

GEO-INDICADORES: CIÊNCIAS DA TERRA E MUDANÇAS AMBIENTAIS

Lylian Coltrinari¹ & G. Joseph H. McCall²

INTRODUÇÃO

O conhecimento preciso do estado atual do meio ambiente, da biodiversidade e das mudanças climáticas interessa aos pesquisadores mas é também vital para os governos e agências internacionais. Contudo, ainda que muitas dessas questões sejam estudadas pelas ciências da Terra, os fatores geológicos têm sido preteridos, como indicadores de mudanças globais, em favor dos fatores biológicos, ecológicos e sócio-econômicos. As mudanças ambientais profundas, velozes e de sentido negativo que ameaçam a Terra e a sobrevivência do homem são, em grande parte, originadas por processos há muito pesquisados pelas geociências, que podem contribuir com informações valiosas sobre os sistemas naturais, desde aqueles que operam em intervalos de tempo curto quanto os que se estendem por miles ou milhões de anos.

O equilíbrio dinâmico dos sistemas naturais e seus ajustes às mudanças do clima, do fluxo hidrológico e do nível do mar mostram que a natureza não é estável; as mudanças são regra, não exceção, e nem todas as transformações sofridas pelo ambiente podem ser atribuídas à ação do homem. No caso das mudanças de curto prazo que afetam o planeta, a maior dificuldade está na distinção entre causas naturais e antrópicas; para isso, é necessário estabelecer parâmetros, avaliar os componentes naturais de cada mudança antes de poder estimar de modo realista a contribuição antrópica: quando os componentes naturais não são corretamente considerados as estimativas são inválidas. Em muitos casos a distinção não é possível, como nas mudanças de traçado de um rio, um escorregamento ou o avanço do deserto; e em outros, as mudanças são irreversíveis na escala temporal importante para a humanidade, como a contaminação da água subterrânea, degradação e perda dos solos, ou fusão do *permafrost*.

O WORKSHOP DE CORNER BROOK

Com a finalidade de precisar a contribuição das ciências da Terra à compreensão das mudanças ambientais de curto prazo naturais e induzidas pela ação do homem, foi

realizado entre 10 e 18 de julho de 1994 um **Workshop Internacional sobre Indicadores Geológicos de Mudanças Ambientais Rápidas**. A reunião teve lugar no Grenfell College da Memorial University de Corner Brook (Terra Nova, Canadá) e dela participaram como convidados cerca de 40 especialistas das ciências da Terra de 13 países, membros do Grupo de Trabalho sobre Geo-indicadores criado pela Comissão de Ciências Geológicas para o Planejamento Ambiental (COGEOENVIRONMENT) da União Internacional de Ciências Geológicas (IUGS).

Os objetivos da reunião foram os seguintes:

- propor uma lista preliminar de geo-indicadores, para uso no monitoramento e nas pesquisas multidisciplinares;
- identificar simultaneamente os vazios de informação e as oportunidades existentes para contribuição das ciências da Terra ao monitoramento ambiental integrado e à pesquisa das mudanças globais, e
- produzir material para uma lista comentada e uma monografia sobre geo-indicadores.

A reunião incluiu a apresentação de comunicações convidadas, discussões de grupos de trabalho e uma excursão de três dias ao Gros Morne National Park, onde os participantes examinaram os efeitos de eventos geomorfológicos recentes.

A primeira sessão de comunicações focalizou os **ambientes costeiros glaciais e periglaciais** a partir de exemplos de pesquisas e monitoramento no Canadá, Estados Unidos, Groenlândia e Sibéria. Foram mencionados instrumentos e técnicas simples para pesquisa e gerenciamento dos sistemas costeiros que, por seu custo baixo, podem

(1) Departamento de Geografia USP, Membro do Grupo de Trabalho sobre Geoindicadores/ COGEOENVIRONMENT-IUGS. São Paulo (Brasil)

(2) Membro do Grupo de Trabalho sobre Geoindicadores/ COGEOENVIRONMENT-IUGS. Gloucester (Inglaterra)

usados nos países em desenvolvimento [fotos aéreas, mapas, documentos históricos, vôos de baixa altitude, perfis de praia, marcadores semi-permanentes (estradas, construções, marcos geográficos) e os SIGs]. Os integrantes do grupo foram D. Liverman (Canadá), R. Young (EUA), R. Morton (EUA), M. Rasch (Dinamarca) e N. Romanovskii (Rússia).

O segundo grupo de comunicações abrangeu os **sistemas fluviais, baixadas úmidas, turfeiras e corais**. As mudanças dos rios são indicadores importantes, mas a complexidade dos processos fluviais e suas relações com o clima, as vertentes, a vazão, a carga sólida, etc., além dos fatores antropogênicos, exige o monitoramento de todo o curso fluvial e não de trechos isolados. A respeito de lagos e dunas foram apresentados dados do Palliser Triangle, no Canadá Ocidental, principal área agrícola do país. Nos ambientes lacustres, as modificações variam conforme o tamanho, o que leva a pensar que as mudanças dos últimos 50-100 anos poderão ser detectadas a partir de geo-indicadores localizados na superfície dos lagos ou a muito pouca profundidade. As dunas também reagem às mudanças climáticas, através de modificações na vegetação, profundidade até o lençol e padrões de mobilidade/estabilidade. A reconstrução das mudanças recentes é possível a partir de técnicas de campo (transectos climato-ecológicos a cada 5 anos e estudos pontuais detalhados) e de gabinete [imagens de satélites, fotos aéreas (intervalos anuais e quinquenais)]. Quanto às turfeiras, podem fornecer geo-indicadores adequados para mudanças num intervalo de 10 anos, mas, pela complexidade dos controles de desenvolvimento, exigem pesquisas detalhadas. Os corais também auxiliam o monitoramento das mudanças rápidas nos oceanos tropicais: no Pacífico, os padrões de ocorrência de El Niño são documentados em "arquivos" coralinos. A autoria dos trabalhos foi de S. A. Schumm (EUA), W. Osterkamp (EUA), R. Vance (Canadá), J. Bunting (Canadá) e G. Shen (EUA).

Outra das sessões foi dedicada aos **trópicos áridos e úmidos**. Os indicadores para as zonas áridas e semiáridas foram analisados a partir de pesquisas na África e os EUA. No Saara há registros de mudanças paleoclimáticas na zona de transição meridional, que desloca-se lentamente em direção ao Equador há 6000 anos, e continuará a fazê-lo independentemente de qualquer intervenção humana: a desertificação antrópica soma-se à natural e é difícil de mensurar. Também nos EUA as margens dos desertos são prioritárias para monitoramento; os processos e formas eólicas decor-

rem de interações entre o vento e a superfície sólida e, por consequência, são influenciados por quaisquer modificações nessa interface. Os eventos fluviais esporádicos, de grande magnitude, e suas inter-relações com os processos eólicos começam a também a atrair a atenção dos pesquisadores. Tanto no oeste dos EUA quanto no Kalahari o controle predominante na mobilidade das dunas parece depender da precipitação mais que da força do vento, de forma que os períodos de modificação e migração mais rápida das dunas corresponderiam a intervalos mais secos.

Nas montanhas da zona tropical úmida, como na Colômbia, os processos catastróficos que desestabilizam as vertentes podem conjugar os efeitos da dinâmica endógena - vulcanismo e terremotos - e a intervenção humana. Grande parte da população, que aumenta rapidamente, habita áreas montanhosas instáveis, o que exige dos especialistas medidas preventivas urgentes; o monitoramento dos riscos naturais e antropogênicos é prioritário devido à ausência de dados sobre os processos geomorfológicos. Fora da faixa tectonicamente ativa, as paisagens tropicais úmidas do leste da América do Sul desenvolvem-se nas áreas estáveis e profundamente intemperizadas do escudo sulamericano. As florestas tropicais, como a amazônica e a do Congo-Zaire, regulam o clima global e a composição química da atmosfera, daí os riscos de sua destruição. Em outras áreas ocorre desertificação induzida pelo uso inadequado do solo, como no sul do Brasil. Por sua vez, o crescimento urbano desordenado e suas consequências no uso da terra e da água, tal como descrito por Douglas em Kuala Lumpur e conhecido nas metrópoles brasileiras, é responsável por transformações físicas e químicas na superfície e na atmosfera: o fenômeno da ilha de calor, ou a acidificação derivada das emissões de poluentes industriais. As comunicações foram apresentadas por N. Petit-Maire (França), N. Lancaster (EUA), M. Hermelin (Colômbia) e L. Coltrinari (Brasil).

A quarta sessão de comunicações considerou os **solos, águas subterrâneas, geoquímica e saúde, e o ambiente urbano**. Em relação aos solos foi considerada sua complexidade e as perturbações devidas às atividades humanas, assim como a importância ecológica de sua conservação. Foram analisadas diversas formas de degradação física e química ligadas ao manejo e foi sugerido o uso de parâmetros simples para controle das mudanças. As águas subterrâneas sofrem também transformações físicas e químicas complexas por causas naturais e antrópicas, sendo necessário o monitoramento do solo propriamente dito, da interfa-

ce com o embasamento, e da zona insaturada; nos países tropicais pobres, o monitoramento utiliza traçadores e outros elementos relacionados com a saúde da população, já que os índices da OMS não são adequados para esse ambiente. A seguir, foi apresentado um projeto holandês para reduzir os efeitos da poluição urbana e produzir desenvolvimento sustentado no prazo de uma geração (1985-2010). Foram escolhidos sete problemas ambientais graves e os sete maiores agentes poluidores, e fixaram-se prazos para redução dos índices, controlada através de relatórios periódicos com os resultados alcançados. Ainda que se trate somente da poluição antrópica e não se considere a contribuição dos processos naturais ou a poluição importada, o projeto é relevante como ponto de partida. Os participantes do grupo foram F. Pierce (EUA), W. M. Edmunds (Inglaterra), C. B. Dissanayake (Sri Lanka) e Ed. F. J. de Mulder (Holanda).

O último dia foi dedicado à discussão, pelo plenário, das recomendações dos grupos de trabalho. Em primeiro lugar, foram analisadas as definições de *geoindicador* sugeridas, e o intervalo proposto para as *mudanças rápidas* nos termos de referência da reunião, de “até 50-100 anos”, que é importante na consideração das mudanças antropogênicas em relação com as naturais. Depois de prolongado debate os participantes concordaram com a seguinte definição: *geo-indicadores são medidas de magnitudes, frequências, taxas e tendências de processos ou fenômenos geológicos que ocorrem em períodos de 100 anos ou menos, na - ou próximo à - superfície terrestre, sujeitos a variações significativas para a compreensão das mudanças ambientais rápidas. Os geo-indicadores medem os eventos catastróficos e os mais graduais, mas evidentes no intervalo de uma vida humana. Sua aplicação pode ser complexa e de custo elevado, mas a maioria é relativamente simples e de baixo custo.*

Os relatórios dos grupos de trabalho deveriam listar geo-indicadores e propor parâmetros espaço-temporais para cada um deles, além de incluir informações complementares para os usuários não especialistas. Dificuldades surgiram ao intentar avançar além da enumeração dos indicadores geomorfológicos de mudanças ambientais. Como compatibilizar, por exemplo, os parâmetros espaço-temporais para avaliação e monitoramento da degradação de uma tufeira, do *permafrost* siberiano, e do Sahel? Em que pese o caráter “abiótico” dos eventos e indicadores a pesquisar, como ignorar as inter-relações entre a degradação da cobertura vegetal, o aumento do escoamento superficial e a mor-

fogênese decorrente? Como organizar uma lista de geo-indicadores para a zona tropical úmida sem considerar, além da complexidade “natural” dos ecossistemas, os fatores sociais e econômicos por trás da intervenção antrópica? Finalmente, qual a forma de avaliar com precisão a origem dos fenômenos tidos como decorrentes de mudanças ambientais rápidas, considerando o conhecimento insuficiente da dinâmica geomorfológica natural e, conseqüentemente, das variações de magnitude e frequência dos processos, quando modificados pela intervenção antrópica? Os relatórios mostraram a preocupação em responder a essas questões, e as dificuldades para formular respostas à altura dos problemas.

O grupo de trabalho sobre costas glaciais e periglaciais concordou na necessidade do uso dos geo-indicadores específicos junto com os dados do monitoramento dos processos climáticos e oceanográficos globais. Contudo, é necessário aprofundar as pesquisas sobre os indicadores adequados para essas áreas. Nas zonas áridas e semi-áridas tropicais os indicadores geológicos - quando monitorados em escala regional - podem auxiliar na reconstrução de paleo-ambientes mais úmidos. Nos trópicos úmidos é difícil avançar além de uma lista de categorias nas quais alguns geo-indicadores mais específicos podem ser identificados: o ambiente tropical úmido não é suficientemente conhecido em sua complexidade e bancos de dados adequados praticamente inexistem. O conhecimento limitado do comportamento dos fluxos nos sistemas naturais, junto com as variações devidas à dinâmica atmosférica e ao contexto tectônico, dificulta a discriminação entre mudanças naturais e antropogênicas; contudo os geo-indicadores podem fornecer informações sobre esse ambiente, impossíveis de obter por outros meios (Tabelas 1 e 2).

Quanto à água subterrânea, dois aspectos devem ser considerados: a quantidade dos recursos disponíveis e o da qualidade. Os indicadores propostos tencionam responder essas questões; por exemplo, as mudanças no lençol freático podem ser mensuradas direta ou indiretamente na descarga dos mananciais. Indicadores sobre disponibilidade dos recursos são importantes no mundo todo: nos EUA, no norte da África, onde a água fóssil está diminuindo, e no Oriente Próximo, cujos recursos estão se esgotando enquanto a população aumenta. A contaminação reduz também a água disponível e precisa monitoramento. Quatro indicadores foram propostos: fluoretos, nitratos, salinidade e um indicador ou indicadores da contaminação por agroquímicos. Como indicadores suplementares foi sugerida a extensão dos

controles geoquímicos aos sedimentos de cheia, e ao rádon, que pode afetar a saúde humana.

O ambiente urbano é fonte importante de danos ambientais e poluição antrópica, em particular no Terceiro Mundo. Ainda que não específicos das cidades, certos impactos aumentam sua magnitude nas áreas urbanas. Como maiores problemas foram mencionados: terremotos, atividade vulcânica, enchentes (fluviais ou por elevação do nível marinho na faixa litorânea), ciclones, escorregamentos, subsidências, poluição e contaminação da água subterrânea e os solos (inclusive o manejo do lixo), elevação do lençol associada a poluição e danos estruturais (Oriente Médio), e abaixamento do lençol, associado à subsidência (sudeste asiático). Além dessas, outras mudanças rápidas ocorrem na periferia das, ou próximo às, cidades: exaustão dos recursos hídricos, perda e degradação do solo e das terras agricultáveis no cinturão verde, perda de materiais de construção e de recursos florestais, esgotamento de fontes de energia.

CONCLUSÕES

Como conclusões gerais foram propostas as seguintes:

- são necessários indicadores quantitativos e qualitativos;
- a atenção do público têm se voltado para duas questões: o “efeito estufa” e a “camada de ozônio”, cujos efeitos globais negativos atribuem-se à atividade humana (ou, mais corretamente, a uma combinação de atividades humanas com processos naturais). A realidade é que a maior parte dos efeitos ambientais adversos das mudanças antropogênicas são de âmbito regional ou local (destruição do Mar Aral, efeitos da chuva ácida). O diagnóstico da vulnerabilidade de países, regiões, comunidades ou ambientes específicos exige a combinação de geo-indicadores aplicáveis em dimensões espaço-temporais diferenciadas, e não simplesmente uma lista de geo-indicadores globais;
- no momento atual, só é possível organizar inventários: quando os indicadores sejam utilizados, será necessário determinar se a mudança é direcional ou não, e quanto há de natural e antropogênico nela; posteriormente os geo-indicadores poderão ser utilizados em diferentes ambientes e comunidades. Além do monitoramento hoje em curso, a partir desses geo-indicadores deverão ser desenvol-

vidos modelos preditivos de futuras mudanças;

- criar indicadores não é difícil, mas devemos também saber porque a mudança está acontecendo e porque dessa forma. Responder essas questões é difícil e leva tempo;
- as variáveis e a frequência do monitoramento devem ser estabelecidas, assim como os parâmetros a serem mudados: os processos e as respostas devem ser definidos;
- os geo-indicadores devem ser hierarquizados conforme a situação a ser estudada;
- devem ser organizados e publicados guias para uso dos geo-indicadores na identificação das mudanças;
- é preciso desenvolver novas bases de dados, em particular sobre o passado geológico recente, para estabelecer parâmetros, assim como manter e preservar os bancos de dados existentes em lugar de eliminá-los por motivos orçamentários imediatistas, e
- ainda que os tomadores de decisões, políticos e usuários prefiram as respostas rápidas dos modelos às mais demoradas baseadas em pesquisa e monitoramento, as informações corretas só podem ser obtidas a partir de estudos rigorosos com base em bancos de dados, em especial de campo. Quando os políticos, usuários e tomadores de decisões adotem os geo-indicadores em seus programas de monitoramento ambiental o workshop de Corner Brook terá alcançado sucesso.

Os resultados da reunião serão levados adiante pela COGEOENVIRONMENT, e vários temas - zonas cársticas, cavernas - não abordados em Corner Brook serão focalizados posteriormente. Houve consenso quanto à preparação de uma lista de geo-indicadores de mudanças ambientais rápidas para uso de organismos e pessoas responsáveis pelo manejo, conservação e preservação de recursos naturais no mundo inteiro. Os participantes aprovaram a “Declaração de Gros Morne”, texto que enfatiza a importância do monitoramento ambiental de longo prazo e o papel fundamental que os geo-indicadores deveriam jogar na avaliação da saúde dos ecossistemas terrestre e o estado do ambiente global.

GEO-INDICADORES DE MUDANÇAS AMBIENTAIS NA ZONA TROPICAL ÚMIDA

Esta é uma lista de categorias amplas, a partir da qual podem ser identificados indicadores mais específicos, tanto para mudanças climáticas regionais quanto locais. Infelizmente o ambiente tropical úmido é bem menos conhecido que muitos outros, e não existem ainda bancos de dados básicos. Um dos grandes problemas é a distinção entre as mudanças naturais e as antropogênicas. Chuvas predominantemente abundantes e considerável variação do relevo, do nível do mar até altas montanhas, dão origem a variações significativas nas condições dominantes. Complicações adicionais aparecem quando, aos fatores citados, se somam a sismicidade e/ou erupções vulcânicas. Contudo os indicadores geológicos podem fornecer informações não acessíveis por outros meios.

Indicador	Natural	Antropogênica	Freq. anos	Dados exist.
Meteorologia-observações meteorológicas padronizadas, precipitação, tormentas	x	-	1-50+	M
Hidrologia-parâmetros correntes incluindo carga de sedimentos, cheias (frequência e volume, etc.)	x	x	1-50+	HI
Processos de erosão e deposição fluvial - mudanças no padrão de drenagem e perfil do canal - erosão/sedimentação por atividade antropogênica (mineração, culturas, etc) - erosão do solo (escorregamentos, ravinamentos, erosão generalizada, etc.) - deltas (como arquivos das mudanças na bacia) - costas	x	x	1-50+	HI, FA, S, TC
Vegetação-distribuição, deforestação e mudanças no uso do solo(inclusive inundação de florestas por barragens)	x	x	1-5	FA, S
Solo - (inclusive conteúdo de matéria orgânica, estrutura, permeabilidade)	x	x	10-50	TC,EL
Química (dados básicos) - solos - água superficial - água subterrânea - ar(inclusive chuva ácida)	x	x	5+	TC,EL
Sismicidade* - frequência, localização, magnitude	x	-	em curso	
Erupções vulcânicas*	x	-	em curso	
Legenda M = observações meteorológicas HI = medidas hidrológicas EL = estudos de laboratório TC = trabalho de campo FA = fotos aéreas S = imagens de satélites * = monitoramento para os riscos associados (escorregamentos, cheias, etc.)				

TABELA 1

GEO-INDICADORES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (ÚMIDO<>ÁRIDO) NOS TRÓPICOS SEMI-ÁRIDOS

Há vários indicadores geológicos que, quando monitorados em escala regional, podem rastrear mudanças climáticas de longo prazo. Eles permitem identificar mudanças de posição da zona de transição entre áreas úmidas e áridas.

INDICADOR GEOLÓGICO Esta lista refere-se a indicadores de mudanças climáticas de larga escala entre condições úmidas e áridas. Para monitorar mudanças locais, de escala menor, serão necessárias modificações	Natural	Antro- pogênica	Freq. anos	Dados exist.
Tormentas de pó-freqüência, duração da estação, volume de material transportado	x	-	1-50	M
Deflação (exposição de horizontes subsuperficiais e raízes)-yardangs, migração de dunas, <i>blowouts</i> , densidade da vegetação reduzida/pedogênese ativa	x	x	5-20	FA, TC
Formação de sistemas de dunas organizados	x	-	10-50	FA, S, TC
Descarga dos rios-magnitude anual, freqüência e duração das cheias	x	x	1-50	HI
Mudança no tipo de escoamento-fluxo não concentrado/canalização, seqüência <i>cut/fill</i>	x	-	10-50	FA, S
Profundidade dos aquíferos	x	x	1-50	TC
Subsidências do solo	x	-	5-10	TC
Lagos fechados-nível, área, composição química	x	x	1-50	HI, FA, S
Persistência/ausência de gretas poligonais profundas em depressões	x	x	5-10	TC
Recuo da vegetação em uadis e depressões/diminuição da densidade nos inter-flúvios	x	-	5-30	FA, TC
Aparecimento/desaparecimento generalizado de crostas superficiais finas (mm a cm)	x	x	5-10	TC
INDICADORES BIOLÓGICOS RELACIONADOS				
Densidade de espécies xerófilas	x	x	5-20	FA, TC
Densidade de espécies lenhosas	x	x	5-20	FA, TC
Densidade dos andares herbáceos	x	x	5-20	TC
Densidade relativa das comunidades de plantas anuais/perenes	x	x	5-20	TC
Densidade relativa de plantas tóxicas	-	x	5-20	TC
Moluscos terrestres-aparecimento/desaparecimento-freqüência, espécies	x	x	5-20	TC
DADOS METEOROLÓGICOS ESSENCIAIS				
Precipitação-total anual, freqüência, sazonalidade	x	-	1-50	M
Ventos dominantes-velocidade, freqüência, duração	x	-	1-50	M
Mudanças no albedo	x	x	10-50	S
Legenda (vide TABELA 1)				

TABELA 2

GRUPO DE TRABALHO: Trópicos -áridos e úmidos

Coordenador: Colin J. Simpson (Austrália)

Relator: David C. Elliott (Canadá)

Membros: Nicole Petit-Maire (França)

Nicholas Lancaster (EUA)

Lylian Coltrinari (Brasil)

Michel Hermelin (Colômbia)

ABSTRACT

The need for geo-indicators and the role of earth sciences in global change research and monitoring of environmental degradation were discussed during an international workshop held on July 1994 in Canada. Invited geoscientists discussed rapid environmental changes monitored and researched in different

landscapes, countries, and local sites. Lists of geo-indicators for different areas and environments were proposed.

Key-words: global changes geo-indicators environmental monitoring