



## Geomorfologia, Análise Ambiental e Geoprocessamento

Jorge Xavier da Silva

Universidade Federal do Rio de Janeiro – CCMN – Instituto de Geociências  
Depto. De Geografia, Bloco I, salas 1/5 – CEP: 21949-900  
Tel: (21) 9997-8249 – E-mail: xavier@igeo.ufrj.br

### RESUMO

Este trabalho objetiva realçar algumas possíveis conexões entre o conhecimento geomorfológico e sua prática, e a perspectiva sistêmica e o geoprocessamento. A Geomorfologia é reconhecida como um campo fundamental de investigação científica, em particular em relação à pesquisa ambiental.

Muitas definições são submetidas à crítica, na tentativa de chamar a atenção de pesquisadores do ambiente para as contribuições conceituais, metodológicas e tecnológicas oriundas da Teoria Geral dos Sistemas e do Geoprocessamento e uso de Sistemas Geográficos de Informação.

Dois tipos de modelos ambientais são apresentados: a) um modelo geomorfológico pictórico-sistêmico; e b) um modelo ambiental conceitual-holístico. Uma breve discussão acerca de termos como avaliações, cenários e diagnoses ambientais compõem a parte final do trabalho.

Palavras-chave: geoprocessamento, análise ambiental, sistema ambiental

### ABSTRACT

This paper aims to bring some light to some possible connections between the geomorphologic knowledge and its practice, and the systemic perspective and the geoprocessing and GIS technology. Geomorphology is recognized as a fundamental field of scientific investigation, particularly in relation to environmental research.

Many definitions are submitted to criticism, in a attempt to call the attention of environmental researchers to the conceptual, methodological and technological assets stemming from the General System Theory and from the more recently developed Geoprocessing and GIS approach to the handling of environmental data.

Two types of environmental models are presented: a) pictoric-systemic geomorphological model; and b) conceptual-holistic environmental model. A brief discussion about terms such as environmental evaluation, scenarios and diagnosis is presented as the final part of the paper.

Keywords: geoprocessing, environmental data analysis, environmental system

O presente texto visa contribuir para demonstrar a necessidade de serem criadas ligações viáveis entre o conhecimento já existente e em produção na Geomorfologia, a representação ambiental por modelos conceituais e pictóricos com base em uma perspectiva sistêmica, e a modelagem digital do ambiente, dita holística e composta em associação com a criação de bases georreferenciadas de dados e o uso do geoprocessamento. Este tipo de modelo, pelas suas possibilidades de aplicação praticamente direta como elemento de apoio à decisão, tem tido crescente utilização em pesquisas ambientais, constituindo o campo de pesquisa conhecido internacionalmente como GIS (Geographic Information Systems). Modelos de outros tipos, como os de caráter estatístico ou determinístico, muito usados na representação de processos

geomorfológicos, não serão objeto de análise neste texto. São fragmentários e de difícil integração entre si e com outros tipos de modelos, em particular com os que permitem uma visão holística e operacional, como são os modelos digitais do ambiente.

Dar continuidade expositiva à temática abordada no presente texto não é tarefa das mais fáceis. Muitas das considerações apresentadas poderão ser julgadas estanques. Roga-se ao leitor que faça as pontes entre os temas abordados em cada parágrafo, considerando sempre o próprio título geral do texto. Talvez um pouco de reflexão sobre os relacionamentos entre os assuntos debatidos venha facilitar a incorporação das idéias aqui veiculadas.

Conforme já enunciado e aqui mais especificamente, é preciso criar pontes entre o conhecimento geomorfológico organizado, a chamada Geomorfologia Sistemática, que permite a identificação das entidades que compõem o relevo terrestre, a perspectiva sistêmica, e o geoprocessamento de dados, que viabiliza o tratamento dos dados geomorfológicos de forma integrada, colocando-os dentro do contexto ambiental, através dos modelos digitais do ambiente. Este tipo de tratamento traz para a Geomorfologia uma aplicabilidade insuspeita até pouco tempo atrás, quando os estudos geomorfológicos eram produzidos praticamente fora do contexto ambiental. Com sua nomenclatura originada de termos criados em diversos idiomas, este tipo de conhecimento geomorfológico e dissociado da realidade ambiental facilmente se tornou hermético e de utilidade restrita, o que é, sem dúvida, uma condição socialmente indesejável, pelo seu caráter elitista.

Um dos mais fortes embasamentos para a realização de eficientes análises ambientais consiste no uso judicioso dos conhecimentos geomorfológicos existentes sobre a área a ser estudada. Tal fato é amplamente perceptível na literatura referente às pesquisas geológicas, pedológicas, geotécnicas e agrônomicas, sem esquecer a geográfica (Goes, 1994; Bergamo, 1999). Este uso se justifica por duas razões: a) por serem os conhecimentos geomorfológicos, axiomáticamente, ou seja, por definição, referentes à base física da ocupação geoeconômica da superfície terrestre pelo homem; b) pela natureza da terminologia geomorfológica que, sendo ambiciosa, torna-se de múltipla utilização nos vários campos da pesquisa ambiental. Quais seriam as características fundamentais da nomenclatura geomorfológica que lhe conferem tal condição de uso disseminado? A resposta é que a taxonomia geomorfológica, explicitamente ou não, contém em suas definições a consideração simultânea de três atributos das entidades estudadas. Estes atributos são a forma, a composição e a origem destas entidades, e a múltipla e a conjugada consideração destes atributos na construção das definições geomorfológicas trazem grande e diversificado conteúdo informativo às mesmas. Para que a validade dessa afirmação seja aquilatada, talvez seja suficiente comparar a terminologia geomorfológica com outras nomenclaturas usadas em pesquisas ambientais. Torna-se constatável, como exemplos, que os estudos da cobertura vegetal da superfície terrestre usam termos descritivos da aparência (fitofisionomia) ou da composição (florística) da vegetação; que a pesquisa geológica por muito tempo usou, e ainda usa, em certa medida, classificações que se basearam em unidades do tempo geológico; e que as investigações pedológicas têm procurado, com sucesso apenas relativo, a definição de suas entidades com base em características físicas e químicas do solo. A Geomorfolo-

gia, por outro lado, ao criar seus termos em bases descritivas (forma e composição) e genéticas (processos geradores e modificadores), pode ser inquirida de pretensiosa (o sendo, em certas instâncias), mas certamente garante para as entidades assim definidas uma aplicabilidade a diversos campos das pesquisas ambientais. Esta característica da nomenclatura geomorfológica a torna particularmente utilizável na criação dos modelos diagramáticos iniciais, que constituem, muitas vezes, a pedra de toque de uma correta e possivelmente dispendiosa pesquisa ambiental. É imprescindível que tais modelos iniciais sejam facilmente correlacionados como os custosos modelos digitais, que são obtidos, muitas vezes, após anos de esforços de coleta e armazenamento de dados ambientais. A incorreta condução destes esforços e os conseqüentes resultados incompatíveis com os gastos realizados, podem, em alguns casos, ser atribuídos à ausência de uma reflexão organizada sobre a investigação a ser empreendida. Neste sentido, é útil conhecer um pouco sobre a perspectiva sistêmica e sobre a modelagem digital, pelo menos em seus aspectos conceituais, tal como apresentados no presente texto.

Se o *geoprocessamento* é um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre bases de dados (que são registros de ocorrências) georreferenciados, para os transformar em *informação* (que é um acréscimo de conhecimento) relevante, deve necessariamente apoiar-se em estruturas de percepção ambiental que proporcionem o máximo de eficiência nesta transformação. Uma destas estruturas é a *visão sistêmica*, na qual a realidade é percebida como composta por entidades físicas ou virtuais, os sistemas identificáveis, que se organizam segundo diversos tipos de relacionamentos, entre os quais ressaltam, para as investigações ambientais, as relações de inserção (hierarquia), justaposição (proximidade/contigüidade) e funcionalidade (causalidade). Segundo esta perspectiva, a realidade ambiental pode ser, portanto, percebida como um agregado de sistemas relacionados entre si.

Torna-se necessário, nesta exposição, apresentar um conjunto de conceitos destinado a tornar operacional esta perspectiva teórica. Este balizamento conceitual destina-se a propiciar, ao pesquisador ambientalista, a incorporação desta visão poderosa, e não deve ser confundido com a simples apresentação de um vocabulário. O pensamento e a reflexão, imprescindíveis à assimilação de conceitos, não devem ser substituídos pela capacidade de enumerar vocábulos sonoros em demonstrações garbosas, por vezes irresponsáveis, de uma pretensa erudição. A diluição de significados, a perda de substância de termos úteis para a pesquisa ambiental, é um resultado perverso derivado desta utilização corruptora da terminologia científica.

Foi apresentado acima um primeiro conceito de sistema como um componente perceptível

da realidade ambiental. Como uma primeira aproximação esta definição pode ser válida. Porém, por basear-se apenas em uma relação de inserção, peca por não estabelecer uma caracterização direta. Não há, nesta definição, o claro estabelecimento da constituição do elemento definido. Este é um erro muito comum em definições ambientais. Procurando caracterizar as importantes relações que permeiam os fenômenos ambientais, algumas destas definições não identificam suas categorias intrínsecas, atendo-se à apresentação de suas relações relevantes. Pode acontecer, também, que definições pouco cuidadosas cometam outros tipos de erros, como conceituar um atributo de um sistema (vulnerabilidade, por exemplo) como um processo, que é uma seqüência de eventos. Para minimizar a possibilidade destes erros é necessário discutir o significado e a prática do ato de definir.

*Definir* pode ser entendido como identificar a extensão de ocorrência de algum fenômeno, originando-se do latim *finis*, que gerou fim, finalidade, significando término, em português. Conduzindo estas acepções para o contexto da presente discussão, é razoável afirmar-se que *definir* significa apresentar os limites da validade de aplicação de um conceito. Estes limites devem ser, o mais possível, exatos. Isto significa que, em princípio, não devem ser cometidos *erros de inclusão ou exclusão*. Em outros termos, exige-se que todos os fenômenos que pertençam à categoria definida estejam contemplados pela definição, que não deve incluir elemento algum que a ela não pertença. A verificação da validade de qualquer definição pode, em consequência, ser diretamente executada pela inspeção da eventual presença de erros de inclusão ou exclusão. Essa exegese pode ser feita sem maiores cerimônias, a qualquer momento, por um pesquisador, mesmo principiante, que perceba uma suposta inadequação em um conceito apresentado no seu campo de pesquisa. Ele estará verificando se a definição apresenta a desejada e dificilmente obtida duplicidade de atributos opostos: concisão e abrangência. Todo conceito deve ser, ao mesmo tempo, suficientemente conciso, para não conter inclusões indevidas, e suficientemente abrangente, para que erros de exclusão não sejam cometidos. Na Geomorfologia, o uso conjugado dos atributos da forma, composição e origem na identificação de entidades tende a minimizar a possibilidade de geração de erros de inclusão e exclusão na criação de classificações geomorfológicas, não sendo razoável, entretanto, afirmar que suas ocorrências sejam impossíveis ou mesmo improváveis.

O ato de pesquisar é, essencialmente, um procedimento de investigação do desconhecido, a ser executado segundo óticas que podem ser artísticas, religiosas, especulativas (filosóficas) ou ditas científicas, caso apresentem resultados coerentes, reproduzíveis e, principalmente, socialmente aceitáveis. Da pesquisa do desconhecido resultam vari-

ados registros de ocorrência, ou seja, *dados* os mais diversos, cuja validade freqüentemente é suspeita e sujeita a constante e progressiva verificação. O conjunto organizado de registros perceptíveis da realidade, oriundo dos procedimentos de pesquisa, pode ser designado como *ciência*, termo que na sua acepção vernacular significa exatamente *conhecimento*. Entretanto, pode-se denominar como *ciência*, ou melhor, *campo científico*, a um agregado de conhecimentos organizados e referentes a uma determinada faceta da realidade percebida. No caso da Geomorfologia, tal faceta compreende o aspecto físico da superfície terrestre, que é disciplinadamente classificado em termos das entidades denominadas *formas de relevo*, para as quais são criadas as definições descritivo/genéticas da nomenclatura geomorfológica.

O conhecimento, ou seja, os dados, os conceitos, as idéias afinal, atuam sobre os homens e em particular sobre os pesquisadores, transformando-os. É importante notar o efeito que as idéias tem sobre os grupos sociais. É mais importante, porém, observar o que fazem os pesquisadores (e os grupos sociais, em geral) com as idéias. É fundamental que o conhecimento, a ciência enfim, seja apropriada segundo o interesse social, ao contrário do que ocorre comumente, ou seja, a apropriação dos benefícios de um esforço cumulativo e coletivo, como é a pesquisa científica, sendo feita por interesses particularizados. Existe, já no parágrafo anterior, uma provocação na caracterização da pesquisa científica válida como sendo aquela "socialmente aceitável". Neste contexto, surge o conceito de teoria, um conjunto organizado de idéias aceitas e relativas a um determinado aspecto da realidade. As teorias podem também ser consideradas como conjuntos de prévias hipóteses, verificadas e estruturadas para explicar uma parcela da realidade percebida.

Para a construção de teorias podem ser usados dois tipos de raciocínio (também denominados *métodos racionais*): a *indução* e a *dedução*. O raciocínio indutivo opera sobre associações de dados em sucessivas e numerosas verificações e assim edifica um corpo de conhecimentos organizado que é, em essência, a teoria que explica as associações estudadas. Parte, portanto, do particular e generaliza, teorizando. Não é um raciocínio inteiramente elucidativo (lógico), mas permite explicar a realidade, admitindo margens de erro, á luz do conhecimento adquirido. O raciocínio dedutivo, por outro lado, se apoia em relações conhecidas, algumas vezes já consubstanciadas em teorias aceitas. Investiga a realidade promovendo analogias e expansões das explicações existentes, a partir de premissas (Todos os homens são mortais. Sócrates é um homem. Sócrates é mortal).

É preciso notar que ambos raciocínios, o indutivo e o dedutivo, podem operar sobre estruturas de verificação, como é o caso dos experimentos



estatísticos (*experimental designs*), de uso frequente em pesquisas ambientais, particularmente na Agronomia. Com apoio, geralmente, na lógica formal, são criadas inferências sobre relações constatadas a partir da análise dos dados dispostos no experimento. Pode tornar-se difícil discernir onde termina a indução e começa a dedução, nestes casos, pode-se afirmar que os dois tipos de raciocínio se conjugam na construção das teorias.

Esta discussão facilmente transcenderia os limites impostos pelos objetivos do presente texto, tornando-o eivado de especulações talvez pouco proveitosas. O leitor é remetido ao conceito de *paradigma* como sendo uma visão do mundo, uma valorização socialmente aceita de certos tipos de resultados, a qual sofre erosão ao longo do tempo e requer episodicamente substituição por novas concepções orientadoras da investigação da realidade, ou seja, novos paradigmas. Popper (1974) e Kuhn (1987) são referências valiosas sobre esta temática. Trazendo a discussão para uma situação presente, pode ser lembrado que os avanços tecnológicos rapidamente trazem inovações e transformações metodológicas e conceituais (ideológicas) de absoluto interesse científico e social. Tal fato dá uma primeira imagem da premência com que deve ser feita a integração dos conhecimentos existentes nos níveis conceitual, metodológico e tecnológico, hoje ainda tendendo a progredir de forma dissociada. O presente texto tenta trazer alguma luz sobre as possibilidades desta integração, no que se refere à Geomorfologia, aos conceitos sistêmicos e ao geoprocessoamento.

No seu conjunto, é no nível ideológico acima delineado que se realiza a sanção das percepções obtidas pela investigação científica. No entanto, individualmente, a validação de uma pesquisa baseia-se no reconhecimento de que a investigação foi executada segundo procedimentos lógicos consagrados. O conhecimento científico é tido como organizado e necessariamente obtido sob procedimentos sistemáticos e reproduzíveis. Manter tal premissa significa caminhar com segurança durante os procedimentos de aquisição dos dados, sua análise e estabelecimento de sínteses e conclusões. Significa fazer asserções lógicas e documentadas. O *método* é, exatamente, o caminho, o encadeamento de procedimentos adotado para a obtenção do conhecimento científico.

Considerações metodológicas são o principal constituinte do presente texto. Relações entre o método científico e alguns conceitos basilares da pesquisa ambiental serão feitas adiante. Não obstante o fato de que toda investigação científica pode trazer inovações metodológicas e conceituais, a pesquisa dita metodológica é aquela que se dedica, especificamente, a testar novas maneiras de obtenção de conhecimento organizado. Este texto procura mostrar caminhos destinados à obtenção e documentação de assertivas ditas científicas. Con-

trasta, ao usar a Geomorfologia em exemplos de aplicação, com a investigação de caráter estritamente tecnológico, que se ocupa da geração de procedimentos (tratamentos, ou seja *técnicas*) destinados à obtenção de resultados específicos.

A aquisição metódica do conhecimento exige que sejam obedecidos os limites da capacidade de identificação e classificação associados à percepção humana, direta ou instrumentalizada. Tais limites são impostos pela lógica e se expressam sob a forma de *princípios*, que são proposições irretorquíveis emanadas das propriedades percebidas nas entidades e eventos que compõem a realidade. Assim, se todo fenômeno (entidade ou evento) pode ter sua *localização* e *extensão* definidas em um referencial, se está em constante *evolução* e não se apresenta isolado, mas sim em *correlação* com outros fenômenos, sua percepção está inserida em um contexto lógico. Este contexto pode até não ser exato, ou verdadeiro, mas é lógico e, como tal, aceitável, em princípio. Em função desta inserção da análise de fenômenos em uma estruturação lógica, torna-se possível fazer identificações e classificações baseadas em singularidades, contrastes, similaridades e analogias. Em termos ambientais, podem ser criadas categorias que distingam e designem as entidades e eventos percebidos, pelos seus atributos físicos (cor, dureza, utilidade, valor), ou consoante suas relações funcionais, ou ainda segundo suas posições e extensões no referencial temporal ou espacial adotado. A Geomorfologia, como já mencionado, procura abarcar todos os três aspectos citados, ao considerar a forma da entidade (posição e extensão), sua composição (atributos físicos) e, ainda, suas relações topológicas e funcionais.

É necessário, no desenvolvimento desta apresentação, trazer à baila um assunto controverso, que exige do pesquisador uma opção que não é, em senso estrito, científica, mas sim ética e existencial. Trata-se do postulado da *causalidade*. Fora do conhecimento puramente matemático, não é possível se obter uma conclusão absolutamente segura a partir de uma pesquisa. Entretanto, todo pesquisador tem fé na possibilidade de explicar *satisfatoriamente* a realidade percebida, ou seja, aceita o postulado da causalidade, que solicita crença na possibilidade de serem levantadas relações de causa e efeito, com maior ou menor probabilidade de acerto. Este postulado está implícito na investigação científica. Em certo sentido, é um dogma necessário. Acredita-se na causalidade para continuar duvidando, isto é, pesquisando o desconhecido, o que nada mais é do que duvidar metodicamente. A dúvida generalizada, que gerou a base para o raciocínio cartesiano, não pode erigir-se em metodologia de pesquisa cotidiana, pois tenderia a paralisá-la. As dúvidas devem ser específicas e especificadas como alvo da investigação metódica. Excetuando-se o caráter dramático da afirmação,

duvidar de tudo ameaça a própria existência do homem como espécie. Acreditar em algo é uma atitude que emana da própria vontade de sobrevivência do homem.

É preciso notar que atos de fé, como a crença na causalidade, têm conteúdo prático e não são apenas idéias inconseqüentes. Por exemplo, pode-se conceber a aplicação restrita, planetária, dos efeitos da gravidade terrestre, mas não tem muito sentido duvidar de seu valor prático, anedótico inibidor das tendências suicidas de quem pensa atirar-se de uma andar alto de um edifício. Em um exemplo mais sério (?), acredita-se, sem necessidade de comprovações específicas, na validade de relações de causa e efeito condicionadas pela gravidade, quando se estuda o escoamento de águas superficiais. Na Geomorfologia dita dinâmica, na qual se investiga processos geomorfológicos, não aceitar o postulado da causalidade é um anátema paralisante.

Voltando aos esforços de relacionamento da visão sistêmica com a análise ambiental, através de uma aplicação direta desta perspectiva, pode ser inferido o conceito de ambiente como um sistema. Esta visão não contradiz definições baseadas em características dinâmicas do ambiente, como, por exemplo, aquela que o apresenta como o produto da interação entre fatores físicos, bióticos e sócio-econômicos, atuando de forma convergente na sua caracterização como fenômeno perceptível. O conceito de ambiente como sistema não considera apenas os processos geradores de fenômenos ambientais, mas também traz à baila, imediatamente, a necessidade de identificação de características importantes do ambiente, como a posição geográfica, a extensão territorial (que conduzem ao conceito de forma), e as relações topológicas e funcionais (estas últimas indutoras do conhecimento sobre a composição das entidades envolvidas). Assim sendo, convém discutir a relação deste conceito de ambiente com a visão sistêmica, de preferência segundo uma ordenação que facilite seu entendimento inicial, sua assimilação e, principalmente, a sua aplicação em situações concretas de pesquisa ambiental.

Chorley e Kennedy (1971, p.1), definem inicialmente *sistema* como um conjunto estruturado de objetos e/ou atributos. Pode parecer ao pesquisador menos avisado que tal definição é excessivamente abrangente, muito generalizada. É preciso notar que esta definição contém, como já foi mencionado acima, uma perspectiva, um ponto de vista quanto à realidade, a qual passa a ser encarada como um conjunto imbricado de estruturas perceptíveis. A amplitude desta aceção permite sua aplicação a um amplo espectro de campos da investigação científica, entre os quais se inclui a pesquisa geomorfológica. Conforme já sugerido no presente texto, longe de ser apenas uma visão acadêmica do mundo, esta perspectiva, além da grande aplicabi-

lidade, pode erigir-se em um roteiro para a pesquisa, podendo ser usado em diversos níveis de abstração – conceitual, metodológico e tecnológico – por pesquisadores em diferentes estágios de preparação profissional.

Note-se também que a perspectiva sistêmica pode ser usada no tratamento de problemas taxonômicos, tanto no conjunto de atributos envolvidos em uma pesquisa (escalas de cores, de dureza), como na identificação e classificação de fenômenos com base em suas expressões territoriais e topológicas (baixadas costeiras, planícies fluviais). Esta última possibilidade é, obviamente, de direto interesse para a pesquisa geomorfológica. É exemplo um pouco mais complexo do uso da perspectiva sistêmica no universo dos atributos a expressão *sistema agrário*, que integra atividades e características sociais e econômicas diversas (classes de manejo agrônômico e de regime fundiário, comportando diversos rendimentos associados a variados cultivos e tipos de criação animal). Como exemplo do uso da visão sistêmica em relação a fenômenos que apresentam territorialidade evidente, pode ser citada a análise de uma bacia hidrográfica segundo as numerosas e identificáveis pequenas unidades de captação da água atmosférica que a integram. Este tipo de análise permite a discretização do espaço geográfico segundo entidades suficientemente uniformes, como são as micro-bacias. Para o geoprocessamento e para a modelagem ambiental em geral, a possibilidade de discretização eficiente do espaço geográfico é de importância capital, propiciando, em princípio, validade para correlações e classificações destas unidades, pela sua baixa ou inexistente variância interna. No caso do presente exemplo deve ser acrescido que a utilização de micro-bacias como unidades de análise e integração de bacias hidrográficas permite considerar, na investigação, o encadeamento natural da circulação da água superficial de montante para jusante, o que permite criar uma hierarquia funcional das bacias (primeira ordem, de segunda ordem, etc.).

A percepção de estruturas hierarquizadas referentes a sistemas ambientais, semelhantes à exemplificada no parágrafo anterior, é obviamente importante e pode ser tentada a partir da visão sistêmica devidamente tornada operacional através do geoprocessamento. Este apoio tecnológico/metodológico oferecido pelo geoprocessamento é o fator que o qualifica como um poderoso agente na criação de pontes entre as concepções teóricas, como é a visão sistêmica, e a prática da pesquisa ambiental. Remete-se o leitor ao estudo do geoprocessamento como ramo do conhecimento intensamente aplicável às investigações ambientais, em geral, e geomorfológicas, em particular Bonham-Carter, 1996; Xavier-da-Silva, 1994 e Xavier-da-Silva *et al*, 1996.

Posteriormente, em valiosas ampliações, no texto citado, Chorley e Kennedy (1971) refina o conceito inicial acima apresentado, induzindo a que se atribua, aos sistemas, as características imanentes de apresentarem necessariamente limites, partes componentes, funções internas e externas. Uma vez aceita a concepção de *sistema* como sendo um conjunto estruturado de objetos e atributos, e que, repita-se, apresenta limites, partes componentes, funções internas e externas, torna-se aceitável também a concepção de ambiente como um sistema. Um *ambiente* seria um sistema com expressão espacial, com limites identificáveis, estruturado por funções internas, que dão consistência a suas partes componentes (que podem ser consideradas, quando cabível, sub-sistemas), e por funções externas que o relacionam com eventos e sistemas que lhe são exteriores. Com base nestas acepções de ambientes e sistemas torna-se a perspectiva sistêmica um poderoso apoio às pesquisas ambientais. Qualquer entidade percebida - inclusive a própria realidade concebida como um todo, isto é, como um sistema - pode ter seus limites de ocorrência examinados e eventualmente definidos, ser decomposta em partes componentes (as quais, repita-se, podem vir a ser consideradas sistemas por si próprias), ter investigadas as relações funcionais que interligam suas partes componentes e consideradas, também, suas relações com outras entidades e eventos externos (outros sistemas). Esta análise, estas investigações, constituem a base para o entendimento da entidade ambiental, em termos de sua constituição, funcionamento e possível inserção em estruturas que a contenham. Ao indicar procedimentos ordenados, sistemáticos, racionais, a serem adotados em uma pesquisa, não será esta visão, esta formulação, em si mesma, um roteiro de investigação ambiental?

Com relação à identificação de sistemas, deve ser ressaltado que, pelo menos na pesquisa ambiental, sua aplicabilidade pode ser entendida como restrita a entidades que tenham expressão física (real, como no caso de uma bacia hidrográfica; ou virtual, como são as estimativas de áreas de riscos de enchentes, secas, etc.). Um *sistema ambiental*, conseqüentemente, é uma entidade, tem uma dimensão territorial, uma localização em um referencial espacial, e não deve ser confundida com sistemas compostos por elementos pertencentes ao universo taxonômico (conjunto ou sistema de cores do arco-íris, sistema de classificação de solos segundo sua relação com o clima, sistema de classificação de minerais segundo sua dureza relativa). A menção aqui feita à existência deste tipo de sistemas é feita por fidelidade à definição inicial de sistemas apresentada por Chorley e Kennedy (1971): conjunto estruturado de objetos e/ou atributos, que é uma acepção geral, não especificamente ambiental ou geomorfológica.

Ainda com relação à identificação de sistemas ambientais, estes não devem ser confundidos

com *processos*, que são seqüências de eventos, percebidas como tendo caráter repetitivo e, forçosamente, são fenômenos que se verificam dentro da dimensão temporal. Processos se associam aos sistemas, ao traduzirem as trocas de energia/massa que são responsáveis pelas constantes alterações neles constatáveis, mas não podem ser com eles confundidos. Pode-se afirmar que, para fins da pesquisa ambiental, sistemas ambientais são entidades espaciais, enquanto processos são seqüências de eventos, com a ressalva de que um evento pode ter caráter singular, neste caso significando a ocorrência de um acontecimento único e não seqüencial.

É possível discernir a possibilidade de criação de estruturas de dados particulares, que se destinem a *representar* sistemas e permitir seu estudo. Estas estruturas de dados são os *modelos* e podem assumir diversas formas e níveis de complexidade. São exemplos os diagramas, mapas, equações matemáticas e também as *bases de dados georreferenciadas*. Este último tipo de modelo é de particular importância para a análise ambiental e o geoprocessamento, constituindo os *modelos digitais do ambiente* (Xavier-da-Silva, 1982). Trata-se de uma montagem de dados, normalmente contida em uma estrutura de processamento automático, que procura reproduzir os limites e as partes componentes do sistema ambiental e, se possível, os processos ambientais que caracterizam suas funções internas (de conexão entre suas partes componentes) e suas funções externas (que garantem sua existência através de trocas de energia e massa). Em termos operacionais, pode ser confundida com a base de dados georreferenciada, a qual transcende por conter não apenas os planos de informação básicos com os quais se inicia a análise ambiental, mas também porque pode abranger informação oriunda de bancos de dados convencionais e de avaliações de relacionamentos de diversos tipos (estimativas do potencial de interação entre localidades, por exemplo).

É axiomático que as dimensões tempo e espaço são concomitantes e contínuas. Sistemas ambientais estão inseridos nestas dimensões básicas e, como tal, apresentam-se em constante alteração. O levantamento de um ambiente, um lugar, em uma determinada ocasião (momento), forçosamente é um corte dirigido das condições espaciais e temporais assumidas como vigentes e suficientes para retratar os aspectos ambientais julgados de interesse para a pesquisa em realização. São estes cortes espaço-temporais, portanto, que tornam possível estudar os ambientes em constante evolução. A escolha cuidadosa destes cortes, em termos de sua posição no tempo e de seus componentes espaciais, é crucial para o desenvolvimento e para os resultados da investigação empreendida. Por exemplo, se forem imprescindíveis dados atualizados sobre o uso da terra de um determinado ambi-





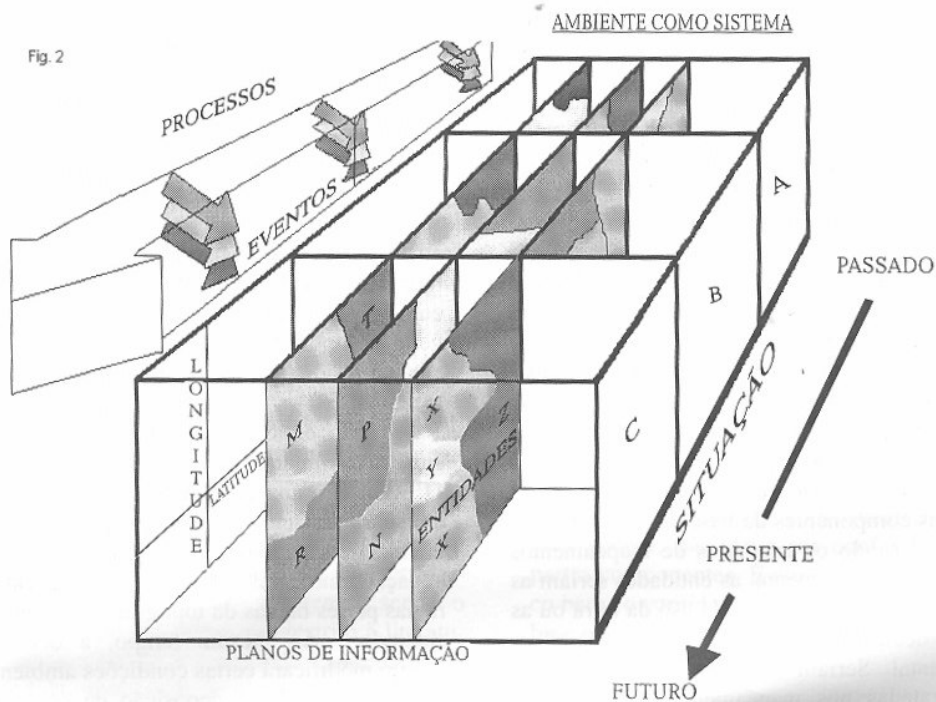
as entidades "praias" estão em contato com corpos líquidos, as "encostas limitantes" estão colocadas na periferia de áreas planas (planura e planície, no diagrama), aparecendo entre elas a entidade "talus", como acontece na realidade ambiental.

- Estes diagramas, em sua (aparente?) simplicidade, podem representar, em caráter exploratório, dois níveis de análise de sistemas ambientais. O mais evidente deles é o que contempla as entidades ambientais, que pode ser designado como *nível morfológico*. O segundo se refere aos fluxos que ligam as partes componentes do sistema, sendo responsáveis por sua evolução. Poderia ser denominado *nível encadeante*, por relacionar as entidades ambientais entre si, através dos fluxos que as permeiam. Os conceitos de níveis de análise aqui apresentados foram extraídos e adaptados de Chorley e Kennedy (1971).

- A identificação e análise das entidades e fluxos relevantes (processos) em diversas situações ambientais referentes a um sistema ambiental pode conduzir à construção documentada de modelos do ambiente. No caso do exemplo apresentado poderiam ser consideradas duas situações, uma delas referente a cheias periódicas motivadas pelo ultrapassar da capacidade de armazenamento de águas pluviais pelos reservatórios considerados, e outra trazida pelo crescimento desordenado da urbaniza-

ção de áreas alagadiças e/ou próximas de corpos líquidos. Pode ser facilmente inferida a possibilidade de estar este ambiente comprometido pela possível ocorrência de inundações de áreas urbanizadas, episodicamente, na atualidade ou no futuro, conforme alternativas possíveis do crescimento urbano. Este comprometimento pode ser estimado, em detalhe, por técnicas de geoprocessamento, após a criação de um modelo digital do ambiente do tipo que será apresentado adiante.

- A formalização de inferências como as citadas acima pode ser feita, inicialmente, no próprio diagrama, que pode tornar-se um modelo semi-pictórico ou mesmo quantitativo da realidade ambiental. A transferência destas ilações para uma base de dados georreferenciada também pode ser executada, definindo-se as situações ambientais e os respectivos planos de informação e legendas a serem obtidos e que constituirão a própria base de dados georreferenciada, gerando-se, assim, um modelo digital do ambiente que pode ser objeto de investigações por geoprocessamento. Esta transição entre o modelo pictórico/sistêmico para o modelo digital do ambiente deve ser feita com base em um conhecimento mínimo da natureza dos dois tipos de modelo. Em consequência, como uma tentativa de ilustrar a incidência e as relações entre alguns dos conceitos apresentados e introduzir alguns outros possivelmente relevantes, é apresentada abaixo a Figura 2, juntamente com algumas considerações.





A Figura 2 é um diagrama que apresenta quatro dimensões: largura, altura, profundidade e tempo. Representa por um paralelepípedo um ambiente como um sistema. Apresenta relações implícitas com sistemas geográficos de informação, na medida que contem os conceitos de localização (linhas de latitude e longitude representadas na face esquerda da situação C) e apresenta a base de dados como composta por planos de informação georreferenciados e relativos a cada situação ambiental. Nos planos de informação estão representadas as entidades que os compõem. O ambiente é representado, como realmente pode ser feito no âmbito do geoprocessamento, como uma sucessão de situações ambientais (os cortes espaço-temporais já referidos anteriormente), se projetando, como subdivisões do paralelepípedo, do passado para o presente e o futuro.

Os processos estão representados como um grande vetor, em posição superior e lateral no diagrama. Analogamente ao que ocorre com as situações ambientais e os sistemas que retratam, os elementos que permitem a percepção da presença e atuação dos processos ambientais são os eventos registráveis, que são apresentados como pequenas setas em sucessão vertical e contidas dentro do grande vetor "processo".

O raciocínio básico que permeia ambas constatações – a primeira referente às entidades e a segunda relativa aos eventos – é o de que, necessariamente, estar-se-á discretizando os dois continua, espaço e tempo, ao proceder à análise, ou seja, à decomposição, da entidade "ambiente" que esteja sendo investigada.

Relacionando os diagramas apresentados, um dos planos de informação da Figura 2 poderia ser o de Geomorfologia, com suas entidades tendo sido definidas a partir da criteriosa criação do modelo pictórico/sistêmico apresentado na Figura 1.

Se forem investigados os elementos primitivos que compõem uma situação ambiental, poderão ser encontrados dois deles: as *entidades* e os *eventos*. Conforme já mencionado, a articulação destas primitivas em um diagrama representativo da realidade ambiental é feita na Figura 2. As entidades compõem os *planos de informação* (definidos logo adiante) que, em conjunto, representam uma situação ambiental. Estas situações, em sucessão, retratam a evolução do sistemas. Mostrando a possibilidade de integração desta visão sistêmica com o geoprocessamento, são apresentados, como componentes do diagrama da Figura 2, os denominados *planos de informação*, que são os cartogramas digitais componentes da base de dados georreferenciada. Usando os exemplos de mapeamentos mencionados anteriormente, as entidades seriam as formas de relevo, ou os tipos de uso da terra ou as classes de declividade registrados para cada situação ambiental. Seriam as entidades (virtuais ou reais) retratadas nos mapeamentos segundo sua

distribuição territorial e identificadas pelas respectivas legendas. Os eventos, de percepção mais sutil, seriam as instancias dos processos ambientais que, atuando na dimensão tempo, são responsáveis, em retrospecto, pela situação ambiental, sobre a qual agiram em convergência (vide Figura 2).

É importante notar que, muitas vezes, é através da montagem experimental (ou hipotética) e respectiva análise de situações ambientais que são geradas inferências sobre a atuação anterior de processos ambientais, muitos dos quais de reprodução impossível ou impraticável (orogênias, mudanças climáticas, terremotos, vulcanismo, e também expansões de inovações, revoluções tecnológicas e sociais). Os exemplos são inúmeros na literatura ambiental.

Em síntese, pode ser proposto que os *ambientes*, vistos como *sistemas*, atravessam sucessivas *situações ambientais*, em conseqüência da atuação dos *processos* que sobre eles convergem. O retratar de tais situações ambientais pode ser feito através de um *modelo*, que pode ser *digital*. É essencial que este modelo contenha as *entidades* relevantes para a compreensão das seqüências de *eventos* (*processos*) responsáveis pela própria situação ambiental retratada.

A análise de diversas situações ambientais (situações de riscos, de potenciais de uso, de necessidades de proteção, de impacto, de ordenação geoeconômica, de zoneamento ambiental, entre outras) permite caracterizar um ambiente de uma forma diretamente voltada para a utilização racional dos recursos físicos, bióticos e sócio-econômicos nele disponíveis. Podem ser obtidas respostas para questões ambientais absolutamente relevantes (e não diletantes ou apenas acadêmicas), tais como: O que? Onde? Com base em quais características vigentes? Associado a que? Beneficiando o que? Em prejuízo de que?

Podem ser tornadas operacionais, com esta estrutura de investigação ambiental, a decantada visão holística, uma vez que os zoneamentos, por exemplo, assim como todas as análises e sínteses executadas, podem ser conduzidos com base em critérios racionais, abrangentes, explícitos e reproduzíveis. Existe certo desconhecimento, tanto entre geomorfólogos como entre ambientalistas em geral, das possibilidades (e limitações) desta profícuca associação entre disponibilidades conceituais e tecnológicas.

As entidades e eventos que compõem uma situação ambiental se relacionam dialeticamente. O evento – uma enchente, por exemplo – reflete em suas características básicas uma acomodação às restrições geradas pelas entidades presentes na situação ambiental. Ou seja, uma enchente ocorrerá nas partes baixas da topografia do ambiente considerado. Ao mesmo tempo, a ocorrência do evento modificará certas condições ambientais. No caso do exemplo, a deposição de sedimentos re-

sultará em modificações topográficas nas áreas baixas do ambiente. O exemplo é bastante direto, mas um pouco de reflexão conduzirá à imagem da validade deste raciocínio para outras relações entre eventos (como instâncias de processos) e entidades ambientais. Poderá ser assim percebido que é constante esta interação entre eventos e entidades, existindo desde as escalas microscópicas até às escalas de maior porte, retratando a própria evolução ambiental. Cabe referir, mais uma vez, que esta evolução torna-se constatável pela criação dos agregados de cortes espaço-temporais definidos acima como situações ambientais. Observa-se, mais uma vez, que estas situações são apresentadas na Figura 2 como subdivisões do diagrama em profundidade (situações A, B e C), ou seja, ao longo do eixo temporal.

É preciso um certo cuidado com o uso de termos que poderiam ser entendidos como sinônimos do conceito de situação ambiental aqui expresso. Uma *avaliação ambiental* seria um caso particular de situação ambiental, já contemplado na definição acima apresentada como uma situação hipotética e, geralmente, associada a estimativas de riscos e usos potenciais do ambiente. Para a Geomorfologia, são de óbvio interesse as estimativas de movimentos coletivos do terreno, inundações, erosão dos solos e contribuições de sedimentos oriundas de unidades territoriais como as bacias hidrográficas.

O conceito de *cenário ambiental* apresenta sombreamentos com as avaliações e situações ambientais. Os cenários distinguem-se, no entanto, por serem datados e dependentes da prevalência das condições predeterminadas constituintes da premissa ou premissas que embasam suas estimativas de possível ocorrência. Na Geomorfologia os cenários usados comumente são de dois tipos: a) *prospectivos*, quando se referem a estimativas futuras, como são as estimativas das situações ambientais que poderão ocorrer em áreas costeiras em função de subidas do nível do mar causadas por degelo das calotas polares; e b) *retrospectivos*, quando referentes a situações passadas, como são exemplos as reconstituições de situações paleoclimáticas para explicação de formas e depósitos. Neste caso, as entidades geomorfológicas ditas herdadas (não explicáveis pelos processos hoje em atuação) podem ser identificadas na base de dados georreferenciada, e serem analisadas em termos de suas relações topológicas e funcionais (em particular proximidades e inclusões em sistemas pretéritos, como é o caso de paleo-terraços associados a lagos extintos).

Termos como *paisagem geográfica* e *quadro ambiental*, por outro lado, seriam praticamente sinônimos de situação ambiental, sendo o primeiro termo de uso quase que restrito à literatura geográfica clássica, e o segundo lembrando, em certa medida, uma condição estática que não existe

nas situações ambientais. Um termo genérico que agregaria entidades e eventos, para uso em descrições e análises de situações ambientais, seria fenômenos ambientais, o qual, por pertencer à linguagem corrente, dispensaria uma definição específica, a não ser a óbvia e recursiva conceituação de agregado de entidades e eventos que compõem uma situação ambiental.

Através do uso do geoprocessamento tornam-se disponíveis, para as análises geomorfológicas, procedimentos que permitem a investigação detalhada de relacionamentos entre entidades pertencentes a um ambiente. A metodologia clássica de investigação geomorfológica baseia-se em inspeções pontuais e generalizações (IPG), feitas em campo ou a partir da inspeção de registros indiretos da localização e extensão de entidades geomorfológicas, como são os procedimentos de foto-interpretção e análise de mapeamentos. Em flagrante contraste, o geoprocessamento permite que procedimentos de varredura e integração locacional (VAIL) sejam usados na pesquisa geomorfológica. Tais procedimentos baseiam-se na existência de uma base de dados digitais a ser pesquisada e no uso do processamento eletrônico de dados como procedimento capaz de executar, incansavelmente, a busca absolutamente exaustiva de ocorrências singulares ou combinadas de características de entidades que estejam registradas na base de dados (Xavier-da-Silva, 1997).

A possibilidade de uso da metodologia denominada VAIL, acima delimitada, permite a identificação e a classificação de situações ambientais peculiares. É o caso da definição de Índices de Geodiversidade, feita a partir da utilização das entidades geomorfológicas, tal como registradas no plano de informação da Geomorfologia. Estas entidades passam a ser consideradas elementos isotrópicos nos quais pode ser feito, por varredura e integração locacional em cada um deles, o levantamento da ocorrência de diversas entidades ambientais referentes a outros planos de informação. Podem ser assim tabuladas estas ocorrências em cada tipo de entidade geomorfológica e criados diversos indicadores da denominada *Geodiversidade* (Xavier-da-Silva, no prelo).

Finalmente, o conceito de *diagnóstico ambiental* necessita ser posicionado em relação ao termo situação ambiental. O diagnóstico é o produto da análise efetuada sobre uma ou várias situações ambientais, refletindo o conjunto de condições positivas e negativas prevaletentes em um ambiente. É, portanto, composto a partir da análise de situações ambientais; conseqüentemente, sendo uma síntese, não deve ser confundido com suas partes componentes. É com base em um diagnóstico bem construído que podem ser feitas prognoses, base para a proposição das partições territoriais que constituem os afamados e, às vezes, mal concebidos, zoneamentos ambientais, para os quais é pri-

mordial a consideração das características geomorfológicas do ambiente.

O crescimento dos conhecimentos geomorfológicos pode advir de investigações de processos atuantes ou de suas evidências de atuação anterior, e pode também originar-se de estudos idiográficos, matriz de muitos avanços da ciência geomorfológica. Não deve ser ignorado, entretanto, o fato de que o progresso da Geomorfologia pode também advir de investigações que sejam projetadas com o uso de modelos sistêmicos traduzíveis em modelos digitais do ambiente, a serem trabalhados por geoprocessamento.

Em conclusão, deve ser lembrado que a Geomorfologia é um campo científico que opera sobre entidades que têm expressão espacial. O conhecimento geomorfológico perde conteúdo social e mesmo científico se for reduzido apenas ao tratamento de eventos constituintes de processos ambientais. É inegável o valor que pode ser atribuído às reconstituições de situações ambientais pretéritas, feitas através dos estudos geomorfológicos das formas e constituições encontradas em entidades ambientais ditas "herdadas". Estas reconstituições, entretanto, não devem ser apresentadas sem a devida consideração da expressão territorial que possuem. Deve ser considerada, em particular, a possibilidade de ocorrência de excessiva variância interna na composição estratigráfica da unidade geomorfológica. Tal ocorrência pode induzir a erros de interpretação e prejudicar a credibilidade de possíveis correlações estratigráficas estabelecidas com apoio em semelhança de seqüências deposicionais.

A nomenclatura geomorfológica é ambiciosa. Considera, em seus termos classificadores, a forma, a composição e a origem das entidades que define. Em conseqüência, requer que três vertentes conceituais sejam consideradas na análise de seus dados. Estas vertentes são: a) a *taxonômica*, em si mesma de certa complexidade; b) a *evolutiva*, sem a qual perde-se a perspectiva das relações de causa e efeito; e c) a *territorial*, que é a matriz de muitas ilações referentes às outras duas vertentes citadas, conforme pode ser depreendido da análise do presente texto. Conseqüentemente, pode-se afirmar que o Geoprocessamento, operando sobre Sistemas Geográficos de Informação, constitui uma base das mais adequadas para a moderna investigação geomorfológica.

## Bibliografia

- Aronoff, S. (1991) *Geographic Information Systems: a management perspective*. Ottawa: WDL, 298 p., 2ª edição.
- Bergamo, R.B.A. (1999) *Diagnóstico Ambiental do Município de Mangaratiba – RJ: uma análise por geoprocessamento*. Tese (Mestrado em Ciências) Departamento de Geologia – UFRJ, Rio de Janeiro.
- Bonham-Carter, G.F. (1996) *Geographic Information Systems for geoscientists*. Ontario: Pergamon, 400 p. 2ª edição.
- Burt, E.A. (1991) *As bases metafísicas da ciência*. Brasília: Moderna/UNB, 268p.
- Chorley, R.J. e Kennedy, B.A. (1971) *Physical Geography – A Systems Approach*. Londres: Prentice-Hall Internacional, 370 p.
- Christofolletti, A. (1999) *Modelagem de sistemas ambientais*. São Paulo: Edgard Blücher, 200 p., 1ª edição.
- Galliano, A.G. (1986) *O método científico; teoria e prática*. São Paulo: Habbra, 202p., 2ª Edição.
- Goes, M.H.B. (1994) *Diagnóstico Ambiental por Geoprocessamento do Município de Itaguaí*. Tese v.1 (Doutorado em Ciências) Departamento de Geografia – UNESP/Rio Claro.
- Hutine, L.M. (1997) *Metodologia científica: caderno de textos e técnica*. Ana Maria Garcia *et al.* Rio de Janeiro: Agir, 263 p., 7ª Edição.
- Kuhn, T.S. (1987) *As estruturas das revoluções científicas*. São Paulo: perspectiva, 122, 2ª Edição.
- Popper, K.R. (1974) *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo: Cultrix, 174 p., 2ª Edição.
- Teixeira, A.L.A. e Christofolletti, A. (1997) *Sistemas de Informação Geográfica, dicionário ilustrado*. São Paulo: HUCITEC, 246 p., 1ª.
- Xavier-da-Silva, J. (1982) *A digital model of the environment, an effective approach to areal analysis*. In: *International Geographic Studies*. Rio de Janeiro: UGI/UFRJ, p.17-22.
- Xavier-da-Silva, J.; Almeida, L.F.B. e Carvalho-Filho, L.M. (1996) *Geomorfologia e Geoprocessamento*. In: *Geomorfologia, técnicas e aplicações/Sandra Baptista da Cunha e Antônio José Teixeira Guerra, organizadores*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.283-309.
- Xavier-da-Silva, J. (1994) *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. In: *Geomorfologia / Sandra Baptista da Cunha e Antônio José Teixeira Guerra, organizadores*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.393-414.
- Xavier-da-Silva, J. (1997) *Metodologia de Geoprocessamento*. In: *Revista de Pós-graduação em Geografia da UFRJ*. Rio de Janeiro, ano 1, v.1, p.25-34.
- Xavier-da-Silva, J. e Souza, M.J.L. de (1982) *Análise Ambiental*. Rio de Janeiro: UFRJ, 196 p.
- Xavier-da-Silva, J. *et alli*. *Índices de Geodiversidade: aplicação de SGI em estudos de biodiversidade*. In: *Assessment, monitoring and indicators for biological diversity: methods for a perspective of tropical ecosystems*. Rio de Janeiro: Vozes/ Irene Garay, organizadora. Rio de Janeiro: Vozes, no prelo.