

# GEOINDICADORES PARA A CARACTERIZAÇÃO DE ESTADO DE DIFERENTES AMBIENTES

Aline Botini Tavares<sup>1</sup>  
Sueila Pereira da Cruz<sup>1</sup>  
José Augusto de Lollo<sup>2</sup>

## Resumo

Geoindicadores são medidas na superfície ou próximas da superfície terrestre de fenômenos e processos geológicos que variam significativamente e provêm informações para avaliações ambientais. Têm sido bastante usados para descrever eventos catastróficos ou graduais, descrevendo o estado do ambiente e fornecendo indicativos para intervenções que permitam alterar ou cessar os processos preservando ou recuperando a qualidade ambiental, com processos de obtenção diferentes para cada ambiente. O artigo discute tais geoindicadores considerando ambientes notadamente sensíveis à degradação do meio físico e atividades humanas com maior potencial de impacto, considerando as características dos ambientes considerados e a reprodutibilidade dos mesmos para fins de monitoramento ambiental em áreas com condições similares. A análise mostra que em geral os geoindicadores propostos têm boas condições de aplicação em situações similares considerados os aspectos custo e técnica de obtenção das informações.

**Palavras-chave:** degradação ambiental, geoindicadores e gestão ambiental.

## Abstract

Ge indicators are surface or nearly surface measures from geological processes whose can have significant variation, providing data to environmental evaluations. They can be used to describe catastrophic or gradual processes defining environmental state and supplying indications for proper interventions in order to cease or reduce the processes to restore or preserve environmental quality, using different groups of indicators and ways to obtain the information in each environment. This paper discuss its geo indicators applied to more sensitive natural systems and human activities whose cause significant impacts, taking in account the characteristics of the considered environments and its application to monitoring similar areas. We consider that the proposed geo indicators have, in general, good potential for application in similar areas, since cost and technical proceedings being properly considered.

**Key words:** environmental degradation, geo indicators and environmental management.

## 1 PRINCÍPIOS

---

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UNESP – Campus de Ilha Solteira, Alameda Bahia, 550, Ilha Solteira – SP, 15385-000, [alinebtavares@yahoo.com.br](mailto:alinebtavares@yahoo.com.br), [sueilap@yahoo.com.br](mailto:sueilap@yahoo.com.br).

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UNESP – Campus de Ilha Solteira, Alameda Bahia, 550, Ilha Solteira – SP, 15385-000, [lolloja@dec.feis.unesp.br](mailto:lolloja@dec.feis.unesp.br).

A Conferência Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas, (Rio-92), conduziu a um consenso geral acerca do chamado desenvolvimento sustentável, conceito que passou a ser amplamente utilizado no mundo.

Com isso houve o crescimento entre as nações do interesse em verificar seu desempenho ambiental, bem como em implantar políticas ambientais voltadas ao desenvolvimento sustentável.

A ausência de informações confiáveis sobre o estado do ambiente tem sido um entrave para o perfeito planejamento das políticas ambientais, bem como de sua avaliação. O desenvolvimento de indicadores ambientais veio a permitir informações de caráter técnico e científico.

Neimanis & Kerr (1996, p. 369) definem indicadores ambientais como sendo parâmetros que representam ou resumem aspectos do estado do ambiente, e a relação entre as atividades humanas e os recursos naturais.

A International Union of Geological Sciences estabeleceu, em 1992, na Comissão de Ciências Geológicas para Planejamento Ambiental (COGEOENVIRONMENT) um grupo de pesquisa para desenvolver indicadores geológicos, presidido por A. R. Berger.

A partir desse trabalho veio a introdução do conceito de geoindicadores em 1996 com a publicação do livro *Geoindicators: Assessing Rapid Environmental Changes in Earth Systems* editado por Antony R. Berger e William J. Iams.

O resultado foi uma compilação na forma de lista de checagem com 27 geoindicadores, cujo formato padrão encontra-se disponível na internet no endereço: <http://www.lgt.lt/geoin/topic.php?tid=checklist>, com indicadores apropriados que podem ser selecionados e modificados conforme necessário; e na qual também é possível saber onde, quando e como cada parâmetro pode ser medido, a sua significação para avaliação ambiental, a causa (natural ou humana), e informações adicionais.

Desde 1999, as atividades do grupo de trabalho se transformaram na “Iniciativa Geoindicadores” (GEOIN), que vem realizando esforços em sua divulgação no meio científico, mas, apesar de sua grande importância, o assunto ainda é pouco difundido e conhecido.

Para Berger (1996, p. 5-6), geoindicadores são medidas de superfície ou próximo da superfície de fenômenos e processos geológicos que variam significativamente no período de 100 anos ou menos e que provêm informações para avaliações ambientais.

Berger (1997) apresenta que os geoindicadores descrevem eventos catastróficos ou graduais, colaboram na determinação do que está acontecendo no ambiente, fornecendo indicativos do que a administração pode fazer para combater esses processos.

A lista de geoindicadores proposta por Berger é apresentada no Quadro 1 e tem o propósito de facilitar o monitoramento dos processos geológicos e parâmetros que possam ser importantes para a sustentabilidade ambiental dos ecossistemas e a ocupação humana.

## 2 UTILIDADE DOS GEOINDICADORES

Os geoindicadores baseiam-se em conceitos e procedimentos padrão podendo ser usados para evidenciar mudanças em ambientes fluviais, costeiros,

desérticos, montanhosos, de geleiras, e outras áreas. Têm o objetivo de auxiliar no início das pesquisas, podendo em muitos casos necessitar da integração de vários desses ao mesmo tempo. Esta listagem inicial deverá ser revisada e aperfeiçoada sempre que se achar necessário com o intuito de atender às expectativas geradas e às novas necessidades que venham surgir (BERGER, 1997).

O autor ainda acrescenta que o conceito de geoindicadores reúne ferramentas normativas em geomorfologia, hidrologia, geoquímica, geofísica, sedimentologia, e outras áreas em um formato útil a profissionais ambientais e administradores, convencendo da importância de processos geológicos rápidos e determinando a condição de paisagens e ecossistemas; avaliando impactos ambientais, monitorando ecossistemas, e inspecionando o desenvolvimento de atividades como mineração, silvicultura, e construção.

Quadro 1: Lista dos geoindicadores básicos proposta por Berger

<b>Geoindicadores</b>	<b>Mudanças ambientais</b>
Química do coral e padrão do crescimento	Temperatura da água de superfície e salinidade
Crostras e fissuras em superfície desértica	Aridez
Formação e reativação de dunas	Velocidade e direção dos ventos, umidade, aridez e disponibilidade de sedimentos
Magnitude, duração e frequência de tempestade de areia	Transporte de areia, aridez e uso do solo
Atividade de solo congelado	Clima, hidrologia e movimentação de taludes
Flutuações de geleiras	Precipitação, insolação e fluxo de derretimento
Qualidade da água subterrânea	Uso do solo, contaminação, alteração de rocha e solo, radioatividade e precipitação de ácidos
Química da água subterrânea na zona não saturada	Alteração de solos e rochas, clima e uso do solo
Nível da água subterrânea	Clima, impermeabilização e recarga
Atividade cárstica	Química e fluxo da água subterrânea, clima, cobertura vegetal e processos fluviais
Níveis e salinidades de lagos	Clima, uso do solo, vazão e circulação da água subterrânea
Nível relativo do mar	Oscilações na linha de costa, clima, extração de fluidos, sedimentação e compactação
Seqüência e composição de sedimentos	Clima, uso do solo, erosão e deposição
Sismicidade	Tensões naturais ou induzidas
Linha da costa	Erosão costeira, transporte e deposição de sedimentos, uso do solo, nível do mar e clima
Deslizamento de encostas	Estabilidade de taludes, movimentos de massa e uso do solo
Erosão de solos e sedimentos	Clima, tempestade de água, vento e uso do solo
Qualidade do solo	Processos químicos, biológicos e físicos no solo e uso do solo
Fluxo de corrente	Clima, precipitação, bacia de drenagem e uso do solo
Morfologia de canal	Carga de sedimento, velocidade de fluxo, clima, uso do solo e subsidência

Armazenamento e carga de fluxo de sedimento	Transporte de sedimento, taxa de fluxo, bacia de drenagem e uso do solo
Regime de temperatura de subsuperfície	Clima, fluxo de calor, uso do solo e cobertura vegetal
Deslocamentos crustais	Soerguimento e subsidência, falhamentos e extração de fluídos
Qualidade de água de superfície	Clima, uso do solo, interações água-solo-rocha e velocidade de fluxo
Atividade vulcânica	Movimento de magma próximo à superfície, liberação de gases magmáticos e fluxos de calor
Extensão, estrutura e hidrologia de terras úmidas	Uso do solo, clima, produtividade biológica e vazão de fluxo
Erosão eólica	Clima, uso do solo e cobertura vegetal

Fonte: Berger (1997, p. 39).

Para Berger (1997, p.36) os geoindicadores devem contribuir na resposta a quatro questões básicas:

- O que está acontecendo no ambiente? (condições e tendências);
- Por que está acontecendo? (causas, humanas e/ou naturais);
- Por que é importante? (efeitos ecológicos, econômicos e na saúde);
- O que se pode fazer acerca disso? (implicações no planejamento e nas políticas)

O reconhecimento e caracterização dos eventos responsáveis pelas mudanças na paisagem e nos processos naturais que podem resultar em degradação ambiental dependem do ambiente em estudo. Sendo assim, os geoindicadores a serem utilizados variam de caso a caso não só em função do interesse específico do estudo em desenvolvimento, mas também em função das características do ambiente avaliado e da dinâmica de seus processos.

Pelos motivos expostos é natural se esperar que para cada ambiente analisado existam componentes mais sensíveis à degradação em função de sua exposição aos desequilíbrios ocorridos. Também é esperado que a forma de retratar tal degradação (geoindicador proposto ou escolhido) seja definida com base nas características do ambiente, como se verá a seguir.

### 3 APLICAÇÕES

As crescentes pressões ambientais no planeta têm tornado realidade o desenvolvimento de geoindicadores para os mais diversos ambientes e tipos de atividades humanas com significativas alterações na paisagem. Cada conjunto de geoindicadores deve refletir as alterações ambientais esperadas para o ambiente em questão.

#### 3.1 AMBIENTE FLUVIAL

O ambiente fluvial é caracterizado por intensa dinâmica superficial e processos geomórficos importantes. Sem dúvida, parte significativa dos processos de alteração da paisagem e as conseqüências de seu desequilíbrio para as comunidades humanas ocorrem nos vales ou canais fluviais, com reflexos rápidos no sistema fluvial. Tais mudanças estão relacionadas a fluxos no canal fluvial ou no

escoamento que podem resultar sérios problemas de erosão, assoreamento, movimentos gravitacionais de massa e enchentes ou inundações.

Para Osterkamp (2002) os geoindicadores nesses ambientes podem estar relacionados a três conjuntos de processos: fluxos de água e produtos do intemperismo das áreas mais elevadas para o canal; deposição de sedimentos nas áreas mais planas da bacia; e fluxos pretéritos de água e sedimentos.

Nesta visão, os geoindicadores propostos para monitoramento de rio e vale de rio nos trópicos úmidos incluem para áreas planas aqueles relacionados ao escoamento superficial, movimento de solo e rupturas de talude, e densidade de drenagem; para vales - taxas de deposição de sedimentos; para o canal - volumes de água, sedimento, e sólidos dissolvidos.

As características dos sistemas fluviais em trópicos úmidos segundo Osterkamp (2002) são tipicamente as seguintes: (1) precipitações intensas, (2) lagos com ciclos de gelo-degelo, (3) intenso intemperismo bioquímico, (4) movimentos de massa em taludes, e (5) baixa variabilidade nas características da água e dos rios. A lista de tais geoindicadores é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2: Geoindicadores para rios e vales de rios em locais de clima tropical úmido

<b>Geoindicadores</b>
Taxa e mudança de taxas na provisão de água e sedimento Relação chuva-escoamento, Movimentos de solos e rupturas em taludes (Rastejo e Deslizamento de solo), Densidade de drenagem
Mudança no armazenamento de sedimentos Morfologia fluxo-canal, Tipos de depósitos sedimentares, Chumbo 210, Césio 137, Pólen
Fluxo de água e produtos do intemperismo nos canais Corrente de fluxo, Relação estágio evolutivo – descarga, Duração de fluxo e frequência de inundação, Descarga de sedimentos e avaliação da granulometria do sedimento, Sólidos dissolvidos

Fonte: Osterkamp (2002, p. 726).

### 3.2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As águas subterrâneas constituem um elemento ambiental muito sensível às alterações no meio. Uma vez modificadas suas condições naturais, a dinâmica do fluxo subterrâneo torna bastante fácil a disseminação de poluentes ou contaminantes presentes na água subterrânea.

Além da degradação química decorrente do contato com materiais estranhos, as águas de subsuperfície podem ter seu estado modificado por eventos naturais ou induzidos pela ação humana como erosão, karstificação, atividades minerais, agrícolas e urbanas. Sendo assim, torna-se fundamental o conhecimento dos condicionantes naturais do fluxo subterrâneo, incluindo materiais (solos e rochas), propriedades hidráulicas e estruturas.

Os geoindicadores considerados nessa situação devem ser capazes de responder questões relacionadas a mudanças de nível devidas ao aproveitamento da água subterrânea, a mudanças na qualidade da água, a mudanças no meio portador da água.

Giedtraiene et al. (2002) apresentaram os resultados de um programa que monitora a qualidade da água subterrânea na fronteira entre a Polônia e a Lituânia, uma região agrícola com a avicultura no estilo soviético de um lado, e de outro, uso

extensivo de fertilizantes; enfatizando o monitoramento da água subterrânea como um geoindicador eficiente de impactos ambientais.

Também na Lituânia, Klimas e Gregorauskas (2002) vêem qualidade da água subterrânea como um valioso geoindicador de condição ambiental. Apresentam a importância de mudanças em seus níveis e qualidade (inclusive invasão de água salina), e interações água-rocha (resultando em carstificação e subsidência).

Edmunds (1996) desenvolveu um trabalho para monitoramento de ambientes de águas subterrâneas discutindo como as mudanças afetam os componentes do ambiente, incluindo aí lançamento de efluentes, contaminação do solo, mudanças no uso do solo, reflorestamento, aridez e desertificação, salinização, urbanização, abandono de minas e acidificação.

Os geoindicadores propostos para monitoramento de tal ambiente, segundo Edmunds (1996), estão relacionados aos fatores anteriormente citados, podendo ser: mudanças piezométricas, dissolução mineral, reações de redução e oxidação, salinidade, tempo de residência, radioatividade ambiental, química agrícola, poluição industrial e urbana, taxas de recargas, atenuação ácida, e impactos decorrentes da atividade mineradora.

### 3.3 AMBIENTES LITORÂNEOS

De forma análoga ao ambiente fluvial, o ambiente litorâneo apresenta uma dinâmica tão intensa de processos de evolução do modelado que ligeiras alterações em componentes do ambiente podem resultar sério comprometimento de sua qualidade ambiental. O ambiente litorâneo apresenta ainda certa complexidade de interação com outros ambientes (marinho, fluvial, lagunar) que exige geoindicadores que descrevam esta relação.

Os danos ambientais mais marcantes estão relacionados à dinâmica do modelado (com erosão costeira, aporte de sedimentos e movimentos gravitacionais de massa como resultados mais marcantes) e à qualidade das águas no ambiente, que podem ser determinantes para a vida humana e animal, sem falar nas implicações sócio-econômicas como atividade pesqueira.

Bush et al. (1999) apresentam três áreas de estudo na Carolina do Norte em que os geoindicadores são utilizados para avaliação de riscos litorâneos e mitigação dos impactos gerados. A proposta contempla uma lista preliminar abrangendo grande quantidade de geoindicadores, muitos dos quais passíveis de avaliação apenas em trabalhos de campo. É apresentada de forma a conter todas as possibilidades identificadas pelos autores para o ambiente litorâneo e, a partir da mesma são selecionados os geoindicadores considerados apropriados para as áreas em estudo.

Os geoindicadores avaliados na área de estudo em questão foram: porte da vegetação, mudanças na linha de praia, largura, declividade e espessura dos depósitos de praia, zona de espraiamento, foz de rio, geometria das dunas, geometria da escarpa, forma da costa, vegetação, drenagem, planície de lavagem, platôs em mar aberto, outras feições e taxa geral de risco. Além disso, os autores propõem um conjunto de medidas mitigadoras consideradas úteis para os problemas identificados na área.

Zuquette, Pejon e Collares (2003) desenvolveram um trabalho para avaliação de degradação do solo no ambiente costeiro. No trabalho foi avaliada a degradação do solo em áreas de drenagem na região de Fortaleza (CE), causada principalmente por agricultura, urbanização, ocupação industrial, e mineração.

Os processos de degradação mais comuns na listagem são: poluição, erosão, remoção da cobertura vegetal, mudanças no escoamento superficial, movimentos gravitacionais de massa, enchentes e inundações, e mudanças no relevo; citados para pelo menos três dos quatro tipos de ocupação discutidas (agrícola, urbana, industrial, e mineral).

Tal avaliação foi feita em duas etapas: (1) caracterização dos componentes ambientais e (2) estudo das áreas degradadas com o uso de sensoriamento remoto. Para o estudo foram definidas doze áreas de drenagem e dezenove geoindicadores. O Quadro 3 apresenta os geoindicadores selecionados para a avaliação da degradação.

A escolha de tais geoindicadores para o estudo, segundo Zuquette, Pejon e Collares, (2003), foi devido ao baixo custo dos ensaios de laboratório e trabalhos de campo associados, sendo todos os dados relacionados com hidrologia, geomorfologia, clima e componentes geológicos, bem como vegetação, qualidade de água, e padrão de uso do solo.

Os autores analisaram os geoindicadores em relação à presença, frequência e intensidade nas bacias de drenagem delimitadas na área. A presença foi definida como a quantidade de geoindicadores da lista verificados na área; a frequência foi considerada como o número de áreas onde foi detectado o geoindicador; e a intensidade como combinação entre volume e extensão de cada área onde o geoindicador foi detectado.

Finalmente, as áreas de drenagem foram classificadas com nível de degradação baixa, intermediária, ou alta; considerando as classes presença, frequência, e intensidade.

Quadro 3: Geoindicadores propostos por Zuquette, Pejon e Collares, (2003)

<b>Número</b>	<b>Geoindicadores ambientais</b>
1	Posição da margem da praia
2	Erosão (solo e sedimento)
3	Mudanças no relevo
4	Mudanças no canal
5	Qualidade da água superficial
6	Assoreamento
7	Mudanças em dunas
8	Rupturas em taludes
9	Mudanças na geometria do canal
10	Mudanças na vegetação
11	Qualidade da água subterrânea
12	Frequência de fontes poluidoras
13	Intensidade e frequência de inundações
14	Danos em construções e na infra-estrutura urbana
15	Rebaixamento do nível de água subterrânea
16	Alteração na direção da vazão da água subterrânea
17	Alteração na direção da vazão da água superficial
18	Destruição de matéria orgânica
19	Intrusão de água salina em aquíferos

Outro trabalho bastante diferenciado com o uso de geoindicadores foi desenvolvido para o re-parcelamento do solo na gestão ambiental urbana, sendo escolhida uma área de estudo situada em ambiente costeiro.

Segundo Rego Neto (2003), a escolha da área, foi devido à importância do aquífero local, considerando os geoindicadores: nível da água subterrânea e qualidade da água subterrânea.

Como se trata de região costeira, o autor propõe o geoindicador nível relativo do mar e, na região das praias foi observada a movimentação de dunas sobre áreas ocupadas e a ação da abrasão marinha, gerando os geoindicadores: formação e reativação de dunas e posição da linha de costa.

O autor ressalta ainda que a integração do conceito de geoindicadores com as técnicas de re-parcelamento do solo pode ser a chave para resolver muitos problemas de gestão ambiental urbana, não só em cidades de nosso país, como também em outras regiões.

### 3.4 AMBIENTE GLACIAL E PERIGLACIAL

Apesar de apresentarem uma dinâmica menos freqüente nos processos de evolução do modelado (especialmente restrita aos períodos mais marcantes de gelo e degelo) os ambientes com clima glacial e periglacial mostram processos de grande magnitude quando tais eventos ocorrem.

Tal situação fica especialmente evidente no período de queda mais intensa da temperatura, quando há congelamento da água no interior dos poros de solos e rochas com importantes repercussões no processo pedogenético, e no auge do degelo, quando movimentos de massa podem gerar grandes alterações no relevo em dias ou segundos.

Nesses ambientes, a intervenção humana é responsável pela remoção da vegetação e alterações no perfil de uso do solo em escala local, e por alterações regionais capazes de modificar as condições climáticas. Com isso, os processos impostos ao meio físico, resultam na intensificação dos processos e comprometimento da qualidade ambiental.

Nesje (1996) tratando de indicadores geológicos de alterações ambientais referentes às geleiras, cita que como as geleiras respondem às alterações climáticas com aumento ou diminuição do seu volume, elas podem ser usadas como um indicador sensível das mudanças paleoclimáticas, principalmente das precipitações de inverno e temperaturas de verão.

O autor monitorou as geleiras utilizando diferentes parâmetros glaciais como indicadores de alterações climáticas: (1) balanço específico, (2) balanço específico cumulativo, (3) relação de acúmulo de área (AAR), (4) equilíbrio da linha de altitude (ELA), e (5) alterações no comprimento; sendo que, a maioria dos dados e dos registros eram dos Alpes e Escandinávia.

Romanovskii et al. (1996) analisaram processos periglaciais na Rússia, existentes em terrenos de permafrost (camada do solo que permanece congelada quando em temperaturas abaixo de 0°C) e concluíram que seriam geoindicadores para a zona de rocha congelada.

Segundo os autores os geoindicadores permafrost manifestam-se em formas superficiais que podem ser observadas, descritas, e monitoradas. A localização e aparência dessas formas, sua superfície morfológica, a composição e textura dos

depósitos que as compreendem, fornecem informações gerais sobre o clima, ambiente, e evolução, atividade e intensidade dos processos criogênicos.

Os geoindicadores propostos foram: permafrost (medidas de temperatura para determinar a dinâmica sazonal de ciclos de longa duração de gelo e degelo e detectar as alterações climáticas que ocasionaram tais ciclos); distribuição de ciclos de gelo e degelo (correlações entre parâmetros climáticos e o regime de temperatura próximo à superfície para a reconstrução do passado climático global e predição de condições ambientais futuras); processos catastróficos em encostas (movimentos locais de diversos tipos de massas congeladas, podendo resultar na formação de novos blocos e em gelifluxão); formação de blocos de gelo (medidas de sua área e volume como indicadores do clima e das condições hidrológicas); e espessura da camada ativa, que também pode ser usada para compreender as alterações climáticas ocorridas na zona de rocha congelada.

Rasch et al. (1996) avaliaram elementos das paisagens da Groenlândia como indicadores de alterações no ambiente, sendo esses elementos: (1) as geleiras, (2) os blocos de gelo, (3) planícies de ablação, (4) blocos rochosos expostos, (5) depósito de talus, (6) elementos fluviais, (7) tipos de solos e (8) características costeiras.

### 3.5 ÁREAS MONTANHOSAS

Nas áreas de montanhas e serras a interferência humana se reflete especialmente em processos de evolução do modelado via movimentos gravitacionais de massa. A ocorrência de tais processos, com maior frequência e magnitude individual está intimamente relacionada às condições climáticas e a alterações no uso da terra.

Como as interferências em tais ambientes têm seus reflexos mais marcantes somente após certo tempo de ocupação das áreas e as relações entre os eventos podem ser complexas, há a necessidade de monitoramento espacial e temporal constante de seus efeitos.

Outro geoindicador de reposta às mudanças ambientais, estudado por Canuti et al. (2004) são os deslizamentos de solo, bastante importante em regiões montanhosas, avaliado em um trabalho desenvolvido na Itália.

Os autores discutem a importância dos fatores uso do solo, clima e vegetação na frequência de deslizamentos de solos em diferentes escalas de tempo utilizando técnicas de sensoriamento remoto.

Ainda conforme Canuti et al. (2004) os deslizamentos de solos bastante frequentes na Itália são de grande importância nas análises porque os depósitos decorrentes dos processos podem ser facilmente identificados.

### 3.6 AMBIENTE ÁRIDO

Também nos ambientes áridos os processos de interesse para as comunidades humanas são aqueles responsáveis por alterações morfogenéticas, especialmente os relacionados à erosão eólica e ao movimento de dunas. De forma similar ao ambiente glacial, os processos ocorrem de forma mais esporádica, porém com resultados de grande magnitude. A necessidade de monitoramento envolve componentes locais como medidas de migração de dunas e processos de caráter regional relacionados ao clima.

Para ambientes áridos, Lancaster (1996) afirma que as mudanças na paisagem desértica ocorrem como resultado de eventos e forças naturais como chuva, vento, temperatura e gravidade.

Alterações na magnitude desses eventos influenciam nos movimentos de massa, e na descarga e deposição de sedimentos; contribuindo para modificações na paisagem, que em alguns casos ocorrem rapidamente e podem ser indicadores sensíveis de mudanças ambientais.

Para monitoramento de tais áreas o autor apresenta em seu trabalho os seguintes geoindicadores: encostas (magnitude e frequência de movimentos de massa); feições fluviais (canais de erosão ou deposição); feições planas (tipo de superfície e frequência de inundação); e feições eólicas (frequência e magnitude de tempestades de areia e vegetação em dunas).

Vance e Wolfe (1996) discutem o uso de geoindicadores para qualidade de recursos hídricos em regiões áridas do Canadá, sendo de grande importância o monitoramento de lagos e dunas nessas regiões.

Para monitoramento dos lagos foram adotados os seguintes geoindicadores: nível e composição química da água; e para o monitoramento das dunas: taxa de migração de areia, atividade regional das dunas e morfologia da duna.

### 3.7 ÁREAS URBANAS

O crescimento da população urbana em muitos países tem causado importantes alterações ambientais. As mudanças mais notáveis no meio físico nesse caso se referem à alterações hidrológicas, geomorfológicas, climáticas, na cobertura vegetal e na qualidade de água e ar. A degradação do solo, apesar de não tão notável, tem se mostrado igualmente significativa.

Tais mudanças podem ser identificadas com geoindicadores, mesmo que eles não tenham sido desenvolvidos para o ambiente urbano. A intensidade e rapidez das alterações requerem monitoramento urgente e detalhado.

Para McCall (1996) a grande concentração de pessoas no ambiente urbano faz do mesmo, alvo da maior parte da degradação ambiental, com processos que se estendem aos ambientes externos. O autor apresenta uma proposta de geoindicadores para monitoramento ambiental de áreas urbanas, descrevendo: o problema, o processo que deve ser avaliado, o indicador e a ferramenta utilizada para tal avaliação (Quadro 4).

Quadro 4: Proposta de geoindicadores para rápidas mudanças no ambiente urbano

<b>Problema</b>	<b>Processos</b>	<b>Indicador</b>	<b>Ferramenta</b>
Instabilização	Sismicidade, Vulcanismo	Atividade sísmica	Instrumentos de medida
Inundação	Intrusão marina, Chuvas intensas, Transbordamento de rio, Ruptura de reservatório	Mudanças no nível de base (mar, rio), chuvas, abalos	Instrumentos de medida
Tsunamis	Terremotos e erupções	Abalos na costa	Sismógrafo
Deslizamentos	Colapso gravitacional	Movimentos de massas	Cálculos de estabilidade, monitoramento
Subsidência	Colapso ou abatimento	Abatimentos	Instrumentos de

			medida
Poluição	Danos em água, solo e ar	Substâncias	Monitoramento
Elevação do nível da água	Interrupção de bombeamento de aquíferos na área urbana Irrigação, vazamentos	Danos e inundação de estruturas de proteção	Monitoramento
Rebaixamento no nível da água	Subsidência difusa (extração de fluidos)	Redução do nível da água	Monitoramento e instrumentos
Redução de recursos	Água, solo agricultável, materiais de construção, recursos energéticos, cobertura vegetal	Redução do nível da água	Monitoramento e instrumentos

(McCall, 1996, p. 317).

Segundo Gupta (2002) em cidades situadas em regiões tropicais e subtropicais, as mudanças ambientais são promovidas por três razões: o crescimento se dá com rápida expansão das áreas construídas; muitas cidades estão localizadas em áreas de risco; altos índices pluviométricos.

O autor desenvolveu uma lista de geoindicadores para avaliação em áreas urbanas tropicais, segundo a efetividade na avaliação de impactos ambientais e os tipos de dados requeridos para o seu uso (GUPTA, 2002, p. 739): inundação (condições de drenagem superficial medidas de intensidade, magnitude e frequência para sustentabilidade e prevenção de riscos); água subterrânea (rebaixamento, medidas de recarga e efeitos de subsidência); encostas (estabilidade, medidas morfometria e condições subsuperficiais para planejamento e mitigação de riscos); canais de drenagem (mudanças - controle de inundação); clima (mudanças, efeitos nos recursos hídricos e aplicações no planejamento); uso do solo (caracterização das mudanças de uso e seus efeitos); qualidade do ar (riscos para a saúde); disposição de esgoto (poluição da água); áreas rebaixadas do relevo (possível inundação); sismos (análise e mitigação de riscos); atividade vulcânica (análise e mitigação de riscos); acumulação de areias e dunas (riscos e poluição).

### 3.8 RESERVATÓRIOS

O assoreamento foi estudado e proposto como geoindicador ambiental por Campagnoli (2002), reconhecendo a importância do mesmo como processo de deposição sedimentar acelerada, que ocorre em corpos d'água de diversas naturezas, tais como córregos, rios, lagos, estuários e ambientes de praias.

Estudando o assoreamento em vários reservatórios, o autor propõe uma lista de geoindicadores específicos para a caracterização das condições de assoreamento em função das dimensões do reservatório e das informações disponíveis.

O trabalho mostra ainda uma preocupação em definir geoindicadores e métodos de obtenção dos mesmos compatíveis com a escala de trabalho, considerando os níveis de abordagem: regional (escalas 1:100.000 e 1:250.000), local (1:10.000 e 1:25.000), de semidetalhe (1:5.000), e de detalhe (1:2.500). Os geoindicadores variam em função da abordagem, abrangendo: área erodida, volumes de assoreamento, taxas de sedimentação, espessura dos depósitos, índices de contaminação e poluição de sedimentos e águas.

### 3.9 MINERAÇÃO

O tipo de mineração mais comum em todo o mundo é a exploração de agregados para construção, obtidos de depósitos aluviais no canal fluvial ou em planícies de inundação, gerando importante degradação ambiental. Tais danos podem se manifestar de forma direta na área restrita de exploração ou em todo o ambiente fluvial alterando sua dinâmica.

Escavações no canal podem resultar em mudanças no regime de fluxo e processos erosivos que podem se propagar a quilômetros de distância afetando inclusive fundações e pilares de pontes, enquanto a remoção de sedimentos da planície de inundação gera mudanças na posição do canal com enchentes e inundações e perda de qualidade dos recursos hídricos de subsuperfície que interagem diretamente com o ambiente fluvial.

Santo e Sánchez (2001) avaliaram indicadores de impactos ambientais usando SIG (Sistema de Informações Geográficas) e fotografias aéreas para avaliação dos impactos causados por exploração de minas de areia em planícies de inundação do Rio Paraíba do Sul.

Foram avaliados os seguintes indicadores: área total de mineração; áreas agricultáveis convertidas em área de mineração; áreas de remoção da cobertura vegetal; alterações na morfologia do rio; crescimento de vegetação em áreas recuperadas; e mineração em áreas de proteção ambiental (SANTO & SÁNCHEZ, 2001).

Os autores salientam que os indicadores ambientais e, dentre eles, os geoindicadores, podem ser aplicados em diversas etapas da gestão ambiental como planejamento do uso do solo, avaliação de impactos ambientais e avaliação da degradação do solo.

## 4 ANÁLISE DAS APLICAÇÕES

### 4.1 DE CARÁTER GERAL

A primeira observação relevante acerca das aplicações avaliadas diz respeito à estreita relação entre os geoindicadores propostos e a dinâmica dos ambientes considerados. Sem dúvida uma consequência natural da proposta original de geoindicadores como medidas dos eventos e processos presentes na área.

Mesmo assim, tal situação é digna de nota uma vez que se percebe uma preocupação dos autores em selecionar indicadores de processos de média e larga escala, tanto espacial como temporal, e que representam os processos ou produtos mais significativos para a degradação do meio naquele ambiente ou ramo de atividade humana, com especial ênfase para aqueles ligados a movimentos de massa e degradação química dos recursos naturais.

Quanto às formas de obtenção dos geoindicadores, verifica-se uma tendência de preferência por técnicas que envolvem menores custos, especialmente aquelas baseadas em levantamentos de campo, o que é coerente com o enfoque naturalista subjacente ao uso de geoindicadores e com o fato de que se trata da avaliação de áreas com grandes dimensões.

Tal situação se modifica ao se tratar de geoindicadores escolhidos para medir níveis de degradação física envolvendo remoção ou deposição de materiais, com necessidade de trabalho de campos extensivo e instrumentação de processos, como em McCall (1996) e Vance & Wolfe (1996); ou quando se pretende definir níveis de degradação química, com medidas em laboratório de concentrações de materiais ou substâncias, como se observa em Edmunds (1996) e Osterkamp (2002).

Com relação à reprodutibilidade das técnicas em ambientes com condições similares, se verifica que a relativa flexibilidade dos geoindicadores propostos facilita tal iniciativa, já que os indicadores escolhidos se referem à situações passíveis de ocorrência em quaisquer áreas com tais condições, havendo a necessidade de séria reflexão apenas em relação às técnicas de obtenção das informações.

A aplicação dos geoindicadores propostos como mecanismo de monitoramento, no entanto, deve ser avaliada com extremo cuidado, especialmente em função dos custos e da possibilidade de recuperação ambiental e suas conseqüências administrativas e sociais.

Nas situações em que estejam envolvidos processos de degradação química dos recursos naturais, e avaliada a importância local do recurso com relação a outras carências da comunidade, parece mais razoável o investimento em monitoramento com análises freqüentes e atitudes de recuperação do recurso.

No que diz respeito à degradação física (especialmente do solo), no entanto, a continuidade dos levantamentos é por si só, muitas vezes inócua e dispendiosa se não forem adotadas medidas de controle, mitigação, ou compensação, que permitam a convivência da comunidade com o processo.

## 4.2 PARA AMBIENTES ESPECÍFICOS

Ao tratar do ambiente fluvial e, corretamente, priorizar a dinâmica do modelado do vale na definição de geoindicadores, Osterkamp (2002) não distingue técnicas para diferenciação entre processos naturais e induzidos pela ação humana, o que seria possível avaliando-se as interações do vale e do canal com seu entorno. Os indicadores de qualidade de água propostos pelo autor também devem ser considerados com cuidado, pois têm sua aplicação limitada, havendo a necessidade de novos parâmetros em outros locais ou bacias.

De forma análoga, Edmunds (1996) considera os efeitos dos aportes de matéria e energia no aquífero (especialmente os relacionados à qualidade da água) dando pouca importância à interação entre o sistema fluvial e o aquífero. É importante destacar também a relevância dos tipos de ocupações e atividades humanas na degradação do recurso. Em áreas com ocupação agrícola, por exemplo, os geoindicadores para qualidade de água subterrânea são muito diferentes dos usados em áreas industriais.

Zuquette, Pejon e Collares (2003) avançaram no sentido de avaliar, para cada bacia de drenagem na interface com o ambiente litorâneo, os efeitos de degradação ocorridos. No entanto, o trabalho não registra os possíveis efeitos das características de cada bacia nos processos avaliados e não prevê indicadores para monitoramento da dinâmica entre os ambientes e os reflexos num ambiente, das alterações ocorridas em ambiente relacionado.

Com relação ao ambiente glacial, as condições climáticas do Brasil tornam limitado o uso dos geoindicadores anteriormente descritos, no entanto, as atividades brasileiras de pesquisa no continente antártico poderiam se valer de geoindicadores para desenvolver um programa de monitoramento dos impactos ocasionados na

região. Para tanto, seria de grande utilidade propor geoindicadores que identifiquem as relações entre descolamento humano e de veículos com a estabilidade dos ecossistemas locais.

Ao efetuar uma análise temporal dos processos, tendo como base as mudanças no uso do solo para movimentos de massa em áreas com altas declividades, Canuti et al. (2004) resgatam a importância da avaliação do fator tempo nos processos (tanto os naturais como, especialmente, aqueles decorrentes da ação humana), mas boa parte dos geoindicadores propostos requer altos investimentos para monitoramento dos processos.

Os geoindicadores para ambientes áridos anteriormente apresentados podem ser de grande valia para monitoramento de evolução de campos de dunas e tomada de decisão quanto a medidas de ocupação do entorno de tais campos de forma a favorecer a estabilidade dos mesmos e sua preservação. Investimentos em infraestrutura e programas especiais são necessários nesse caso para que a influência temporal e histórica do clima local e sua relação com a ocupação sejam bem estabelecidas.

Os geoindicadores propostos para áreas urbanas citados de trabalhos anteriores devem ser vistos como estratégia para abordagem inicial do tema, sendo fundamental que as peculiaridades de cada comunidade urbana e sua conseqüente complexidade sejam consideradas, havendo ainda a necessidade de se discutir os indicadores sociais ou sócio-econômicos relevantes no processo de estudo.

Campagnoli (2002) e Santo & Sánchez (2002) dão importante contribuição ao estudo dos geoindicadores ao destacar o papel fundamental que a variável escala de trabalho e a avaliação temporal dos eventos têm no processo. Obviamente, tal visão deve se estender a qualquer ambiente que se considere, uma vez que os geoindicadores têm por princípio monitorar a evolução dos eventos, atividade sem sentido se desconsiderado a variável tempo.

Outra observação fundamental se faz necessária. Apesar dos trabalhos discutidos considerarem ambientes e atividades humanas específicos, a dinâmica ambiental não pode ser tratada por partes, cabendo avaliar a integração entre ambientes, usos da terra e os conflitos para atingir a visão holística do ambiente. Só assim a interação entre ambientes e as trocas de matéria e energia decorrentes das atividades humanas (considerado inclusive o componente sócio-econômico) será convenientemente tratada e resultará útil à sociedade.

## 5 CONCLUSÕES

O conceito de geoindicadores é recente e suas aplicações se encontram em fase de maturação de suas reais potencialidades, demonstrando grande potencial para aplicação na gestão ambiental de áreas frágeis e/ou de forte dinâmica ambiental, por permitir a melhor aproximação de cenários ambientais futuros.

A avaliação de mudanças ambientais em áreas urbanas com o uso de geoindicadores, no entanto, deve considerar as seguintes restrições: pela definição, geoindicadores são designados primeiramente para medir mudanças geológicas; a completa e correta avaliação das mudanças podem empregar considerações que englobem o ambiente urbano e a interação entre ambientes, os quais não devem se tratados como sistemas fechados; o objetivo básico do uso de geoindicadores é preservar (se possível, melhorar) a qualidade do ambiente.

A análise mostra que os geoindicadores propostos têm boas condições de aplicação em situações similares considerados os aspectos custo de técnica de obtenção das informações e, quando necessário, a complexidade da questão social envolvida.

## 6 REFERÊNCIAS

BERGER, A. R. The geoindicator concept and its application: An introduction. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Geoindicadores: Assessing rapid environmental changes in earth systems**. Balkema, Rotterdam, 1996. Cap 1, p. 1-14.

BERGER A. R. Assessing Rapid Environmental Change Using Geoindicators. **Environmental Geology**, Springer, Berlin, v. 1, n. 32, p. 35–44, 1997.

BUSH, D. M.; NEAL, W. J.; YONG, R. S. & PILKEY, O. H. Utilization of Geoindicators for Rapid Assessment of Coastal-Hazard Risk and Mitigation. **Ocean & Coastal Management**, Springer, Berlin, v. 1, n. 42, p. 647-670, 1999.

CAMPAGNOLI, F. **A aplicação do assoreamento na definição de geoindicadores ambientais em áreas urbanas: exemplo na bacia do alto Tietê, SP**. 2002. 192f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CANUTI, P.; CASAGLI, N.; ERMINI, L.; FANTI, R.; FARINA, P. Landslide activity as a geoindicator in Italy: significance and new perspectives from remote sensing. **Environmental Geology**, Springer, Berlin, v. 1, n. 45, p. 907-919, 2004.

EDMUNDS, W. M. Indicators in the groundwater environment of rapid environmental change. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Geoindicadores: Assessing rapid environmental changes in earth systems**. Balkema, Rotterdam, 1996. Cap 8, p.135-150.

GIEDRAITIENE, J.; SATKUMAS, J.; GRANICZNY, M.; DOKTOR, S. The chemistry of groundwater: a geoindicator of environmental change across the Polish-Lithuanian border. **Environmental Geology**, Springer, Berlin, v. 1, n. 42, p. 743-749, 2002.

GUPTA, A. Geoindicadores for tropical urbanization. **Environmental Geology**, Springer, Berlin, v. 1, n. 42, p. 736-742, abr. 2002.

KLIMAS, A.; GREGORAUSKAS, M. Groundwater abstraction and contamination in Lithuania as geoindicators of environmental change. **Environmental Geology**, Springer, Berlin, v. 1, n. 42, p. 767-772, abr. 2002.

LANCASTER, N. Geoindicadores from desert landforms. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Geoindicadores: Assessing rapid environmental changes in earth systems**. Balkema, Rotterdam, 1996. Cap 15, p. 265-282.

McCALL, G. J. H. Geoindicadores of rapid environmental changes: The urban setting. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Geoindicadores: Assessing rapid environmental changes in earth systems**. Balkema, Rotterdam, 1996. Cap 18, p. 311-318.

NEIMANIS, V.; KERR, A. Developing national environmental indicators. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Ge indicators: Assessing rapid environmental changes in earth systems**. Balkema, Rotterdam, 1996. Cap 22, p. 369-376.

NESJE, A. Geological indicators of rapid environmental change: Glacier fluctuations and avalanche activity. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Ge indicators: Assessing rapid environmental changes in earth systems**. Balkema, Rotterdam, 1996. Cap 3, p. 31-45.

OSTERKAMP, W. R. Ge indicators for river and river-valley monitoring in the humid tropics. **Environmental Geology**, Springer, Berlin, v. 1, n. 42, p. 725-735, 2002.

RASCH, M.; CHRISTIANSEN, H. H.; HANSEN, B. U.; HASHOLT, B.; HUMLUM, O.; JAKOBSEN, B. H.; NIELSEN, N. Greenland landscapes elements as indicators of rapid environmental change. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Ge indicators: Assessing rapid environmental changes in earth systems**. Balkema, Rotterdam, 1996. Cap 5, p. 69-92.

REGO NETO, C. B. **A integração de ge indicadores e reparcelamento do solo na gestão ambiental urbana**. 2003. 231 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ROMANOVSKII, N. N.; GRAVIS, G. F.; MELNIKOV, E. S.; LEIBMAN, M. O. Periglacial processes as ge indicators in the cryolithozone. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Ge indicators: Assessing rapid environmental changes in earth systems**. Balkema, Rotterdam, 1996. Cap 4, p. 47-67.

SANTO, E. L. & SÁNCHEZ, L.E. Gis Applied to Determine Environmental Impact Indicators Made by Sand Mining in a Floodplain in Southeastern Brazil. **Environmental Geology**, Springer, Berlin, v. 41, p. 628–637, 2002.

VANCE, R. E.; WOLFE, S. A. Geological indicators of water resources in semi-arid environments: Southwestern interior of Canada. In: BERGER, A. R.; IAMS W. J. **Ge indicators: Assessing rapid environmental changes in earth systems**. Balkema, Rotterdam, 1996. Cap 14, p. 251-263.

ZUQUETTE, L. V.; PEJON, O. J. & COLLARES, J. Q. dos S. Land Degradation Assessment Based on Environmental Ge indicators in the Fortaleza Metropolitan Region, State of Ceará, Brazil. **Environmental Geology**, Springer, Berlin, v. 45, p. 408–425, 2004.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pelo apoio recebido, na forma dos projetos 06/01962-7 (Auxílio à Pesquisa) e 05/57386-1 (Bolsa de Mestrado), e a CAPES pela concessão de bolsa de estudos, apoios sem os quais o desenvolvimento deste trabalho teria sido impossível.

Recebido em janeiro de 2007.  
Aprovado em abril de 2008.