

O Desenvolvimento Teórico-Analítico em Geomorfologia: do Ciclo de Erosão aos Sistemas Dissipativos

ANTONIO CHRISTOFOLETTI *

As concepções teóricas são fundamentais para as temáticas científicas, constituindo referenciais para a formulação de problemas, planejamento das pesquisas e interpretação dos dados. Representando esforços criativos visando captar as características e a dinâmica da *realidade*, as teorias possuem durabilidade relativamente efêmera pois são superadas e melhoradas pelo avanço do conhecimento científico. Focalizando o estudo das formas de relevo, a Geomorfologia surge como setor científico em que as proposições teóricas sempre foram explícitas. mormente no transcurso dos últimos cem anos.

Na evolução do conhecimento geomorfológico pode-se discernir pelo menos dois conjuntos de abordagens teóricas, além das nuances observadas internamente. O primeiro conjunto de teorias baseia-se na idéia de que o modelado terrestre evolui, como resultado da influência exercida pelos processos morfogenéticos, ao longo de uma seqüência de fases que formam o ciclo. As concepções cíclicas delineadas por William Morris Davis e Lester King representam os modelos fundamentais. O segundo grupo baseia-se nas concepções da teoria dos sistemas e na premissa do equilíbrio dinâmico, focalizando a análise morfométrica e a dinâmica dos processos e simultaneamente estabelecendo a interação entre eles. As formulações expostas por John T. Hack sobre a teoria do equilíbrio dinâmico e as de Luna B. Leopold e W. B. Langbein sobre a teoria probabilística da evolução do modelado constituem dois exemplos. O uso de sistemas dissipativos representa indícios de nova fase. Se as concepções cíclicas foram amplamente desenvolvidas, predominantes por várias décadas, as demais ainda permanecem em fase de crescimento e muitas nuances não foram plenamente analisadas tendo em vista a morfologia e os processos reinantes nos sistemas morfológicos. Nesta contribuição, o nosso objetivo é delinear esses quadros, como orientação geral, sem esmiuçar as proposições envolvidas em cada abordagem teórica.

* Departamento de Cartografia e Análise da Informação Geográfica, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP — Campus de Rio Claro. Pesquisador Científico do CNPq.

O ciclo geográfico, proposto por William Morris Davis (1899), representa a primeira concepção desenvolvida de modo completo. Na obra de seus predecessores e contemporâneos as formas de relevo eram explicadas pelos processos, mas nunca foram colocadas em séries evolutivas coerentes, e a contribuição maior do referido geólogo americano foi "sistematizar a sucessão das formas em um ciclo ideal e procurar uma terminologia" (Baulig, 1950). A teoria do ciclo geográfico obteve sucesso porque havia facilidade em se adaptar os seus esquemas às observações panorâmicas da paisagem morfológica, e as designações de *ciclo de erosão* ou *ciclo geomórfico* são usualmente empregadas como sinônimos. Inclusive estas duas últimas suplantaram a primeira na literatura geomorfológica. A teoria davisiana e o primeiro modelo evolutivo foram desenvolvidos com base nas áreas temperadas úmidas e, considerando que na vida dos seres organizados há funções e aspectos que se sucedem invariavelmente, do nascimento até a morte, a seqüência das fases sucessivas pelas quais passa o modelado recebeu as designações antropomórficas de juventude, maturidade e senilidade.

O ciclo de erosão davisiano compreende um rápido soerguimento da área por uma ação tectônica e um longo período de atividade erosiva. Chegando ao fim, à peneplanície, um novo soerguimento originará a instalação e a evolução de outro ciclo. Através desse mecanismo, uma região poderá ser afetada por vários ciclos erosivos, cujos vestígios podem ser encontrados nas rupturas de declive dos cursos de água e no estabelecimento das superfícies aplainadas. Essas, como formas residuais de antigos ciclos, assinalam as várias gerações cíclicas que afetaram a área. Todo e qualquer ciclo de erosão inicia-se a partir do nível de base e gradativamente se propaga pelo interior das massas continentais.

O ciclo geomórfico davisiano sofreu alterações no início do século XX, mas sem colocar em foco a sua problemática fundamental, que é a seqüência de fases até o aplainamento generalizado. As conseqüências relacionadas com os movimentos eustáticos, acrescentadas por H. Baulig (1928) ao estudar o Maciço Central Francês, foram absorvidas. Ao longo dos anos numerosas críticas e objeções foram endereçadas à teoria davisiana, e os trabalhos de Leuzinger (1948), Christofolletti (1973; 1980) e Abreu (1983) fornecem quadro geral sobre essas questões. Todavia, um ponto crucial é representado pelo simpósio sobre a obra de Walter Penck, organizado por O. D. von Engel (1940), onde as contribuições coordenam explicitamente muitas das críticas. Apesar das inúmeras objeções que lhe foram levantadas, conheceu ampla difusão até a Segunda Guerra Mundial e ainda na atualidade as suas implicações norteiam grande parte das pesquisas geomorfológicas. Tomando como base as concepções inicialmente propostas para as regiões temperadas úmidas, estabeleceram-se modelos evolutivos

para o ciclo árido (Davis, 1905; 1909), para o ciclo glacial das terras elevadas (Davis, 1900; 1906), para a morfologia litorânea (Johnson, 1919) e para vários aspectos do modelado continental, como o desenvolvimento do modelado cárstico (Cvijic, 1918), das regiões com estruturas concordantes (planaltos tabulares e relevo de cuevas), das regiões com estruturas dômicas e dobradas, e outras. Com o desenvolvimento da abordagem climática, houve a tentativa de se aplicar a noção aos modelados esculpidos sob os diferentes climas (Biro, 1960). No conjunto da ampla literatura biográfica, o volume elaborado por Chorley, Beckinsale e Dunn (1973) constitui a análise mais completa atualmente disponível sobre a vida e a obra de William Morris Davis.

● MODELO DA PEDIMENTAÇÃO E PEDIPLANAÇÃO

O modelo evolutivo relacionado com a pedimentação e pediplanação apresenta os mesmos princípios teóricos que os modelos cíclicos davisianos. As distinções maiores entre ambos residem na maneira pela qual as vertentes evoluem e nas pressuposições relacionadas com o nível de base.

Quanto ao nível de base, esse modelo pressupõe a permanência e a generalização dos mesmos. Qualquer ponto de um rio é considerado como nível de base para todos os demais pontos a montante, assim como cada ponto de uma vertente representa um nível de base para a parcela da vertente situada a montante. Para o desenvolvimento desse modelo cíclico não é mais necessário a utilização do nível de base geral, e o ciclo erosivo pode se desenvolver em qualquer setor das massas continentais. Essa concepção já se encontrava implícita em vários modelos davisianos, como nos do ciclo árido e glaciário. A diferença com o ciclo davisiano reside no modo de regressão das vertentes. Em vez de ocorrer rebaixamento contínuo e generalizado das vertentes, aliada à gradativa diminuição das declividades, verifica-se uma evolução e regressão das vertentes paralelamente a si mesmas. Com o decorrer do tempo, devido ao desgaste das vertentes que regridem conservando as declividades, haverá a formação de *pedimentos* entre o sopé da vertente e o canal fluvial. Nos estágios finais do ciclo de erosão, a soma e a coalescência dos pedimentos, juntamente com as amplas planícies de inundação, constituem as *pediplanícies*, representando as superfícies aplainadas formadas através da pedimentação.

Os estudos pioneiros concernentes à regressão paralela das vertentes foram realizados nas regiões semiáridas, tais como os de W. J. McGee (1897), de S. Paige (1912) e Kirk Bryan (1935). O modelo evolutivo envolvendo a regressão paralela das vertentes foi aplicado às regiões úmidas por Walter Penck (1923), e Lester King considerou esse modelo como típico do desenvolvimento do modelado terrestre na escala continental. Em estudos mais específicos, Lester King

utilizou desse modelo para explicar o modelado da África do Sul, e posteriormente aplicou-o ao Brasil (1956) e em todos os demais continentes (King, 1962).

Em contextos analíticos deve-se destacar as implicações interpretativas relacionadas com as oscilações climáticas no Quaternário, desenvolvidas principalmente em estudos dedicados ao Brasil de Sudeste, com base no modelo delineado por Bigarella, Mousinho e Silva (1965a; 1965b), englobando a sucessão de pedimentos nas fases de clima seco e o entalhamento fluvial nas fases de clima úmido. Considerações pertinentes a esse modelo, em face dos aspectos relacionados com a densidade de drenagem, foram expostas por Christofolletti (1981; 1982).

Os modelos davisianos e o modelo da pedimentação pertencem à mesma concepção teórica, seqüência de fases evolutivas e irreversíveis levando ao aplainamento geral, e as críticas e objeções levantadas ao modelo proposto por William M. Davis também acabam sendo aplicáveis ao de Lester King.

A TEORIA DO EQUILÍBRIO DINÂMICO

A teoria do equilíbrio dinâmico considera o modelado terrestre como um sistema aberto. A fim de que possam permanecer em funcionamento, necessitam de ininterrupta suplementação de energia e matéria, assim como funcionam através de constante remoção de tais fornecimentos. Grove Karl Gilbert (1877) foi o primeiro a expor uma concepção teórica do desenvolvimento do modelado em termos de equilíbrio dinâmico e recentemente, em várias contribuições, John T. Hack (1957; 1960; 1965; 1973; 1975) utilizou-a a fim de interpretar a topografia do vale do Shenandoah, na região apalacheana, levando em consideração as características das redes de drenagem e das vertentes, assim como para explicitar as implicações ligadas com o perfil longitudinal, oscilações eustáticas e reconhecimento de superfícies aplainadas. Em 1965, Howard delineou várias implicações dessa teoria para os estudos geomorfológicos.

Aplicando a concepção do equilíbrio dinâmico às relações espaciais nos sistemas de drenagem, Hack ampliou consideravelmente as idéias de Gilbert e ofereceu nova abordagem à interpretação da paisagem. Essa teoria supõe que em um sistema todos os elementos da topografia estão mutuamente ajustados de modo que se modificam na mesma proporção. As formas e os processos encontram-se em estado de estabilidade e podem ser considerados como independentes do tempo. Ela requer um comportamento balanceado entre forças opostas, de maneira que as influências sejam proporcionalmente iguais e que os efeitos contrários se cancelem a fim de produzir o estado de estabilidade, no qual a energia está continuamente entrando e saindo do sistema.

A argumentação de Hack baseia-se no fato de que as formas de relevo e os depósitos superficiais têm uma complexa, mas íntima, relação com a estrutura

geológica. O autor verificou que a declividade dos canais fluviais diminui com o comprimento do rio, de maneira específica conforme o tipo de rocha. Todavia, o valor da declividade do canal é diferente para categorias diversas de material rochoso; por exemplo, na bacia do Shenandoah, os canais nos arenitos endurecidos possuem gradiente de aproximadamente dez vezes o dos canais esculpidos nos folhelhos, nos trechos próximos às cabeceiras. A amplitude topográfica, a distância vertical entre o topo da vertente e o fundo de um rio adjacente, é aproximadamente igual dentro de determinado tipo de rocha, mas difere muito de uma litologia para outra. Do mesmo modo, os perfís das vertentes variam conforme o material litológico. As rochas mais resistentes formam um relevo mais alto do que as rochas não-resistentes, e as diferenças topográficas não serão eliminadas. Por essa razão, as principais feições topográficas estão relacionadas com a estrutura geológica e os grandes rios mostram que seus cursos se desviam das áreas de rochas resistentes (Hack, 1975).

A teoria do equilíbrio dinâmico demonstra que os aspectos das formas não são estáticos e imutáveis, mas que são mantidos pelo fluxo de matéria e energia. Com o passar do tempo, a massa da paisagem estará sendo removida e implicando em alterações progressivas em algumas propriedades geométricas, como no decréscimo do relevo médio, desde que não haja nenhuma compensação tectônica. A existência do princípio do tamanho ótimo e a da lei do crescimento alométrico para os componentes individuais, ou subsistemas, implicam que se a energia disponível dentro do sistema for suficiente para impor o tamanho ótimo naquele sistema, esse tamanho será mantido através do tempo e não estará sempre susceptível às mudanças sucessivas e seqüenciais. A densidade de drenagem e a estruturação das redes de drenagem podem permanecer as mesmas através de oscilações paleoclimáticas, como na sucessão de fases secas e úmidas das áreas intertropicais. Para que haja modificações sensíveis no sistema é preciso que essas oscilações ultrapassem os limiares que interferem no equilíbrio interno, ocasionando reajustamento geral. Dessa maneira, é preciso que se reconheça a estabilidade relativa de um conjunto de formas topográficas e a sensibilidade, e o grau de absorção, perante as modificações e alterações oriundas do meio ambiente.

A respeito das implicações ligadas com os movimentos eustáticos, Hack (1975) mostra que os rios são independentes dos seus níveis de base. Se acontecer um soerguimento eustático, as áreas de montante provavelmente não serão afetadas. Essa concepção harmoniza-se com a idéia de que os perfis longitudinais e o comportamento geral dos cursos d'água que estão modelando as declividades são determinadas pelas condições das áreas de montante e não tanto como pelas condições providas de jusante. Considerações a esse respeito foram desenvolvidas por Christofolletti (1977; 1981). Por outro lado, essa teoria não descarta a existência de superfícies aplainadas. A existência dessas superfícies

pode continuar sendo instrumento valioso para a compreensão geral do modelado terrestre, mas retira dessa morfologia o significado de ser etapa do final de ciclo erosivo e a sua conotação genética.

A teoria do equilíbrio dinâmico possibilitou a intensificação dos estudos sobre os processos e o desenvolvimento das técnicas de quantificação, assim como o manejo adequado das relações entre a forma e a dinâmica do modelado terrestre, em várias hierarquias de grandeza espacial.

A TEORIA PROBABILÍSTICA DA EVOLUÇÃO DO MODELADO

Luna B. Leopold e W. B. Langbein (1962) foram os primeiros a estabelecer proposições relacionadas com a teoria probabilística para a abordagem evolutiva das paisagens como um todo, empregando analogias simples com a termodinâmica. A paisagem é constituída de numerosos elementos, influenciados por diversos fatores, de modo que se torna quase impossível seguir em detalhe o desenvolvimento de cada constituinte (rios, vertentes etc.) do sistema em consideração. Por outro lado, a escala dos fenômenos atuantes é tão variada, assim como é complexa a inter-relação entre eles, que o conhecimento só pode prosseguir através de considerações sobre as suas propriedades médias, utilizando-se de conceitos probabilísticos.

As paisagens constituem respostas a um complexo de processos, cada um exigindo apropriadas escalas espacial e temporal para serem estudados. Pode-se discernir uma taxonomia das paisagens, inseridas no princípio da hierarquia aninhada entre os diversos graus de grandeza temporo-espacial dos sistemas, em vista de suas especificidades funcionais. Na esculturação das formas de relevo essa complexidade é descrita pelas inúmeras variáveis envolvidas na análise dos elementos, havendo interação, interdependência e mecanismos de retroalimentação. O mecanismo de cada processo, assim como o delinear de suas consequências, pode ser conhecido de maneira determinística. Mas as interações e os mecanismos de retroalimentação fazem com que as combinações entre tais conjuntos de processos ganhem a conotação de aleatoriedade em sua ocorrência. A ajustagem no sistema pode levar ao aparecimento de respostas diferenciadas, todas elas possíveis, embora se possa pensar que as respostas mais comuns se organizem em torno do valor modal. Os exemplos de formas de relevo, oriundos da atuação de determinado sistema morfogenético, representam uma população estatística, compatível com a distribuição normal. A tendência central dessa distribuição pode ser descrita ou prevista, mas em nenhum momento é possível especificar as condições exatas para descrever um exemplo individualizado. A noção de probabilidade insere-se como básica na avaliação da magnitude e frequência dos eventos, e na ajustagem das formas de relevo.

A teoria probabilística apresenta perspectivas muito amplas, e os modelos elaborados em função dessa abordagem vão sendo ampliados. Em 1964 Scheidegger demonstrou as implicações da mecânica estatística para a Geomorfologia e posteriormente assinalou a analogia da termodinâmica para o estudo dos meandros e para a evolução das paisagens. Em 1966 Scheidegger e Langbein expuseram várias aplicações do conceito de probabilidade nos estudos geomorfológicos, e Langbein e Leopold (1966) utilizaram do conceito de variância mínima no estudo sobre os meandros fluviais. A teoria probabilística abriu possibilidades amplas para a utilização das técnicas de simulação, empregadas na análise dos problemas relacionados com as redes de drenagem e vertentes. Outra nuance analítica está relacionada com o estudo da distribuição da energia no sistema, focalizando a entropia do sistema.

A teoria do equilíbrio dinâmico e a concepção probabilística sobre a evolução do modelado terrestre surgiram quase simultaneamente, mas torna-se hoje difícil querer explicitar as diferenças básicas entre ambas. As proposições envolvidas nos trabalhos parecem indicar que são facetas nascidas na adoção da teoria de sistema, reativadas e acrescidas por amplo envolvimento com as ciências físicas a respeito da focalização conceitual e analítica. A abordagem do equilíbrio dinâmico surge como concepção teórica mais explícita e coesa, enquanto as contribuições probabilísticas representam mais enriquecimento no tratamento das características do sistema, possibilitando apreensão adequada do funcionamento complexo e das relações entre os processos e a morfologia.

DUAS NUANÇAS CONCEITUAIS: EROSÃO EPISÓDICA E NEO-CATASTROFISMO

Torna-se comum verificar que concepções teóricas novas procuram recuperar e modificar estruturas teóricas mais antigas, introduzindo variações que permitem reativá-las. O conceito de erosão episódica e o panorama do neo-catastrofismo são dois exemplos.

Considerando que os modelos de evolução geomorfológica são extremamente simplificados, desde 1965 Schumm procura estabelecer abordagem mais adequada em função da grandeza temporal envolvida para a análise do desenvolvimento das formas de relevo (Schumm e Lichty, 1965). Schumm (1975) observa que as declividades dos cursos d'água e as altitudes dos fundos de vale não se alteram progressivamente ao longo do tempo geológico, mas sim através de períodos relativamente breves de instabilidade e incisão que são separados por longos períodos de estabilidade relativa. Em fases de instabilidade, o sistema se reajusta oferecendo *resposta complexa*, com incisões e agradações. Por outro lado, o conceito de *limiares geomorfológicos* sugere que pode haver mudanças dentro do sistema fluvial que não são desencadeadas por influências externas,

mas devidas apenas aos controles geomorfológicos inerentes ao sistema em erosão. Assim, quando "a influência de variáveis externas, como o soerguimento isostático, é combinada com os efeitos de respostas complexas e limiares geomorfológicos, torna-se claro que a denudação, pelo menos durante o estágio inicial do ciclo geomorfológico, não pode ser um processo progressivo. Em vez disso, compor-se-ia de episódios de erosão separados por períodos de relativa estabilidade, numa complicada seqüência de eventos. Muita dessa complexidade seria resultante de transmissão defasada de informação através do sistema" (Schumm, 1975). Esse tipo de erosão episódica corresponde ao modelo de equilíbrio dinâmico meta-estável, que acontece quando uma influência externa se introduz no sistema incitando-o a ultrapassar limiares e levando-o a se reajustar em novas condições (Chorley e Kennedy, 1971). Dessa maneira, a sucessão de fases cíclicas da teoria davisiana seria correspondente às etapas de erosão episódica e de estabilidade, sem a necessidade de evoluir seqüencialmente até a fase final. Por outro lado, o conceito de erosão episódica pode ser aplicado a sistemas morfológicos de dimensões espaciais diversas, em bacias hidrográficas ou na recomposição de níveis de terraços em vale fluvial, "tendo a vantagem de acomodar erosão progressiva, equilíbrio e fases de instabilidade e o ajustamento da paisagem em um único modelo" (Schumm, 1977).

Ao tratar da história da Geomorfologia, Tinkler (1985) oferece-nos panorama rápido a respeito das catastrofes nas explicações sobre as formas de relevo, tradicionalmente ligadas com o dilúvio e eventos desencadeados pela "vontade divina", tais como terremotos e vulcanismo. Essa conotação religiosa foi ultrapassada. Entretanto, por volta da metade do século XX, os paleontólogos introduziram o termo *neo-catastrofismo* nas geociências, devido a preocupação com o súbito e maciço desaparecimento de muitas espécies, como a extinção que afetou os grandes mamíferos no final do Pleistoceno. Para o âmbito da Geomorfologia, George H. Dury (1980) vem analisando a questão, assinalando sua aplicabilidade no tocante aos estudos sobre a magnitude e freqüência dos eventos. As catastrofes conceitualmente passam a se relacionar com os eventos de alta magnitude e baixa freqüência, afetando os processos nos geossistemas. Um exemplo grandioso correspondente aos vales cicatrizados ("Channelled scablands") da região de Washington. Essa morfologia local foi explicada por Bretz (1923) como sendo resultado de cheias catastróficas devido ao rompimento dos lagos proglaciais do Pleistoceno superior, quando os fluxos encheram os vales pré-existentes e ultrapassaram inclusive os interflúvios, e as correntes de escoamento então se entrelaçaram e esculpíram nas rochas e loess complexa rede anastomosada de canais. Recentemente, os trabalhos de Baker (1978a; 1979b, 1981) mostraram a grandiosidade desse evento, cujas descargas máximas atingiriam a cifra de $21,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ por segundo, ou seja 700 vezes a descarga máxima do Amazonas. Em proporções mais compatíveis com a dinâmica atual, os exemplos do rio Tubarão (1975), as cheias e precipitações no Vale do Rio

Doce (1979), as do Vale do Itajai (1982) e os deslizamentos pontuais da Serra do Mar (1967) e no Rio de Janeiro (1987) inserem-se no contexto conceitual do neo-catastrofismo.

A ADOÇÃO DA TEORIA DE SISTEMAS

A adoção da teoria de sistemas propiciou renovação conceitual em Geomorfologia, e as suas proposições foram sendo incorporadas nos mais diversos setores de estudo. Embora seja possível detectar sinais mais antigos, as observações mais explícitas ligam-se com as contribuições de Chorley (1962) e Chorley e Kennedy (1971). Ao concatenar as idéias dispersas e oferecer a tipologia dos sistemas, criou-se oportunidade para estudos mais minuciosos e para as tentativas de ensaios gerais, visando inclusive a elaboração de livros textos. Nesse aspecto, a obra de Chorley, Schumm e Sudgen (1985) representa o trabalho mais satisfatório atualmente disponível. Para avaliação dos sistemas da superfície terrestre, como contribuição valiosa para a Geografia Física, deve-se destacar a contribuição de Huggett (1985).

A abordagem de sistemas em Geomorfologia possibilitou inclusive o discernimento e a compatibilização das etapas adequadas ao procedimento analítico. Essas focalizações analíticas correspondem aos diversos níveis de tratamento, assinalando o grau de complexidade a ser estudado, direcionados para o estudo da morfologia, da dinâmica e da integração conjunta do sistema. Ao nível do tratamento morfológico, as análises envolvem estudos sobre as características geométricas das formas de relevo e da distribuição espacial, assinalando aspectos dos padrões em função dos índices topográficos, morfométricos e topológicos. Esse setor recebeu atenção generalizada, estimulada inicialmente pelos trabalhos de R. E. Horton e A. N. Strahler. Na atualidade, um ponto de vanguarda reside no emprego das fractais. Ao lado da morfologia, desenvolveu extraordinariamente o estudo dos processos, procurando compreender a dinâmica e os fluxos de energia e matéria, assim como o comportamento do sistema em seu estado de equilíbrio, mudança e desenvolvimento. Compatibilizando ambas, o terceiro nível integra o relacionamento dos processos-respostas, focalizando a expressividade da estrutura (espacialidade) em função das forças e processos atuantes. Ao lado dos estudos empíricos ganhou realce as atividades ligadas com a modelagem e teorização aplicada em Geomorfologia. A obra de Scheidegger (1970), *Theoretical Geomorphology*, tornou-se clássica, e os simpósios recentes organizados por Thorn (1982), Woldenberg (1985) e Ahnert (1987) constituem exemplos ligados a essa temática.

A concepção de sistema salienta que o conceito básico reside em considerar a totalidade, mas que se torna válido estudar as interações entre os elementos como as próprias características dos elementos. Como unidade, o

sistema apresenta identidade, cuja persistência faz ressaltar sua manutenção em face de distúrbios ocorridos no meio ambiente. Há um grau de absorção a esses distúrbios externos. Por outro lado, quando as alterações externas ultrapassam magnitudes de alto valor, acima dos limiares, os sistemas possuem capacidade para se adaptar e atingir novo estado de equilíbrio, em face das condições imperantes. Todavia, ao delinear o sistema a ser estudado, deve-se estar consciente da grandeza espaço-temporal envolvida, no contexto do embutimento hierárquico. O canal fluvial pode ser um sistema, mas se encontra como parcela da rede de drenagem. Este sistema, por sua vez, constitui elemento da bacia hidrográfica. O sopé e os interflúvios integram o sistema das vertentes, que por sua vez é elemento também do sistema da bacia hidrográfica.

A adoção da teoria de sistemas em Geomorfologia foi inspirada nas contribuições de Ludwig von Bertalanffy, cujos trabalhos fundamentais se relacionaram com o campo da Biologia (Bertalanffy, 1950; 1973). Muitas concepções expressam essa similitude, como a lei do crescimento alométrico e a do tamanho ótimo. Embora muitos estudos desenvolveram a aplicação da abordagem de sistemas, pode-se afirmar que essa "onda revolucionária" ainda não atingiu seu ápice. Mesclando contribuições com essa visão biológica dos sistemas, a literatura geomorfológica começa a mostrar sinais visando aplicar perspectivas oriundas da Física e da Química no tocante aos sistemas dinâmicos, a fim de compreender mais adequadamente a complexidade da organização espacial dos sistemas do meio físico. Buscam-se as bases nos trabalhos de Prigogine (1947; 1980), Prigogine e Stengers (1984a; 1984b), assim como nos de Haken (1977; 1984; 1985), Jantsch (1980), Laszlo (1972; 1983) e Nicolis e Prigogine (1977), por exemplo. A expectativa é a de que a dinâmica dos sistemas não lineares é imensamente rica e complexa, envolvendo comportamento periódico e caótico. Huggett (1987), assinala que, conforme Prigogine (1980), os sistemas dissipativos possuem três aspectos interligados: função, que se expressa nas equações de processo: estrutura espaço-temporal (configuração), que resulta das instabilidades, e flutuações, que desencadeiam as instabilidades.

Na Geomorfologia, além da contribuição de Huggett (1987), os trabalhos mais significativos são de W.E.H. Culling. Em 1985 esse autor apresentou a teoria dos sistemas dinâmicos não lineares em sua aplicação para a Geografia Física. Em 1987 expõe a potencialidade das abordagens modernas sobre os sistemas dinâmicos para o pensamento geográfico, tanto para os aspectos físicos quanto humanos. Durante a XIX Assembléia Geral da União Internacional de Geodésia e Geofísica, realizada em agosto de 1987, na cidade de Vancouver, Adrian Scheidegger e Martin Haigh coordenaram Simpósio a respeito da abordagem dos sistemas dinâmicos no estudo dos azares naturais, salientando que essa "abordagem representa uma metodologia para se reconhecer as similaridades funcionais na evolução das singularidades de muitos sistemas", e que

começa a ser desenvolvida no âmbito das geociências (Haigh e Scheidegger, 1988). No volume *Geomorphological Models*, organizado por Ahnert (1987), Haigh (1987) utiliza da teoria dos sistemas para analisar as noções de hierarquia e auto-organização em Geografia, considerando a evolução das estruturas dissipativas. Essa temática também encontra-se inserida na apresentação feita por Richards (1987) a respeito do ambiente, processos e formas nos canais fluviais. Em outros artigos, Culling (1988b; 1988c) trata da aplicação das noções de ergodicidade, dimensão e entropia e da análise da variabilidade espacial em paisagens, considerando que a regularidade/irregularidade das paisagens exhibe estocasticidade e pode ser estudada como função de um campo gaussiano.

Não se deve esquecer, por último, as tentativas para se aplicar a teoria das catástrofes, com base nos trabalhos de René Thom (1972; 1975; 1988), no estudo do desenvolvimento e mudanças nos sistemas em Geomorfologia. Ao lado da proposição geral de Wagstaff (1976), surgem como indicadores as contribuições de Graf (1979), sobre os canais fluviais, e de Ai e Miao (1987), sobre deslizamentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao focalizar as abordagens teóricas em Geomorfologia pode-se salientar que as teorias cíclicas do modelado, embora deixando de servirem como referenciais aos trabalhos dos geomorfólogos, ainda não foram substituídas por concepção teórica explicitamente estruturada e satisfatória em seu conjunto. A concepção do equilíbrio dinâmico, enriquecida com as proposições probabilísticas e dos sistemas dissipativos, ainda não foi plenamente trabalhada em Geomorfologia. As proposições teóricas possuem aplicabilidade setorial, embora muitos princípios e conceitos já mostraram potencial de uso. Adrian Scheidegger, por exemplo, vem recompondo os princípios de antagonismo, de instabilidade, de catena, de seleção e de controle estrutural (Scheidegger, 1979; 1983; 1986; 1987; Scheidegger e Kohbeck, 1985; Scheidegger e Ai, 1986). Todavia, sente-se que a concepção teórica em Geomorfologia se encontra aparentemente caótica e desconexa, sem um paradigma formalizado. As bases estão lançadas e as contribuições dispersas, mas há ausência de concatenação em ensaio semelhante ao que William M. Davis fez para a sua época.

As considerações expostas neste artigo baseiam-se mais nos trabalhos desenvolvidos na literatura produzida pelos pesquisadores americanos e ingleses. Por essa razão, sua abrangência é parcial pois deixa de incluir as linhagens teóricas observadas nos trabalhos dos pesquisadores germânicos, eslavos e japoneses, entre outros. As diferenças não são essenciais, mas suas contribuições são significativas e devem ser incorporadas numa avaliação e no desenvolvimento teórico e analítico da ciência geomorfológica. Assim, a concatenação teórica e a inserção

concomitante em avaliação conjunta, elaborada nas diferentes instituições de pesquisa, são programas de pesquisa estimulantes na Geomorfologia contemporânea.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, Adilson A. de, 1983. A teoria geomorfológica e sua edificação. Análise crítica. *Revista do Instituto Geológico*, n.º 4, 5-23.
- AHNERT, Frank, 1987. *Geomorphological Models*. Catena Verlag, Cremlingen (Catena Supplement n.º 10).
- AI, N. S. e MIAO, T. D., 1987. A model of progressive slope failure under the effect of the neotectonic stress field. In *Geomorphological Models* (Ahnert, F., editor), pp. 21-29. Catena Verlag, Cremlingen.
- BAKER, Victor R., 1978a. Palaeohydraulics and hydrodynamics of scabland floods. In *The Channeled Scabland* (Baker, V. R. e Nummedal, D., editores), pp. 59-79. NASA, Washington.
- BAKER, Victor R., 1978b. Large-scale erosional and depositional features of the channeled scabland. In *The Channeled Scabland* (Baker, V. R. e Nummedal, D., editores), pp. 81-115. NASA, Washington.
- BAKER, Victor R., 1981. *Catastrophic Flooding: the origin of the Channeled Scabland*. Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg.
- BAULIG, Henri, 1982. *Le Plateau Central de la France et sa bordure méditerranéenne*. Librairie Armand Colin, Paris.
- BAULIG, Henri, 1950. *Essais de Géomorphologie*. Publicação de l'Université de Strasbourg.
- BERTALLANFY, L. von, 1950. An outline of the General System Theory. *British Journal of Philosophical Science*, 1: 134-165.
- BERTALLANFY, L. von, 1973. *Teoria geral dos sistemas*. Editora Vozes, Petrópolis.
- BIGARELLA, J. J. MOUSINHO, M. R. & SILVA, J. X. da, 1965a. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. *Boletim Paranaense de Geografia*, (16-17): 117-151.
- BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R. & SILVA, J. X. da, 1965b. *Processes and Environments of the Brazilian Quaternary*. Publicação da Universidade do Paraná, Curitiba.
- BIROT, Pierre, 1960. *Le cycle d'érosion sous les differents climats*. Faculdade de Filosofia da Universidade do Brasil, Rio de Janeiro.
- BRETZ, J. H., 1923. The channeled scabland of the Columbia Plateau. *Journal of Geology*, 3: 617-649.
- BRYAN, Kirk, 1935. The formation of Pediments. Report XVI International Geographic Congress.
- CHORLEY, R. J., 1962. Geomorphology and general systems theory. *U.S. Geol. Survey*
- CHORLEY, R. J., BECKINSALE, R. P. e DUNN, A. J., 1973. *The History of the Study of Landforms* (Vol. 2 — The life and work of William Morris Davis). Methuen & Co., Londres.
- CHORLEY, R. J. & KENNEDY, B. A., 1971. *Physical Geography: a systems approach*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- CHORLEY, R. J.; SCHUMM, S. A. & SUDGEN, D. E., 1985. *Geomorphology*. Methuen & Co., Londres.

- CHRISTOFOLETTI, Antonio, 1973. As teorias geomorfológicas. *Notícia Geomorfológica*, 13(25): 3-42.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio, 1977. Considerações sobre o nível de base, rupturas de declive, capturas fluviais e morfogênese do perfil longitudinal. *Geografia*, 2(4): 81-102.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio, 1980. *Geomorfologia*. Editora Edgard Blucher, São Paulo.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio, 1981. A variabilidade espacial e temporal da densidade de drenagem. *Notícia Geomorfológica*, 21(42): 3-22.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio, 1981b. *Geomorfologia Fluvial*. Editora Edgard Blucher, São Paulo.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio, 1982. A significância da densidade de drenagem para as interpretações paleoclimáticas. *Atas do IV Simpósio do Quaternário do Brasil*, p. 349 a 364, Rio de Janeiro.
- CULLING, W. E. H., 1985. *Equifinality: chaos, dimensions and patterns. The concept of non-linear dynamical systems theory and their potential for Physical Geography*. Geography Discussion Paper n.º 19, Graduate School of Geography, London School of Economics, 83 pp.
- CULLING, W. E. H., 1987. Equifinality: modern approaches to dynamical systems and their potential for geographical thought. *Trans. Institute of British Geographers*, 12(1): 57-72.
- CULLING, W. E. H., 1988a. A united theory of particulate flows in geomorphic settings. *Earth Surface Processes and Landforms*, 13(5): 431-440.
- CULLING, W. E. H., 1988b. Dimension and entropy in the soil-covered landscape. *Earth Surface Processes and Landforms*, 13(7): 619-648.
- CULLING, W. E. H., 1988c. A new view of the landscape. *Trans. of the Institute of British Geographers*, 13(3): 345-360.
- CVIJIC, J., 1918. Hydrographie souterraine et évolution morphologique du Karst. *Travaux de l'Institute de Géographie Alpine*, 6(4).
- DAVIS, William M., 1989. The geographical cycle. *Geographical Journal*, 14: 481-504.
- DAVIS, William M., 1900. Glacial erosion in France. Switzerland and Norway. *Proc. Boston Soc. Natural History*, 29: 273-322.
- DAVIS, William M., 1905. The geographical cycle in an arid climate. *Journal of Geology*, 13: 381-407.
- DAVIS, William M., 1906. The geographical cycle in an arid climate. *Geographical Journal*, 27: 70-73.
- DAVIS, William M., 1909. *Geographical Essays*. Dover Publications (reimpresso em 1954).
- DURY, G. H., 1980. Neocatastrophism: a further look. *Progress in Physical Geography*, 4(4): 391-413.
- ENGELN, O. D. von (organizador), 1940. Symposium: Walther Penck's contribution to Geomorphology. *Annals Assoc. American Geographers*, 30(4): 219-284.
- GILBERT, Grove K., 1877. *The Geology of the Henry Mountains*. U. S. Department of the Interior, Washington.
- GRAF, William L., 1979. Catastrophe theory as a model for change in fluvial systems. In "Adjustments of the Fluvial Systems" (Rhodes, D. D. & Williams, G. P., editores), p. 13 a 32. George Allen & Unwin, Londres.
- HACK, John T., 1957. Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland. *U. S. Geol. Survey Prof. Paper*, n.º 294-8, Washington.

- HACK, John T., 1960. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. *American Journal of Science*, vol. 258-A, pp. 80-97 (tradução in *Notícia Geomorfológica*, 12(24): 3-37. 1972.
- HACK, John T., 1965. Geomorphology of the Shenandoah Valley, Virginia and Maryland, and origin of the residual ore deposits. *U. S. Geol. Survey Prof. Paper*, n.º 484, Washington.
- HACK, John T., 1973. Stream-profile analysis and stream gradient index. *U. S. Geol. Survey Journal Research*, 1(4): 421-429.
- HACK, John T., 1975. Dynamic equilibrium and landscape evolution. In *Theories of Landform Development* (Melhorn, W. N. e Flemal, R. C., editores), pág. 87-102. Publication in *Geomorphology*, New York State University, Binghamton.
- HAIGH, M. J., 1987. The holon: hierarchy theory and landscape research. In *Geomorphological Models* (Ahnert, F., organizador), p. 181-192, Catena Verlag, Braunschweig.
- HAIGH, M. J. & SCHEIDEGGER, A. E., 1988. Dynamic system approach to natural hazards: an introduction. *Zeits. fur Geomorphologie*, suplemento n.º 67, p. 1-3, Berlin.
- HAKEN, H., 1977. *Synergetics: an introduction*. Springer Verlag, Berlin.
- HAKEN, H., 1984. *The science of structure: synergetics*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- HAKEN, H., 1985. Synergetics — an interdisciplinary approach to phenomena of self-organization. *Geoforum*, 16(2): 205-212.
- HOWARD, Alan D., 1965. Geomorphological systems — equilibrium and dynamics. *American Journal of Science*, 263(4): 302-312.
- HUGGETT, R. J., 1985. *Earth Surface Systems*. Springer Verlag, Berlin.
- HUGGETT, R. J., 1987. Dissipative Systems: implications for Geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 13(1): 45-49.
- JANTSCH, E., 1980. *The Self-Organizing Universe: Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution*. Pergamon Press, Londres.
- JOHNSON, D. W., 1919. *Shore Processes and Shoreline development*. John Wiley & Sons, New York.
- KING, Lester C., 1953. Canons of landscape evolution. *Geol. Soc. America Bulletin*, 64: 721-732.
- KING, Lester C., 1956. A geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, 18(2): 147-265.
- KING, Lester C., 1962. *Morphology of the Earth*. Oliver & Boyd, Edinburgh.
- LANGBEIN, W. B. & Leopold, L. B., 1966. River meanders — theory of minimum variance. *U. S. Geol. Survey Prof. Paper*, 422-L, Washington.
- LASZLO, E., 1972. *The systems view of the world*. G. Brazillier, Inc., New York.
- LASZLO, E., 1983. *Systems Science and World Order*. Pergamon Press, Oxford.
- LEOPOLD, L. B. & LANGBEIN, W. B., 1962. The concept of entropy in landscape evolution. *U. S. Geol. Survey Prof. Paper*, 500-A, Washington.
- LEUZINGER, R. R., 1948. *Controvérsias geomorfológicas*. Jornal do Comércio, Rio de Janeiro.
- McGEE, W. J., 1897. Sheetflood erosion. *Geol. Soc. America Bulletin*, 8: 87-112.
- NICOLIS, G. & Prigogine, I., 1977. *Self-organization in non-equilibrium systems: from Dissipative structures to order through fluctuations*. John Wiley & Sons, New York.
- PAIGE, S., 1912. Rockcut surfaces in the desert ranges. *Journal of Geology*, 20: 442-450.
- PENCK, Walter, 1954. *Morphological analysis of landforms*. Macmillan and Co., Londres (tradução da obra originalmente publicada em alemão, em 1923).
- PRIGOGINE, I., 1947. *Étude thermodynamique des phénomènes irréversibles*. Dunod, Paris.
- PRIGOGINE, I., 1980. *From Being to Becoming: time and complexity in the Physical Sciences*. W. H. Freeman, San Francisco.
- PRIGOGINE, Ilya & STENGERS, Isabelle, 1984a. *A nova Aliança*. Editora Universidade de Brasília, Brasília.
- PRIGOGINE, Ilya & STENGERS, I., 1984b. *Order out of Chaos: man's new dialogue with nature*. Bantam Books, Londres.
- SCHEIDEGGER, Adrian E., 1964. Some implications of statistical mechanics in Geomorphology. *Bull. Int. Assoc. Scientific Hydrology*, 9: 12-16.
- SCHEIDEGGER, Adrian E., 1970. *Theoretical Geomorphology*. Springer Verlag, Berlin (2.ª edição).
- SCHEIDEGGER, Adrian E., 1979. The principle of antagonism in the Earth's evolution. *Tectonophysics*, 55(1): 7-10.
- SCHEIDEGGER, Adrian E., 1983. Instability principle in geomorphic equilibrium. *Zeits fur Geomorphologie*, 27(1): 1-19.
- SCHEIDEGGER, Adrian E., 1986. The catena principle in Geomorphology. *Zeits. fur Geomorphologie*, 30(3): 257-273.
- SCHEIDEGGER, Adrian E., 1987. The fundamental principles of landscape evolution. In *Geomorphological Models* (Ahnert, F., organizador), p. 199-210. Catena Verlag, Braunschweig.
- SCHEIDEGGER, A. E. & AI, N. S., 1986. Deep processes and geomorphological design. *Tectonophysics*, 126(2): 285-300.
- SCHEIDEGGER, A. E. & KOHLBECK, F., 1985. The selection principle in surface erosion. *Proc. Int. Symposium Erosion, Debris, Flow and Disaster Prevention*, p. 285-290. University of Tsukuba, Japão.
- SCHEIDEGGER, A. E. & LANGBEIN, W. B., 1966. Probability concepts in Geomorphology. *U. S. Geol. Survey Prof. Paper*, n.º 500-C.
- SCHUMM, Stanley A., 1975. Episodic erosion: a modification of the geomorphic cycle. In *Theories of Landform Development* (Melhorn, W. N. e Flemal, R. C., organizadores), p. 69-84. Publications in *Geomorphology*. New York State University, Binghamton.
- SCHUMM, Stanley A., 1977. *The fluvial system*. John Wiley & Sons, New York.
- SCHUMM, Stanley A. & LICHTY, R. W., 1965. Time, space and causality in Geomorphology. *American Journal of Science*, 263(2): 110-119.
- THOM, René, 1972. *Stabilité structurelle et morphogénèse*. Librairie Armand Colin, Paris.
- THOM, René, 1975. Structural stability and morphogenesis. W. A. Benjamin, Reading.
- THOM, René, 1985. *Parábolas e catástrofes*. Publicações Dom Quixote, Lisboa.
- THOM, René, 1988. *Esquisse d'une sémiophysique*. Interditions, Paris.
- THORN, Colin E., 1982. *Space and time in Geomorphology*. George Allen & Unwin, Londres.
- TINKLER, Keith J., 1985. *A short history of Geomorphology*. Croom Helm, Londres.
- WAGSTAFF, J. M., 1976. Some thoughts about Geography and Catastrophe theory. *Area*, 8: 316-320.
- WILSON, A. G., 1981. *Catastrophe Theory and Bifurcation*. Croom Helm, Londres.
- WOLDENBERG, Michael J., 1985. *Models in Geomorphology*. George Allen & Unwin, Londres.

RESUMO

A teoria do ciclo de erosão e a teoria da pedimentação predominaram por longo tempo no conhecimento geomorfológico. A partir de 1960 surgiram novas abordagens baseadas na concepção do equilíbrio dinâmico, na probabilidade e na adoção da teoria dos sistemas. A aplicação da teoria dos sistemas mostra duas fases: a primeira está ligada com o conhecimento das ciências biológicas enquanto a segunda liga-se com o desenvolvimento observado na Química e na Física. Muitos conceitos e princípios já mostraram potencial de uso, mas sente-se a ausência de concatenação teórica semelhante ao que William Morris Davis fez para a sua época.

Unitermos: Geomorfologia, História da Geomorfologia, Sistemas geomorfológicos, Teorias geomorfológicas.

ABSTRACT — *The theoretical development in Geomorphology from the erosion cycle to the dissipative systems.*

The geographic cycle and the pedimentation theories were largely dominant in Geomorphology. Since 1960, however, new approaches began to surge having the dynamic equilibrium, the probabilistic analysis and the General System Theory as the main basis. The General Systems Theory show two phases: the first is related with the Biological sciences foundations and the second is related with the development occurred in Chemical and Physical sciences. So many principles and concepts were accepted but it is necessary now to link all these ideas in a theoretical explanation, as William M. Davis just did at his time.

Key Words: Geomorphology, Geomorphological Systems, History of the Geomorphology, Theories in Geomorphology

Recebido em 16-03-1989