigo pelo menos as poeiras e penetra com elas nas areias e cascalhos do solo, infiltrando-se. Tais poeiras, muitas vezes aglomeradas sob a forma de lama, têm tendência a formar com os pedregulhos um cimento de fraca consistência, que entulha os poros do solo, tirando sua permeabilidade.

Se a água da chuva encontra um solo argilo-arenoso formam-se, muitas vezes, zonas de lamaçais, sobretudo quando a terra foi pisoteada pelos animais ou pelo homem, ou quando os veículos nela cavaram sulcos. Note-se, de passagem, que as zonas lamacentas estão localizadas nas depressões, sendo constituídas de sedimentos finos trazidos pelas águas de enxurrada. Os lençóis d'água superficial exercem, pois, uma verdadeira seleção nos aluviões que eles atravessam, sendo esta, talvez, uma das explicações das curiosas alternâncias de "arciões" ou acunulações arenosas encontradas sôbre pontos elevados dos planaltos, ao passo que as poeiras, que não foram sopradas pelo vento, vêm-se arrastadas e depositadas nas depressões pela enxurrada. Nas depressões fechadas dos calcáreos ou nas depressões das zonas semi-áridas, formam-se verdadeiras "playas", lamacentas ou pantanosas.

Note-se que êste processo de erosão e transporte refere-se rigorosamente ao que se denomina erosão elementar, interessando a toda a superfície do solo, sem que se tenha de fazer intervir o transbordamento dos rios (7) ou, mesmo, a água proveniente das vertentes de um "inselberg" ou de uma montanha qualquer.

Contribuindo desta forma para soerguer, deslocar, transportar e extrair finas partículas, para, depois, depositá-las durante o abrandamento,

(7) BAILEY (Reed W.), 2; CAILLEUX (André), 12; DAVIS (William Morris), 17; FENNEMAN (N. M.), 22; GEE (Mc), 43; WORCESTER (Philip G.), 75, p. 233-254.

mento da correnteza e o desaparecimento do escoamento em lençol, a massa d'água das enxurradas realiza um trabalho de regularização, mais ou menos semelhante ao que ocorre com a água lançada em lençol pelas vagas marinhas de translação, numa praia pisoteada. Sabe-se que a ressaca é capaz de nivelar, em poucos momentos, a superfície da praia sem nenhuma ação direta das vagas propriamente ditas. A comparação é ainda mais surpreendente quando aplicada ao caso da areia de praia, colocada sobre um afloramento rochoso, cujas arestas aparecem entre secções de depósitos arenosos igualados pelo lençol das águas marinhas, que aí se arrebetam.

Cremos que é preciso emprestar uma grande importância a esse processo de regularização do relevo, pois, assim como no seu movimento de vai-e-vem, o lençol d'água lançado pelas vagas se apoia, sobre a superfície arenosa imersa, para regularizar a areia sub-aérea pisoteada, a enxurrada cria uma série de patamares de regularização, à montante dos obstáculos por ela encontrados, formando, deste modo, níveis de base locais. Finalmente, para regularização do conjunto, apoia-se sobre o nível de um pântano, de um lago, de um coletor fluvial ou, quando este coletor se encaixar por retomada de erosão, apoia-se no nível do terraço ou do patamar que constitui a ruptura de declive cíclica. Em outras palavras, trata-se do princípio que enunciámos há doze anos passados (8) e que encontra sua aplicação tanto para as enxurradas como para os rios. Dizíamos já, naquela época:

"As superfícies senis ou peneplanos superiores são as mais evoluídas, não, como se tem descrito muitas vezes, porque seriam testemunhas de superfícies de grande extensão que atingiram o mesmo grau de evolução e que, em seguida, foram dissecadas pela erosão, mas, sim, porque seu modelado representa uma soma de ações erosivas de longa duração; ações erosivas que perduram ainda hoje e que realizaram seu trabalho durante o período de emersão consecutivo à instalação de seu primeiro ciclo de erosão, retomando sua atividade cada vez que uma cobertura móvel foi removida. O nível de base atual dessas superfícies é a beirada superior da ruptura de declive do rio no momento em que ele passa a um ciclo mais recente. Em função desse nível de base, o modelado da superfície senil continua a evoluir, de uma forma normal, enquanto restarem elementos do talvegue para servir de base à evolução das vertentes. Em outras palavras, enquanto perdurar o escoamento fluvial e o escoamento concentrado sobre as vertentes, uma superfície senil, completa ou fragmentária, não possui, no decurso do tempo geológico, outro limite que não seja o sepultamento por uma cobertura sedimentar lacustre ou marinha ou sua destruição por um novo ciclo de erosão. Até aí, continua sua evolução. Se esta superfície estiver recoberta por um capeamento sedimentário pouco resistente, tendo sido exumada posteriormente, retomará imediatamente sua evolução interrompida, feita uma única reserva no que se refere à interferência dos fenômenos de epigenia."

(8) RUELLAN. (Francis), 55, p. 112 e 120.

E, dizíamos ainda:

“A dissecação da superfície primitiva pode se estender mais longe ainda, até que não haja mais do que um único patamar de crista. Na realidade, esta crista representa ainda um fragmento da antiga superfície e o escoamento superficial que age sobre esse patamar possui uma velocidade c , por consequência, uma ação de modelado relacionado com o declive; isto é, dependendo estreitamente da saliência que separa o plano ou o patamar de crista da ravina vizinha. Esta saliência do beiral superior do patamar continua sendo o nível de base da crista, enquanto a erosão remontante não fizer desaparecer a ruptura de declive” (9).

A extraordinária regularidade das altas superfícies de erosão explica-se, assim, por esse lento trabalho de modelado, que compreende um tempo tão longo que, para muitas delas, não há fato algum que nos permita adiantar que as mesmas só tenham sido modeladas a partir de tal ou tal emergência dos tempos recentes. Em relação a algumas dessas superfícies, torna-se necessário remontar-se pelo menos à série de tilitos e conglomerados glaciais de Lavras, que seriam do Cambriano ou mesmo do Algonquiano superior, ou à série Itacolomí, atribuída ao Algonquiano médio ou superior, ou, talvez mesmo, ao complexo granítico-gnáissico, parcialmente arqueano pelo menos, para se encontrar um ponto de partida em relação aos ciclos erosivos, porque, como demonstramos (10), é somente disto que se trata, quando se pretende datar uma superfície de erosão. O outro termo da evolução de uma superfície só pode ser conhecido quando há uma cobertura inumadora dessa superfície, como aconteceu no Paleozóico, depois do Triássico, Jurássico, Cretáceo e, algumas vezes, até mesmo no Terciário, em certas regiões do interior do Brasil. A extensão dessas coberturas antigas a outras regiões e, particularmente, à faixa granítico-gnáissica do litoral oriental, permanece no terreno das conjecturas.

As superfícies fósseis, cujo termo final, anterior à exumação, pode ser atribuído ao Terciário, já são mais raras. Quanto às superfícies exumadas, retomam elas sua evolução seguindo o mesmo processo, sendo que as rupturas-de declive que indicam o limite dos novos ciclos posteriores à remoção servem de pontos de apoio à sua evolução atual, sob a ação das enxurradas. Trata-se, pois, neste caso, de uma verdadeira retomada no modelado de uma superfície, a qual poderá atingir, então, formas mais evoluídas que as da superfície recoberta anterior.

III. Importância das condições climáticas locais e da natureza das rochas. — Os materiais trabalhados pelas enxurradas desempe-

(9) RUELLAN (Francis), 55, p. 120.

(10) RUELLAN (Francis), 55, p. 112.

nam grande papel no caráter do modelado das superfícies de erosão por êles produzidas segundo as condições climáticas locais.

As rochas ígneas granulares, submetidas aos processos de desagregação e decomposição dão um material cuja mobilidade está na dependência da umidade do clima. Já demonstramos (11), há algum tempo, que a desagregação cortical do granito e das rochas do mesmo tipo é feita em profundidade e que os blocos arredondados que se encontram na superfície testemunham a remoção do material móvel de decomposição. Frequentemente, êstes blocos são encontrados em fundos de vale, deslocados e dispostos em caos pitoresco devido à intervenção da erosão fluvial (12). Em outros lugares, nas regiões litorâneas, a erosão marinha executa o mesmo trabalho (13), mas, desta vêz, com relação aos blocos das vertentes ou para aqueles colocados a uma relativa altura. Nêsse último caso, quando não é possível pensar-se numa ação direta da erosão marinha ou da erosão fluvial, poder-se-ia invocar, como causa principal do modelado, a lenta descida dos aluviões (*creeping*) ou, o que é muito mais rápido, o arrastamento do material incoerente pelas enxurradas.

IV. Na zona da floresta pluvial tropical a ação das enxurradas não é desprezível. — Nas regiões úmidas e quentes das Guianas, da Amazônia e do litoral oriental do Brasil, a desagregação mecânica e a decomposição podem atingir várias dezenas de metros de espessura (14); pode-se bem compreender, nêste caso, a excepcional importância das enxurradas. É verdade que, nestas regiões, a floresta recobre ou já recobriu todo o solo, constituindo uma proteção (15). Note-se, entretanto, que para aqueles que já passaram dias de chuva em plena floresta tropical, não há razão alguma para considerá-la como uma couraça ou um toldo impenetrável à ação das águas pluviais. Quando se inicia a chuva tropical, toda a folhagem é rapidamente recoberta por uma quantidade de água muito maior do que poderia suportar ou reter (16). Grossas gotas d'água tombam de fôlha em fôlha e de galho em galho, atingindo o solo, e se é verdade que elas são precipitadas com uma força sensivelmente menor do que no espaço descoberto, sua grossura é tal que deslocam facilmente o material móvel, orgânico ou mineral, que se encontra misturado ao

(11) RUELLAN (Francis), 53.

(12) RUELLAN (Francis), 60, est. XII, foto C.

(13) RUELLAN (Francis), 53-B, est. XVI, foto A.

(14) TREISE (Friedrich W.), 23, 25, 26; MARTONNE (Emmanuel de), 46; PAES LEME (Alberto Betim), 50, p. 271-274; RUELLAN (Francis), 60, p. 452 e p. 467-469; 64.

(15) Essa proteção é muito importante. Ver igualmente: BAILEY (Reed W.), 2; e STERNBERG (Hilgard O'Reilly), 72, p. 242.

(16) FURON (Raymond), 29; ver o papel dos musgos, p. 195.

tapete de plantas e detritos vegetais. Mas, por outro lado, cada tronco é uma pequena fonte de escoamento concentrada durante o decorrer da chuva, deixando a água escorrer para o chão pelos entrevãos das raízes e enriquecendo, depois, os pequeninos riachos estabelecidos temporariamente entre as árvores. Caminha-se, desta forma, sobre a água que escorre. Não é, de maneira alguma, um lençol tão contínuo quanto o dos campos, ainda que seja possível encontrar-se certas semelhanças com relação ao caso dos campos cerrados. No caso do escoamento pluvial na área das florestas, trata-se de um verdadeiro dedaço de minúsculos riachos anastomosados, que constantemente escavam os pés das árvores, pondo as raízes à mostra e testemunhando, desta forma, a quantidade de substância perdida pelo solo. Como já se notou há muito tempo (17), esta erosão é acompanhada de lavagens e dissoluções preparadas no ambiente quente e úmido do solo. Trata-se de uma forma de erosão que produz um recuo gradual das vertentes, paralelamente ao seu perfil (18), lembrando em parte o que acontece nas vertentes montanhosas das regiões áridas e semiáridas sujeitas à pedimentação. A enxurrada é aqui um poderoso agente do modelado, apesar da existência da cobertura florestal, cujo papel, aliás, não pode ser negligenciado, consistindo sobretudo num retardamento generalizado da velocidade dos lençóis de escoamento. Numerosos obstáculos existentes no interior da floresta diminuem a força das precipitações e da corrida das águas superficiais, subdividindo extremamente o lençol de escoamento em inúmeras pequenas correntes anastomosadas, através as passagens mais fáceis encontradas entre as árvores. Por outro lado, processa-se uma renovação do humus, pela decomposição dos vegetais, o que equivale, de certa forma, a uma espécie de auto-conservação do solo florestal; é evidente, porém, que o solo é mais facilmente trabalhado pelas raízes e que a umidade e os ácidos orgânicos podem penetrar mais profundamente, facilitando as ações de decomposição e dissolução que preparam o solo. É por esta razão que a destruição da floresta torna o solo muito sensível à erosão dos lençóis d'água pluvial; rompeu-se um certo equilíbrio.

É conveniente notar que a infiltração da água nos solos florestais não diminui sensivelmente o volume da enxurrada porque o solo úmido está muito próximo do ponto de saturação. A verdade é que a destruição da floresta faz desaparecer toda a possibilidade de renovação do humus, ao mesmo tempo que acelera e aumenta a potência erosiva do lençol de águas pluviais. Removida a cobertura florestal, as enxurradas não encontram mais obstáculo algum para

(17) FREISE (Friedrich W.), 23, 24, 25, 26, 27, 28.

(18) MARTONNE (Emmanuel de), 44, 45, 46.

retardar o transporte dos materiais móveis da superfície. O solo vegetal fica reduzido, às vezes, a uma espessura inferior a 15 ou 20 cm, renovando-se apenas cada ano, antes das queimadas, que arrebatam de novo a proteção superficial parcialmente reconquistada.

O desaparecimento da floresta na região do complexo granítico-gnáissico tem outra consequência, que é conveniente assinalar: a densidade da rede hidrográfica diminui, em parte pela evaporação acentuada que abaixa o nível hidrostático e, ainda, pelo desaparecimento do humus e do limo argiloso associado, que forma a porção mais permeável do solo. Nêstes casos, passamos a nos defrontar com uma extensão forçada do regime dos campos, devida exclusivamente à intervenção do homem. A estação seca, sempre mais ou menos bem acentuada, até mesmo na zona da floresta pluvial tropical, aumenta a semelhança dos fatos em relação à região dos campos, em particular nas partes acidentadas do planalto, situadas atrás das áreas montanhosas paralelas ao litoral, tais como o Vale do Paraíba, onde se produz um verdadeiro efeito de "foehn". Sobre as garupas dos baixos níveis do vale, que indicam antigas posições do rio (19), observa-se perfeitamente a ação da enxurrada em lençol e seus efeitos, sobretudo por ocasião das grandes chuvas de verão. As extensas regiões que eram recobertas pela floresta ao tempo das viagens de Saint-Hilaire (20) e que foram transformadas em plantações de café, em meados do século XIX, nada mais são, hoje, que um conjunto de baixas garupas peladas, desnudas de vegetação e recobertas por fracas pastagens. O solo arável de quase toda essa região foi removido pela ação vigorosa dos lençóis d'água pluvial.

Essa transformação estendeu-se a toda a "Zona da Mata" mineira (21), designação que aparece algumas vezes na toponímia brasileira, embora haja perdido toda a força de seu significado primitivo.

Por conseguinte, nas vertentes mais bem regadas por chuvas, a floresta tropical pode-se reconstituir espontaneamente, a princípio sob a forma de "capoeiras", desde que cessem as queimadas anuais. Nós mesmos fizemos a experiência na Mantiqueira, ao norte de Barra Mansa, e conhecemos, também, na própria região do Rio de Janeiro um dos mais belos casos de reconstituição da floresta situada na vertente meridional da Serra da Carioca. Nestas regiões, o cultivador e o criador lutam contra a invasão do "mato", isto é, contra a expansão dos arbustos e plantas rasteiras, em primeiro lugar, e, depois, a "capoeira" propriamente dita. Nas zonas limiáres da mata e dos campos, esta reconstituição espontânea nos pareceu inteiramente im-

(19) RUELLAN (Francis), 56.

(20) SAINT-HILAIRE (Auguste d'), 68.

(21) STERNBERG (Hilgard), 72.

possível, tornando-se necessário plantações sistemáticas. Subsiste, portanto, uma diferença sensível entre esta zona úmida e a de estação seca mais pronunciada: o processo iluvial é menos ativo e não conduz à formação de uma couraça laterítica ou "canga".

Como já se evidenciou muito bem, a laterização é muito ativa nas regiões florestais (22). Não somente a Amazônia, como também a região da floresta pluvial tropical do litoral oriental do Brasil testemunham esse fato. Se é que existem concreções, não se pode dizer que existam crostas compactas de limonita, a despeito de ser frequente a presença generalizada de dezenas de metros de argilas mais ou menos lateríticas. Julgamos que a estação seca não é suficientemente acentuada para facilitar o refluxo capilar das águas ferruginosas e a sua evaporação próximo à superfície. O que se observa de mais expressivo, nesta zona, é a formação de um endurecimento superficial das argilas mais ou menos arenosas depois de alguns dias de secas. Já assinalamos, aliás, fenômeno idêntico com relação ao Japão (23). Não podemos, de modo algum, negligenciar este fato, pois é a ele que se deve o deslize relativamente fácil das enxurradas ao iniciar-se a chuva. É devido ao endurecimento por dessecação das argilas caolínicas mais ou menos lateríticas e à relativa maleabilidade que lhes é imprimida depois pela umidade, que se torna possível e facilitada a erosão do solo pelas enxurradas.

Nesta zona do complexo granítico-gnáissico, que corresponde ao domínio do clima quente e úmido da floresta pluvial tropical, existem diferenças de resistências das rochas à erosão e ao intemperismo, que precisamos levar em consideração; em qualquer caso, porém, trata-se menos de uma resistência diferencial à erosão direta das enxurradas, do que uma facilidade maior ou menor para com os processos de desagregação e decomposição. É assim que os granitos e os gnaiesses a biotita e os micaxistos do complexo granítico-gnáissico se decompõem com grande facilidade, preparando os materiais móveis que, depois, são removidos e transportados pela enxurrada (24); os leptinitos resistem um pouco mais, enquanto que os quartzitos do complexo e os gnaiesses lenticulares formam, muitas vezes, relêvos residuais em que a rocha é nua e onde se observam algumas caneluras pouco profundas de enxurrada, acima das superfícies de formas suaves, modeladas nas argilas de decomposição pelas enxurradas em diversos níveis cíclicos.

Aquí intervem, desde logo, uma outra noção. Se a erosão diferencial foi bem estudada no que concerne ao trabalho erosivo dos rios, não se pode dizer o mesmo quanto à erosão elementar. Ora,

(22) ERHART (II.), 20.

(23) RUELLAN (Francis), 53.

(24) SILVEIRA (Fitzº Learahy da), 70.

no relêvo de tipo apalachiano, a erosão dos talvegues não satisfaz como explicação das formas das cristas, das vertentes e dos fundos dos vales. Em particular, a conservação e mesmo o aperfeiçoamento das formas cíclicas locais entre duas linhas de cristas, formas determinadas por soleiras de rochas duras onde a erosão marcou uma parada, são fatos incompreensíveis caso não se dê à erosão realizada pelas enxurradas um papel genético preponderante, porque, na maior parte dos casos, os afluentes do rio que segue a direção das camadas (curso subsequente) têm somente uma fraca importância fisiográfica, absolutamente fora de proporção com a regularidade do modelado dos níveis de erosão que aparecem no interior do vale apalachiano.

Torna-se, pois, necessário admitir que o modelado de erosão, em casos semelhantes, é feito por outros agentes complementares da erosão fluvial e não cremos que possa existir um outro complexo de forças erosivas mais eficaz, no caso, do que as enxurradas em lençol, que utilizam a meteorização das rochas menos resistentes, tomando primeiramente como nível de base local o talvegue do curso d'água mais próximo. Se houver um aprofundamento do talvegue, o nível de base será a ruptura de declive cíclica da vertente, que, sem dúvida, se abaixará pela erosão, mas que comandará a evolução de todo o relêvo situado à montante, até a sua adaptação completa ao novo ciclo iniciado pelo rio.

Nas regiões úmidas, como as que constituem a fachada costeira oriental do Brasil, forma-se, apesar de tudo, grande número de rios e riachos afluentes. Correspondem a uma concentração inicial das águas de escoamento, na maior parte das vezes guiadas por linhas de fraqueza da estrutura local: falhas, fraturas e, mais frequentemente ainda, por simples diaclases. Seguindo estas linhas, executam uma erosão remontante por retomadas de erosão vertical, enquanto que o modelado lateral das vertentes é feito pelas enxurradas, controladas pelas rupturas de declive de caráter cíclico. Se a erosão das vertentes descobre um banco de rochas duras, êste passará a comandar, pelo menos momentaneamente, a erosão dos lençóis de enxurrada que trabalham à montante da soleira recém-estabelecida.

O modelado das vertentes, no relêvo apalachiano, parece-nos, pois, ligado a êsse processo. É por essa razão, mal compreendida ainda, aliás, que emprestamos tanta importância à figuração das rupturas de declive, estruturais ou cíclicas, na figuração das interpretações de fotografias aéreas.

Deve-se comparar a desagregação dos sienitos nefelínicos e rochas aparentadas com tipo de desagregação dos granitos. Em qualquer caso, os cristais mais grosseiros tornam mais fácil sua disjunção; a rocha toma, algumas vezes, o aspecto rugoso e, ao arrastar os ele-

mentos que se desagregam, a erosão executada pelas enxurradas chega a modelar caneluras (25), formas de erosão tanto mais interessantes porque, situadas nos cumes e nas vertentes abruptas de morros isolados, demonstram que não resultam de qualquer escoamento organizado, mas, apenas, do escoamento direto das águas da chuva.

Nota-se, no Itatiáia, que acima das altas superfícies de erosão de relêvo suavizado (superfície dos Campos), subsistem maciços residuais que lembram verdadeiros "inselbergs" (26). As águas de enxurradas, que modelam as caneluras, depositam nos sopés da superfície de erosão de 2200 m, mais ou menos, uma arena cujos cristais encontram-se apenas alterados. Esta alta superfície de erosão apresenta contra-vertentes, lagos e pântanos, anichados em seu dorso. Podemos atribuí-los aos nichos de nivação quaternária ou a uma decomposição *in situ*; de qualquer maneira, porém, há necessidade de se salientar a existência de uma ruptura de declive bastante accentuada entre os sopés das vertentes dos blocos montanhosos e os pedimentos que os franqueiam. Não se trata, aqui, de solapamento lateral (27), nem da origem fluvial do pedimento; é necessário, mesmo, admitir que a forte precipitação das águas pluviais que envolve a montanha executa um recuo generalizado dos altos paredões rochosos das vertentes, de um modo paralelo à elas próprias, aumentando sua inclinação porque há um progressivo engrossamento do lençol de enxurrada desde o cimo dos blocos montanhosos até os sopés das vertentes.

Enfim, para completar este estudo do comportamento das rochas cristalinas e cristalofílicas, em regiões quentes e úmidas, torna-se necessário assinalar que, em profundidade, os diabásios, basaltos e meláfiros decompõem-se em finas partículas, muito ricas em limonita, que são facilmente arrastadas pelos lençóis d'água de enxurrada nas regiões de declive accentuados e que, ao contrário, se acumulam, desde que os declives se atenuem, cessando de mover-se nos pontos onde aparecem contravertentes.

Parece-nos, assim, que, num clima quente e úmido, sujeito a fortes aguaceiros, as enxurradas têm sua ação diretamente condicionada pelo declive. Sendo extremamente violenta sobre as vertentes montanhosas, esta ação tem uma tendência para levar os produtos de desagregação cortical granular, fazendo recuar as vertentes e accentuando a sua inclinação; em qualquer caso, porém, esses lençóis de águas correntes têm um apóio cíclico nos talvegues dos rios onde eles se integram e, se esse talvegue se aprofundar, o apóio se fará sobre a ruptura de declive que marca sua antiga posição cíclica.

(25) MARTONNE (Emmanuel de), obras citadas; GUIMARAES (Fábio de Macedo Soares), 30; RUELLAN (Francis), 56, 60, 63.

(26) MARTONNE (Em. de), 46.

(27) COTTON (C. A.), 15, p. 259.

Se o rio já calibrou seu vale, o lençol d'água pluvial ficará imediatamente afrouxado aos sopés das vertentes, contribuindo apenas para aumentar a largura do vale, regularizando as formas, enquanto os baixos flancos do vale recuarão progressivamente para os lados. Esta evolução será tanto mais pronunciada quanto menos ativas forem as ações de ravinamento por escoamento concentrado, devido ao retardamento determinado pela vegetação; o que significa dizer que, nesses casos, a erosão em lençol poderá ser mais importante do que a própria erosão fluvial.

(A concluir).