
REVISTA DE GEOGRAFIA



GEOMORFOLOGIA E COMPLEXIDADE: UMA REVISÃO TEÓRICA

GEOMORPHOLOGY AND COMPLEXITY: A THEORETICAL REVIEW

Rodrigo Dutra-Gomes

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Av. Acadêmico Helio Ramos, s/n, Recife (PE), CEP 50740-530
E-mail: rodrigo.dutragomes@ufpe.br

Antonio Carlos Vitte

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
Rua Carlos Gomes, 250 - Campinas, SP - CEP: 13083-855
E-mail: acarlosvitte@gmail.com

Resumo

As propriedades dos sistemas complexos são presentes no dinamismo e evolução do relevo terrestre. Na Geomorfologia os entendimentos e ferramentas ligados à Ciência e Teoria da Complexidade já são bem conhecidos. Porém, ainda é pouco discutida e difundida em âmbito nacional. Pretende-se neste artigo apresentar uma revisão teórica contextual sobre algumas das considerações já realizadas na relação entre Geomorfologia e Complexidade. Discorreu-se sobre a incorporação de noções como desequilíbrio, instabilidades, incertezas, auto-organização e foram refletidas algumas repercussões ontológicas, como o reconhecimento das não-linearidades e caráter singular-histórico do fenômeno geomorfológico, e epistemológicas como o diálogo entre métodos tradicionalmente tratados unilateralmente. Torna-se necessário construir essa relação a partir do diálogo com os autores e abordagens já praticadas, refletindo as novas ideias, noções e técnicas em confronto com a tradição.

Palavras-chave: Complexidade, sistemas geomorfológicos, desequilíbrios, diálogo entre métodos.

Abstract

The properties of the complex systems are observable in the dynamism and evolution of the terrestrial relief. In Geomorphology the understandings and tools connected to Science and Theory of Complexity are well known. However, it is still little discussed and diffused at the national level. This article aims to present a contextual review of some of the considerations made in the relationship between Geomorphology and Complexity. It was discussed the incorporation of notions such as imbalance, instabilities, uncertainties, self-organization and some ontological repercussions, such as the recognition of non-linearities and singular-historical character of the geomorphological phenomenon, and epistemological aspects as the dialogue between traditionally methods treated as opposites. This relationship between geomorphology and complexity must be built from the dialogue with the approaches already practiced, reflecting the new ideas, notions and techniques by the confrontation with tradition.

Key-work: Complexity, geomorphologic systems, instability, dialogue between methods.

1. Introdução

As propriedades dos sistemas complexos são marcantes no dinamismo e evolução da superfície da terra (WERNER, 1999, p.102). Por isso, como a Geomorfologia é uma das ciências da terra com maior aprofundamento teórico-metodológico, os entendimentos e ferramentas ligadas à Ciência e Teoria da Complexidade já são bem conhecidos. Porém, ainda é pouco discutida e difundida em âmbito nacional. Pretende-se neste artigo apresentar uma revisão teórica sobre algumas das considerações já realizadas entre Geomorfologia e Complexidade. Não é a pretensão detalhar as incorporações, mais sim oferecer um texto genérico que apresente o contexto, entendimentos e autores. A bibliografia, por sua vez, indicará direções para encontrar trabalhos práticos.

A pesquisa privilegiou autores e publicações já consideradas marcantes no tema. O artigo está organizado da seguinte forma. O primeiro tópico contextualiza a abordagem sistêmica na Geomorfologia. Desenvolve-se, em seguida, a revisão sobre a incorporação de noções como desequilíbrio, instabilidades e incertezas, tomando a noção de equilíbrio como referência, bem como a presença de processos auto-organizados nos sistemas geomorfológicos. Por fim, foram apresentadas algumas repercussões teóricas de cunho ontológico (objeto em si) e epistemológico (conhecer).

2. Abordagem sistêmica na Geomorfologia: a tendência ao equilíbrio

Na evolução do conhecimento geomorfológico pode-se, genericamente, distinguir duas abordagens teóricas predominantes. A (1) primeira refere-se à evolução do relevo terrestre pela influência dos processos morfogenéticos ao longo de uma sequência de fases, numa perspectiva histórico-evolutiva que formam um ciclo, com William Morris Davis, Walter Penck e Lester King representando os propositores mais conhecidos dessa concepção. A (2) segunda baseia-se nas concepções das Teorias Sistêmicas e no conceito de equilíbrio dinâmico, tratando a evolução geomorfológica como uma resposta balanceada de interações entre forças morfogenéticas externas e geodinâmicas lito-estruturais internas. Arthur Strahler com a Teoria dos Sistemas, John Hack com a Teoria do Equilíbrio Dinâmico e Luna B. Leopold e W. B. Langbein com a Teoria Probabilística de evolução do relevo sendo exemplos de propositores nessa segunda perspectiva (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.09).

As primeiras tiveram ampla aplicação ao longo do século XX, as segundas se expandiram apenas nos últimos 25 anos do século (CHRISTOFOLETTI, 1980, 188p.). Mesmo que a primeira abordagem bem expresse a interpretação evolutiva da 2ª Lei da Termodinâmica (que insere a desordem nas descrições físicas), ela ainda permaneceu

fortemente influenciada pela universalização ocidental (a busca pela generalidade), baseando suas leituras nos princípios de ordenação e estabilidade, na busca de regras e padrões estáveis a partir de ciclos recorrentes. Isso acabou por realçar a influência da 1ª Lei da termodinâmica nestas abordagens, a lei da conservação de energia, com muitos dos conceitos e entendimentos das propostas teóricas destes ramos estando ligados à ideia de conservação e estabilização dos movimentos. Sob estas bases os estudos geomorfológicos direcionaram a compreensão dos sistemas pela 'tendência ao equilíbrio', que, por sua vez, seria alcançado por meio de fases transitórias e cíclicas bem estabelecidas de acordo com a interpretação de cada autor, como, por exemplo, a juventude, maturidade, senilidade no Ciclo da Erosão de Davis.

As segundas abordagens, com a Teoria dos Sistemas Dinâmicos, foram introduzidas na geomorfologia por Strahler em 1952 inspirado nas proposições da Teoria Geral dos Sistemas de L. V. Bertalanffy e referências na química e física. As influências dos princípios da universalização com base nos paradigmas da ordenação e estabilidade (por serem matriciais) também se fizeram presentes (PHILLIPS, 1992). Essas heranças se expressaram na importância da noção de equilíbrio, referência fundamental para essa abordagem. O equilíbrio, neste caso, se associa ao estado macroscópico que implica na manutenção de um balanço material e energético num estado estável e para a qual, de acordo com as perspectivas iniciais de Strahler, tendiam a dinâmica dos sistemas geomorfológicos. Essa tendência à estabilidade orienta a descrição das relações e retroatividades mútuas entre os inputs e outputs, bem como a descrição dos estados das variáveis individuais dos fatores e elementos componentes. Pela noção de equilíbrio subentende-se que haja um condicionamento dos processos aos estados e forças macroscópicas, vinculados a padrões de funcionamento gerais da natureza, concebidos como tendendo à estabilidade (INKPEN, 2005, p.118).

Pela Teoria do Equilíbrio Dinâmico de J. T. Hack (de 1960) os sistemas geomorfológicos são descritos a partir dos *steady state*, pelos estados de equilíbrio que mantém o sistema num estado de manutenção estável. Neste estado dos processos mesmo que haja mudanças de posição de algumas das variáveis, se for de pequena magnitude, não ocorrerá mudanças significativas e progressivas no ciclo de retroação do sistema. Pelo equilíbrio dinâmico as flutuações oscilam ao redor de um estado de manutenção estável, como em rios e vertentes equilibradas. Neste último caso, o relevo inicial (pretérito) do sistema, associado ao seu ambiente climático, hidrológico e geológico, também não possui significância, e o Tempo torna-se um fator não-relevante. A consideração da estabilidade dissolve as flutuações que dariam historicidade aos processos, referindo-se às relações entre estruturas e processos tais como eles existem no espaço mas independentes do tempo, ou seja, as formas de relevo só podem mudar caso seja alterado a energia aplicada no sistema.

As perspectivas sistêmicas na geomorfologia obtiveram um maior desenvolvimento teórico nos últimos 20 anos do século XX a partir da absorção das Teorias dos Sistemas Dinâmicos Não-Lineares e da Física do Não-equilíbrio. E há cerca de 29 anos foi amplamente afirmada sua pertinência para a Geomorfologia (PHILLIPS, 1992, pp.195-201). Tais incorporações envolveram o questionamento e revisão de conceitos como equilíbrio, estabilidade, hierarquia, similaridade, equifinalidade. A percepção sobre o equilíbrio deixou de considerar apenas a detecção de estados de estabilidades a serem alcançados, se voltando também para a investigação de sistemas geomorfológicos que presenciam processos e formas em desequilíbrio e tendendo para instabilidades.

Para os processos geomorfológicos os estados de desequilíbrio têm sido tradicionalmente tratados como aqueles que estão se direcionando, tendendo, ao equilíbrio (termodinâmico), mas que ainda não tiveram tempo suficiente para atingir tal estado. No entanto, muitas das formas de relevo, concebidas como de não-equilíbrio, não necessariamente estão tendenciando ao equilíbrio, a não ser quando se consideram muito longos períodos de tempo (éons, eras), apresentando, na verdade, frequentes e intensas dinâmicas de transformações morfológicas (RENEWICK, 1992, p.265). Estes processos dinâmicos ocorridos antes do equilíbrio derradeiro são reconhecidos como exibindo comportamentos tipicamente complexos nos termos dos avanços dos sistemas não-lineares e física do não-equilíbrio. Ou seja, apresentam propriedades e padrões envolvendo caos, emergências, processos dissipativos, não-lineares, auto-organizados, com criticalidades e catástrofes, que podem, por exemplo, a partir dos processos em escalas locais gerar processos e respostas que operam e influenciam as escalas espaçotemporais mais amplas. Para o campo geomorfológico esse contexto com novos conceitos, ferramentas e entendimentos carrega implicações que podem ser consideradas evolucionárias e revolucionárias. No caso, evolucionário por representar uma continuidade das pesquisas já realizadas no campo, e revolucionário por trazer novidades ainda não tratadas na área (PHILLIPS, 1992, p.195, p.219, MALANSON, 1999, p.311).

A incorporação da Complexidade na Geomorfologia tem sido considerada pertinente por, pelos menos, dois motivos: (1) primeiro por inserir os sistemas geomorfológicos num arquétipo invariante acerca dos dinamismos de outros sistemas da natureza, inclusive os humanos – ampliando a capacidade interdisciplinar do campo; e (2) segundo, porque a grande maioria dos sistemas geomorfológicos são sistemas dissipativos e apresentam propriedades típicas dos sistemas dinâmicos complexos, como não-linearidades, flutuações, instabilidades, bifurcações, imprevisibilidade, auto-organização etc (CULLING, 1987, p.57-72, HUGGETT, 1988, p.45-49). Contudo, a adesão ocorreu inicialmente de forma lenta. Christofolletti (1988, 1989) já alertava nacionalmente para a nova fase teóricometodológica e suas potencialidades para os estudos geográficos. Essas teorias somente ganharam maior difusão nas décadas que se seguiram, embora aqui no

Brasil sua incorporação ainda seja pontual – com os professores Antonio Christofolletti e Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro (MONTEIRO, 1978, 1991), sendo os principais difusores iniciais de tais perspectivas.

3. Desequilíbrios, instabilidades e incertezas nos sistemas geomorfológicos

Um dos sentidos básicos dos sistemas complexos é a complementaridade entre determinação e indeterminação, equilíbrio e desequilíbrio, ou seja, entre o que pode ser previsível, ordenado e padronizado e o que é incerto, caótico e singular na evolução dos sistemas da natureza. Na geomorfologia a noção de caos determinístico, por exemplo, advindo do campo dos Sistemas Dinâmicos Não-lineares, e que associa determinação e indeterminação, foi reconhecida como representando processos que são comuns na dinâmica do relevo terrestre. Contudo, isso não significa que tal tipo de noção é aplicável a todos os processos e situações na geomorfologia. De acordo com Phillips (2006) nem todos os processos geomorfológicos detêm ou pode ser descrito em termos de caos determinístico. Muitos desses sistemas podem apresentar ambos os processos, determinados e indeterminados, e neste sentido, serem mais ou menos sensíveis as suas condições iniciais. Isso também ocorre em dependência da escala selecionada, com as estabilidades, caos e outras manifestações não-lineares só podendo ser identificadas e avaliadas de acordo com as grandezas espaçotemporais adotadas. Torna-se, assim, inapropriado dizer que um canal de drenagem, ou um processo erosivo, estejam desequilibrados, ou equilibrados, sem especificar a estrutura espaço-temporal de referência. Caso não especificada tal referência, os desequilíbrios, as aleatoriedades e o caos podem se tornar mais aparentes do que reais. Por isso, não é também o caso de manter qualquer concorrência, ou dicotomia, entre sistemas equilibrados contra os sistemas desequilibrados, uma vez que, muitos sistemas geomorfológicos apresentam ambos modos dinâmicos. Os equilíbrios e desequilíbrios, e também, estabilidades e instabilidades são processos emergentes da evolução do sistema e não inerentes e específicos de determinada escala (PHILLIPS, 1994, p.389-401, 2006, p.109-121).

De acordo com Phillips (1994, 2006) a distinção entre equilíbrio e desequilíbrio nos sistemas geomorfológicos se pauta basicamente em três critérios: (1) *Estabilidade* - quando a estrutura e estados dos sistemas são estáveis, eles indicam uma resposta equilibrada, e quando os estados estão em desequilíbrio ocorrem dinâmicas instáveis nos processos, expressando desajustes. (2) *Proporcionalidade* - os estados em equilíbrio são

caracterizados por respostas com magnitudes e durações proporcionais às mudanças ocorridas. Nos estados desequilibrados há desproporcionalidades, com a magnitude e duração das respostas sendo bem maiores que a magnitude e duração dos distúrbios causadores. (3) *Convergência, divergência* – os sistemas em equilíbrio devem ser caracterizados por similaridades qualitativas, com suas partes, processos e organização interna exibindo similaridades qualitativas de respostas, expressando uma harmonia funcional, que os caracterizam como convergentes. Já os sistemas em desequilíbrio podem ser caracterizados por múltiplos modos de ajustes que divergem em intensidade, com as formas e trocas de matéria e energia expressando os desajustes materiais e dissonâncias energéticas. Como exemplo consideremos um aumento repentino mas perene no fluxo de escoamento de um canal de drenagem, bem como as forças e formas que se tencionam para se reajustarem, se readaptarem às novas condições de trocas de energia e matéria. As consequências são a combinação de várias ampliações, como, por exemplo, da profundidade do canal, da velocidade da água, aumento da declividade e crescimento de meandros etc, cada um respondendo em acordo com seus aspectos estruturais e funcionais. A análise de sequências históricas de respostas de eventos como esse, obtidas em monitoramentos de dados e medidas, pode ser descritas em termos de convergência e divergência – convergente quando as mudanças são qualitativamente equânimes, e divergentes quando as mudanças ocorre em múltiplos estados não equânimes na intensidade de estímulo e resposta.

As instabilidades e mudanças nos sistemas geomorfológicos podem, por sua vez, ser consideradas como condicionadas basicamente por 2 grupos de fenômenos, os fatores extrínsecos (inputs) que forçam o sistema do exterior, e as propriedades intrínsecas, interiores dos sistemas. Nos sistemas geomórficos instáveis as implicações das respostas (intrínsecas) para as mudanças ambientais (extrínsecas) podem se dar: (1) com pequenas mudanças podendo produzir resultados desproporcionalmente amplos; (2) podem se dar quando as evidências do relevo não refletem de maneira proporcional e eficaz as mudanças ambientais ou eventos ocorridos; (3) quando os sistemas geomorfológicos adquirem múltiplas respostas, trajetórias e ajustes, com mudanças de estado, e não raro, por ausência de isotropia (mesmas propriedades e funcionalidades físicas) no relevo. Devido as intrínsecas singularidades de cada área geográfica para os sistemas geomorfológicos as não-linearidade, e conseqüente instabilidades e sensibilidades às condições iniciais, variam localmente, podendo causar divergências de respostas de acordo com as características estruturais e funcionais do relevo, bem como, de acordo com as intensidades das mudanças ambientais (PHILLIPS, 2006, p.111, HARVEY, 2007, p.153).

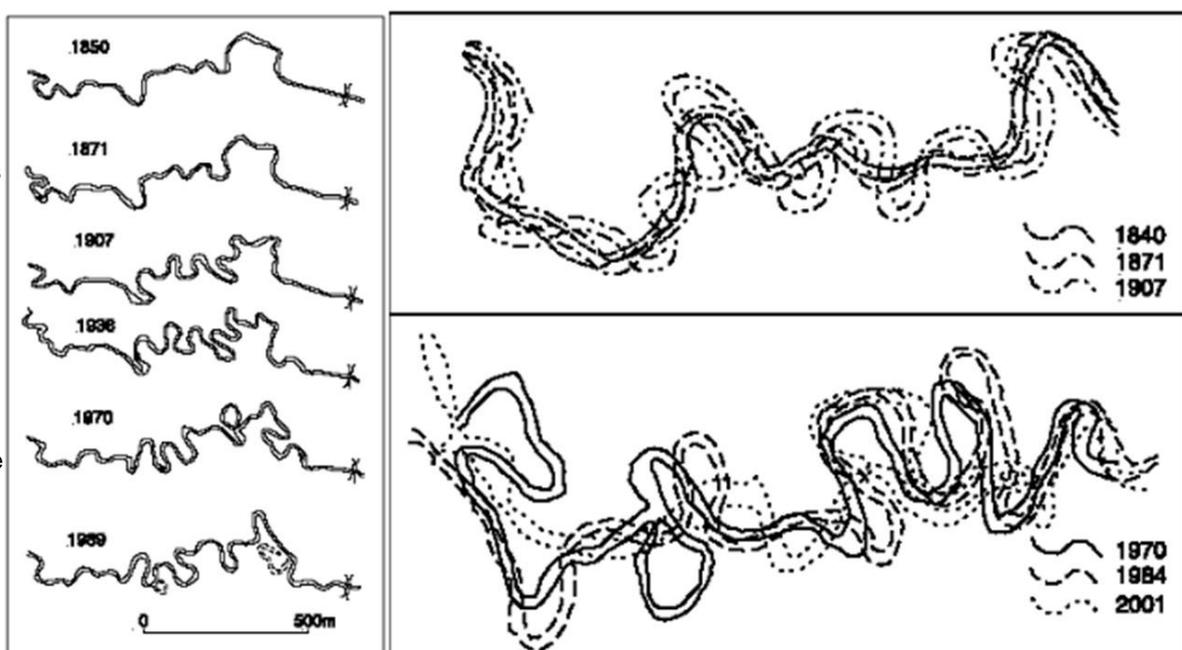
Phillips (2003, p.17) identificou 9 (nove) fontes de não-linearidade nos sistemas geomorfológicos. (1) *Estrutura* – os aspectos estruturais locais trazem inerentes incertezas causais nos sistemas de interação. Se há uma estrutura geomorfológica, as respostas das

interações, ou outputs, considerando resistência do material, por definição, não podem ser proporcionais aos estímulos, ou inputs, realizados na ampla rede de interações. (2) *Efeitos de armazenagem* ou *conservação* – a adição ou remoção de massas da estrutura do sistema geomorfológico pelas inter-relações com o ambiente (por exemplo, acúmulo de água sob um horizonte B textural em relevo declivoso) criam flutuações e descontinuidades no balanço de inputs e outputs das massas, podendo gerar possíveis desencadeamentos amplificados. (3) *Saturação* e *Depleção* – os efeitos advindos da variação nas trocas de matéria e energia dos inputs oscila com respeito a algum estado optimum de estabilidade, onde as respostas advindos de acréscimos de matéria-energia, gera um efeito crescente para os sistemas geomorfológicos. Entretanto, ultrapassado este estado optimum, mesmo com o acréscimo de matéria-energia o efeito diminui e pode até ter um efeito decrescente e retardador no sistema. Um exemplo é a relação entre disponibilidade de umidade e oxidação no solo. Até um teor de umidade ideal-optimum, mais umidade equivale ao aumento no intemperismo. Mas, além deste ideal, outros fatores químicos (além da umidade) começam não-linearmente a limitar as taxas de intemperismo, de forma que o aumento de umidade não mais gera o aumento da oxidação, e até a sua diminuição. (4) *Feedbacks Positivos*, ou *auto-reforço* – mudanças ou distúrbios podem promover processos retroativos e recursivos que causam os seus próprios crescimentos e desenvolvimentos independente das forças externas: os processos erosivos remontante são exemplos disso. (5) *Processos auto-limitantes* – os caminhos possíveis a serem trilhados por um sistema geomorfológico são limitados pelos próprios fatores internos e intrínsecos ao sistema, independente das forças externas, apresentando resistência para com algumas interações que, por sua vez, podem gerar não-linearidades em sua evolução. (6) *Interações competitivas* ou *conflitantes* – tais interações competitivas e opostas entre forças e processos, muitas vezes antagônicas entre si, podem causar, de acordo com a situação e condição, desvios abruptos no sistema (ex. resistência e desgaste da rocha). (7) *Múltiplos modos de ajustes* – os sistemas geomorfológicos apresentam muitos graus de liberdade ou ‘sintonias’ entre as diversas variáveis envolvidas, podendo adquirir múltiplas configurações possíveis em resposta às forças específicas imposta do exterior, ou ao grupo de condições limites do próprio sistema. (8) *Auto-organização* – algumas formas e dinâmicas apresentam processos de auto-organização envolvendo adaptações internas complexas, independente de forças externas. (9) *Histereses* – uma variável dependente pode ter dois ou mais valores associados a uma mesma grandeza singular de uma variável independente. Um exemplo em geomorfologia é a relação entre descarga e transporte de sedimentos onde, em sistemas sedimentares, efeitos do atraso entre o evento de descarga e o transporte dos materiais, produzem trajetórias e sequências não únicas, que podem ser caracterizadas como histerese.

Processo central nos estudos dos sistemas complexos, a aparição da auto-organização é comum nos processos geomorfológicos (PHILLIPS, 1999, p.24). Eles aparecem da escala micro (ex. processos geoquímicos) à escala macroscópica (meandros em canais de rios). Tomemos, por exemplo, os processos de meandração de um rio. O sistema de meandração, de uma forma geral, caracteriza-se por pertencer a rios de declividade baixa (relevo plano) onde padrões e processos recorrentes de deposição e erosão se repetem com pequenas variações de um rio para o outro, e, com pequenas variações (proporcionais) de uma escala para outra num mesmo rio. Simulações realizadas a partir de medidas espaçotemporais de evolução do comprimento de canais e medidas de largura das margens em rios meandantes observaram recorrências que sugerem processos auto-organizados operando no entremeio dos mecanismos de erosão e deposição no canal (FIGURA 1).

A formação de meandros é causada basicamente pela operação de dois processos opostos vinculados a complexos mecanismos de retroalimentação, agindo particularmente sobre a influência de controles geométricos locais: (1) a migração lateral, agindo no aumento da sinuosidade e de acordo com o ângulo de deposição e erosão, (2) e a diminuição da sinuosidade do canal. No decorrer do processo total observa-se núcleos de fluxos mantendo certo nível de estabilidade (steady-state ao redor de algum valor numérico) nos processos de formação e evolução dos meandros. Como resultados obtidos pela simulação do processo, houve casos onde se constatou o aumento da organização, complexidade e diminuição da entropia interna dos processos de evolução dos meandros. O processo de formação torna-se recursivo e ganha autonomia, condicionando interações para a manutenção de sua organização física. Neste caso, na transição entre as fases estáveis e caóticas, o comportamento de diversos tipos de meandramentos começam a ser examinados como atratores, dentro de um espaço de fase, onde os movimentos dos meandros, ângulos de curvatura e mudanças em geral no sistema são explorados como possíveis geradores de 'saltos' qualitativos, de uma bacia de atração para outra (STØLUM, 1996, pp.1710-1711, HOOKE, 2003, p.238-253, HOOKE, 2007, p.256).

FIG
UR
A 1
-
Dois
exe
mpl
os
da
evol
uçã
o de



4. Refinamentos ontológicos e epistemológicos

O diálogo da Geomorfologia com a Complexidade, além de novos conceitos e ferramentas descritivas, traz repercussões ontológicas e epistemológicas para o campo. Foi a partir da publicação do *Dynamic Basis of Geomorphology* de Arthur Strahler em 1952 que a geomorfologia passa a empregar de forma mais marcante uma abordagem processual, que somente se disseminou nas 3 últimas décadas do século XX. Contudo, naquela situação mesmo afirmando o caráter processual e negando recorrências cíclicas eternas, a abordagem de Strahler não deu relevância aos processos no que se refere aos desenvolvimentos históricos, de transformação das formas geomorfológicas ocorridas numa paisagem particular. Sua abordagem realçou as regras universais da dinâmica de interação entre estes processos e as formas que expressam. Sobre a referência da noção de equilíbrio esses processos dinamicamente guiarão o sistema para uma condição temporal ideal (steady state) considerada independente do tempo. Temporalmente independente, as morfologias se encontrariam em estados estacionários auto-regulatórios, permanecendo constantes independentes dos contínuos fluxos de matéria e energia que continuariam perpassando o sistema geomorfológico. Essa situação pôde, por um lado, ser entendida como uma proposta antitética à concepção orgânica e histórica de W. M. Davis, buscando Strahler apresentar uma negação da perspectiva histórica sucessional das paisagens. Mas também, por outro lado, a concepção de Strahler também expressou a marcante influência da concepção filosófica voltada à noção de equilíbrio e estabilidade, previsão, controle etc, bem influentes na ciência em geral do período. O contexto da Complexidade veio problematizar estas concepções no final do século XX (RHOADS, 2006, p.15).

O confronto das concepções filosóficas tradicionais e as da Complexidade pode ser descrito pela ideia de matéria. Por um lado, temos a concepção mecanicista com base na ideia de “substância”, e de outro a concepção orgânica-criativa fundamentalmente “processual”. A concepção filosófica mecanicista de fundos cartesiano-newtoniano carrega um sentido de matéria como uma substância estática e eterna, muito influente nas práticas e reflexões na ciência do século XX. Assumida como eterna, os processos da matéria seriam derivados de rearranjos através de relações de forças mecânicas universais eternas. Esta concepção apresentou abstrações reducionistas que acabou se mostrando deficientes para a captação de propriedades ontológicas da matéria que se mostraram irreduzíveis experimentalmente e empiricamente.

O movimento derradeiro da ciência do final do século XX que afirmou a Ciência e Teoria da Complexidade veio apresentar as limitações dos pressupostos mecanicistas e confirmar e realçar a perspectiva processual de matéria. A Tabela 1 apresenta a diferença

estabelecida entre uma concepção de matéria mecanicista e uma concepção orgânica entendida como processual. São apresentados novos aspectos legítimos e não-redutíveis nas propriedades ontológicas dos processos geomorfológicos: não-linearidades, caoticidade, emergências, processos irreversíveis etc.

TABELA 1 -
Dicotomia entre
Filosofia da
Substância
versus Filosofia
do Processo

SUBSTANCIA	PROCESSO
Ser	Vir a ser
Persistência	Mudança
Estático	Dinâmico
Re-organização de entidades fixas	Novidades emergentes
Permanência	Evolução
Relações externas	Relações Internas
Objeto material	Força, poder, energia
Estabilidade	Transformação
Reduccionismo	Holismo
Individualidades discretas	Dinâmicas interconectadas
Forças externas	Auto-organização interna
Inerte	Criativo
Passividade	Atividade
Estado	Fluxo
Somente causalidade eficiente	Ambas, causalidade eficiência e causalidade final.
Coisas	Eventos
Mecânico	Propósito, teleológico
Essência, propriedades eternas	Desenvolvimento histórico das características dos padrões processuais
Espaço e Tempo Absolutos ('container' para os objetos e processos)	Espaçotempo relativo como um processo múltiplo, pesquisa objeto-baseado.
Simultaneidade causal	Antecedente causal e consequência causal
Existentes auto-subsistentes	Existentes relacionais

Fonte: RHOADS, 2006, p.22.

Em referência à proposta de Strahler de 1952, os avanços da Complexidade sugeriram para Rhoads (2006, p.14-30), a revisão da base filosófica da disciplina, afirmando o caráter fundamentalmente **processual** da dinâmica geomorfológica. Por esta filosofia processual o *processo* é ontológico e epistemologicamente mais primários e fundamentais que os objetos materiais. Essa revisão não vem debater condutas de qualquer estilo de pesquisa em específico aplicado na geomorfologia (como fez Strahler), mas, principalmente, abrir-se às novas visões de inquérito, com essas mudanças paradigmáticas influenciando as diversas formas de se tratar os fenômenos geomorfológicos, e não somente uma perspectiva em particular (RHOADS, 2006, p.15).

A tradição filosófica que pensa uma concepção de natureza pautada na noção de processo perpassou a história do conhecimento ocidental por autores, que ainda podem ser muito explorados, como G. W. Leibniz, G. W. F. Hegel, C. S. Peirce, W. James, H. Bergson, S. Alexander, J. Dewey e A. N. Whitehead. A revisão, com base nesta perspectiva, traz aspectos como: (1) a ultrapassagem e eliminação da dicotomia entre pesquisas pautadas em processos funcionais (padrões gerais) e pesquisas de cunho geo-históricas de fundos empírico-descritivos; (2) a acomodação da explanação e metodologia qualitativa na geomorfologia; (3) a flexibilização das hierarquias das escalas espaço/temporais; (4) e a potencialidade para ligar os estudos geomorfológicos aos de geografia humana (RHOADS, 2006, p.19). Comentaremos os 3 primeiros aspectos, o último já foi mais desenvolvido em outra oportunidade (DUTRA-GOMES & VITTE, 2010, p.08-38).

No primeiro **(1)** aspecto, como a “disputa” entre a perspectiva de Davis e Strahler sugere, a geomorfologia identifica dois conflitos dicotômicos epistemológicos que não fogem a expressão da dualidade fundamental do conhecimento ocidental: histórico/ahistórico, empírico/funcional, histórico/processual, forma/crescimento. Embora pertencentes a uma mesma tradição de conhecimento, cada uma carrega uma bagagem de métodos de pesquisa, escalas de análise etc, dualidade também reconhecidas nas outras disciplinas, como na Geografia entre lugar/espaço, nomotético/ideográfico. O primeiro lado da dicotomia, o histórico, constitui-se de estudos descritivos regionais de evolução da paisagem. O segundo, o funcional, procura analisar os processos mecânicos causais e expressar as regularidades empíricas por meio das leis científicas conhecidas (SPEDDING, 1997, p.262).

Os avanços ligados à Complexidade acabam mostrando que tal dicotomia mostra-se irreal e irrelevante acerca do fenômeno estudado. O fundo ontológico, pautado no realismo dos sistemas complexos, enfatiza a legitimidade, não-redutibilidade, mas também a interconexão e mutualidade de influências entre os multi-domínios (histórico/comportamental/causal) e dimensões (local, regional, global etc) que se manifestam nos sistemas geomorfológicos. Os conhecimentos entorno da noção de Flecha do Tempo (PRIGOGINE, 1988, 77p., COVENEY & HIGHFIELD, 1993, 335p.) carrega as ideias de devir, mudança, transformação, sendo um dos principais entendimentos que caracterizam a dissolução desses fundos dicotômicos. Tal noção atribui à matéria (logo, aos sistemas físicos da natureza, incluindo os geomorfológicos) uma potencialidade histórica e organizacional que torna a distinção geohistórica e funcional arbitrária; ou seja, os fenômenos da natureza apresentam em si (ontológico) multidomínios de manifestação (causal/histórico/comportamental etc). Neste sentido, a perspectiva sistêmica complexa reconcilia as tradições orgânicas-geohistóricas de Davis e o mecanicista-funcional de Strahler. Essa dicotomia é dissolvida em favor de uma perspectiva *organizacional*, de fonte e paralelo na Biologia, onde, pelo contexto do realismo da Complexidade, pesquisas buscam desvendar os mistérios envolvidos nas dinâmicas morfogenéticas complexas, ao mesmo tempo históricas, funcionais e multiescalares (SPEDDING, 1997, p.263-265). Tal sentido realça noções como ‘eventos’, que representam fundamentalmente ao mesmo tempo uma expressão processual (advinda de processos causais) e uma expressão histórica singular (ocasional).

Na geomorfologia isso pode significar incorporar na abordagem funcional, conceitos e **(2)** métodos qualitativos, oferecendo aos pesquisadores da “perspectiva processual” maior liberdade para se utilizar metodologias e considerações interpretativas e históricas. Vincula-se a isso o fato que, considerando o ‘processo’, como detendo uma irreduzível singularidade geohistórica (interacional e entrópica), os processos (ontológico) e estudos (epistemológicos) geomorfológicos tornam-se fundamentalmente *espaçotemporalmente localizados*, ou seja, geograficamente singulares (SPEDDING, 1997, p.263-265, RHOADS, 2006, p.28). Isso implica que todas as manifestações geomorfológicas, embora com processos universais óbvios, apareçam como diferentes, singulares, com configurações diferentes que responderão e mudarão de maneira singular as forças e formas. Dessa maneira, os condicionamentos morfológicos preexistentes que caracterizam os sistemas implicam que as respostas aos estímulos não sejam simples reflexos da imposição de processos externos, mas sim significativamente dependente dos estados *internos* do sistema (LANE & RICHARDS, 1997, p.255-257).

Lane & Richards (1997, p.258) sugerem que tal perspectiva enfatiza a pertinência de comparações entre métodos alternativos, somando entendimentos de diferentes abordagens para uma mais completa compreensão geomorfológica. A escolha das

abordagens a serem aplicadas e as observações a serem realizadas devem, nesta situação, ser referenciadas à luz dos objetivos, das problemáticas fixadas por cada pesquisa. As análises laboratoriais, do lado racionalista, que conseguem bem controlar os parâmetros e estabelecer as condições limites de análise, devem conversar mais com as descrições empiristas de campo. Nestas não é fácil o estabelecimento de parâmetros de controle e condições limites, muitas vezes recorrendo às abordagens interpretativas, bem mais sensível às complexidades perceptivas passíveis de generalizações racionais. Ou seja, deve-se enfatizar a pertinência da complementaridade entre métodos geomorfológicos para a investigação da multiplicidade de determinado “problema” ou fenômeno geomorfológico.

(3) Ao reajustar a base filosófica da dinâmica geomorfológica, as hierarquias e as escalas ganham maior fluidez ontológica e epistemológica. Há, nesta esteira, diretas implicações e reconsiderações para as tipologias espaço/temporais estabelecidas por Schumm e Lichty (1973, p.43-62), revisão proposta por Lane & Richards (1997, p.249-260). Ocorreu, pelos argumentos dos autores, o questionamento da rigidez fixada entre as variáveis dependentes, independentes e irrelevantes de processos e formas propostas por Schumm e Lichty, e que vieram, no período, corroborar a abordagem funcional de Strahler (1952). Lane e Richards (1997) propõem a revisão da rigidez da classificação que atribui aos processos e formas ocorrentes em determinadas escalas espaço/temporais como sendo, em termos de causalidade física, independentes e não-relevantes em outras escalas. Os conhecimentos dos sistemas dinâmicos complexos correlacionados com estudos geomorfológicos demonstraram que tal referência não pode ser fixamente sustentada. Embora seja um útil apoio para a definição dos limites de inquérito, os ‘aprisionamentos’ espaçotemporais que decorrem à análise não podem mais ser vistos rigidamente. Mesmo que a dinâmica dos processos e formas de pequenas escalas (grandes áreas) apresentem, em muitos casos, características e propriedades com pouco interesse para os estudos em grandes escalas (pequenas áreas), as influências entre elas podem até ser ‘relaxadas’, mas não mais ignoradas completamente. Pode-se simplificarmente dizer que a complexa rede de feedbacks que constituem os sistemas geomorfológicos (não-lineares) implica que não é possível separar convenientemente, como se está acostumado a fazer, as diferentes escalas espaço/temporais. Os eventos que ocorrem em diferentes escalas podem deter uma rede de efeitos sobre o funcionamento do sistema, devido às suas sensibilidades às condições iniciais. Nestes termos, se as condições locais do sistema forem propícias, pequenas mudanças em processos de grandes escalas poderão decorrer bifurcações com possibilidades de ampliações de seus efeitos em longos períodos de tempo, e, sobre grandes extensões de áreas (pequenas escalas). Ou seja, podem amplificar os seus efeitos por entre as escalas. Para Lane & Richards, (1997, p.258) um dos maiores desafios se

torna, assim, o de entender como os processos que operam em pequenas escalas podem resultar em comportamentos em amplas escalas espaçotemporais.

5. Considerações Finais

As implicações do contexto da Complexidade para a Geomorfologia estão em fase de expansão. Estão ocorrendo incorporação de noções como desequilíbrio, instabilidades, incertezas, auto-organização, criticalidades etc e, sendo refletidas repercussões ontológicas, como o reconhecimento das não-linearidades e caráter singular-histórico do fenômeno geomorfológico, e epistemológicas como o diálogo entre métodos tradicionalmente tratados como opostos. É importante relevar que tal entendimento advém justamente da tradição do conhecimento que buscou demonstrar que o acaso, o singular e o histórico eram apenas aparentes e não estavam inscritos no nível fundamental da realidade – que na verdade funcionaria somente em termos de universalidade, padrões e leis. O contexto da Complexidade traz pertinentes questões que precisam ser melhores exploradas em âmbito nacional.

Neste movimento, não devemos seguir o costume da modernidade de colocar o “novo” como oposto ou melhor que o “antigo”, mas sim, dialogar as abordagens tradicionais com as novas ideias, noções e técnicas – ou seja, conversar com as novidades a partir de uma base sólida, observando congruências e divergências. Neste sentido, não se contesta os tipos de metodologias que a geomorfologia opera, mas a falta de investidas teóricas para o aprimoramento delas – etapa primordial para o avanço metodológico.

Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento da pesquisa que derivou o presente texto (Processo FAPESP - 2010/16105-8).

Referências

- BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis : Editora Vozes, 1973, 351p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo : Edgard Blücher, 1980, 188p.
- CHRISTOFOLETTI, A. O desenvolvimento teórico-analítico em Geomorfologia: do ciclo de erosão aos sistemas dissipativos. **Geografia**, 14 (28), p.15-30, 1989.
- COVENEY, P. HIGHFIELD, R. **A Flecha do Tempo**. São Paulo : Siciliano, 1993, 335p.
- CULLING, W. E. H. Equifinality: moderns approaches to dynamical systems and their potential for geographical thought. London: **Transactions of the Institute British Geographers**, London : 12, p.57-72, 1987.
- DEBRUN, M. A idéia de auto-organização. In: GONZALES, M. E. Q., PESSOA Jr. **Auto-organização**, Coleção CLE 18, Campinas, 1996, p.3-23.
- DUTRA-GOMES, R. Aspectos do Determinismo científico e a Geografia. **Terra Livre**, ano25, vol.01, número 32, p.77-91, Jan-Jun/2009.

- DUTRA-GOMES, R., VITTE, A. C. A Geografia Física e o objeto complexo: algumas flexibilizações do processual. **Geosul**, v. 26, n.50, p.08-38, 2011.
- HARVEY, A. M. Geomorphic instability and change—Introduction: Implications of temporal and spatial scales. **Geomorphology**, Editorial, 84, p.153–158, 2007.
- HOOKE, J. M. River meander behaviour and instability: a framework for analysis. **Transactions of the Institute British Geographers**. New Series, 28, p.238-253, 2003.
- HOOKE, J. M. Complexity, self-organization and variation in behaviour in meandering rivers. **Geomorphology**, 91, p.236-258, 2007.
- HUGGETT, R. J. Dissipative Systems: implications for geomorphology. **Earth Surface Process Landforms**, vol. 13, p.45-49, 1988.
- INKPEN, R. **Science, Philosophy and Physical Geography**. London and New York : Routledge, 2005, 164p.
- KLIKENBERG, B., GOODCHILD, M. F. The fractal properties of topography: a comparison of methods. **Earth Surface Processes and Landforms**, Vol.17, p.217-234 1992.
- LANE, S. N., RICHARDS, K. Linking river channel form and process: time, space and causality revisited. **Earth Surface Processes and Landforms**, vol.22, p.249-260, 1997.
- LUZZI, R., VASCONCELLOS, A. R. **Algumas considerações sobre a complexidade, auto-organização e informação**. Campinas/SP.: UNICAMP, 1999, 108p.
- MALANSON, G. P. Considering Complexity. **Annals of the Association of American Geographers**, 89, pp.746-753, 1999.
- MONTEIRO, C. A. de F. Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas. Perspectivas urbanas e agrárias ao problema da elaboração de modelos de avaliação. In: **Anais do Simpósio sobre a Comunidade Vegetal como Unidade Biológica, Turística e Econômica**. ACIESP, 15. Secretaria da Cultura, Ciência e Tecnologia. Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1978, 43p.
- MONTEIRO, C. A. de F. **Clima e excepcionalismo: Conjecturas sobre o desenvolvimento da atmosfera como fenômeno geográfico**. Florianópolis : Ed. da UFSC, 1991, 233p.
- MORIN, E. On the definition of complexity. pp.62-68. In: **The Science and Praxis of Complexity**. Contributions to the Symposium held at Montpellier, France, 9-11 May 1984, Ed. The United Nations University, 1985, 384pp.
- MORIN, E. **O método. Vol. 2 – A vida da vida**. Porto Alegre : Sulina, 2001, 528p.
- MORIN, E. LE MOIGNE, J. L. **A inteligência da complexidade**. São Paulo : Ed. Peirópolis, 2000, 263p.
- PHILLIPS, J. D. The end of equilibrium? **Geomorphology**, Vol. 5, Issues 3-5, August p.195-201, 1992.
- PHILLIPS, J. D. Deterministic uncertainty in Landscape. **Earth Surface Process Landforms**, v.19, p.389-405, 1994.
- PHILLIPS, J. D. Self-organization and landscape evolution. **Progress in Physical Geography**, v.19, n.3, p.309-321, 1995.
- PHILLIPS, J. D. **Earth Surface Systems: complexity, order and scale**. Oxford – UK : Blackwell publishers, 1999, 180p.
- PHILLIPS, J. D. Sources of nonlinearity and complexity in geomorphic systems. **Progress in Physical Geography**, 27, 1, p.1-23, 2003.
- PHILLIPS, J. D. Deterministic chaos and historical geomorphology: A review and look forward. **Geomorphology**, 76, p.109–121, 2006.
- PRIGOGINE, I. **O nascimento do tempo**. Lisboa : Nova biblioteca 70, edições 70, 1988, 77p.
- PRIGOGINE, I. **O fim das certezas. Tempo, caos e as leis da natureza**. São Paulo : Editora da UNESP, 1996, 199pp.
- RENWICK, W. H. Equilibrium, disequilibrium and nonequilibrium landforms in the landscape. **Geomorphology**, Vol. 5, Issues 3-5, pp.265-276, August 1992.
- RHOADS, B. L. The Dynamics Basis of Geomorphology Reenvisioned. **Annals of the Association of American Geographers**, 96 (1), p.14-3, 2006.
- SCHAEFER, F. O Excepcionalismo na geografia: um estudo metodológico. **Boletim de Geografia Teórica**. Rio Claro, v.7, n.13, p.5-37, 1977.
- SCHUMM, S. A., LICHTY, R. W. Tempo, espaço e causalidade em geomorfologia. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, v.13 n.25, p.43-62, jun.1973.

- SPEEDING, N. On Growth and Form in Geomorphology. **Earth Surface Process and Landforms**, Vol.22, p.261-265, 1997.
- STRAHLER, A. Dynamic basis of Geomorphology. **Bulletin of the Geological Society of American**, v.63, n.9 : 923–938, 1952.
- STØLUM, H. River meandering as a Self-organization process. **Science**, New Series, Vol.271, N°5256, p.1710-1713, Mar. 22, 1996.
- TURCOTTE, D. L. **Fractals and Chaos in Geology and Geophysics**. Cambridge UK : Cambridge University Press, 1992, 221p.
- WERNER, B. T. Complexity in Natural Landform Patterns. **Science**, Vol.284, 2 April p.102-104, 1999.